PRÁCTICAS ECONÓMICAS Y GESTIÓN SOCIAL DE RECURSOS (MACRO)LÍTICOS EN LA PREHISTORIA RECIENTE (III – I MILENIOS AC) DEL MEDITERRÁNEO OCCIDENTAL

Tesis doctoral

Selina Delgado Raack

Dirección: Dr. Roberto Risch
Departament de Prehistòria - Facultat de Lletres
Universitat Autònoma de Barcelona
(2008)

Índice

Resumen ..... **xi**

Agradecimientos ..... **xv**

1 Introducción **1**

1.1 Acotación del registro material y aspectos teóricos 1

1.2 Planteamientos y objetivos 12

1.2.1 Aspectos metodológicos 12

1.2.2 Contexto arqueológico 16

2 Aspectos metodológicos y técnicas de análisis funcional **51**

2.1 Comportamiento de los materiales. Cuantificación de las propiedades mecánicas 51

2.1.1 Introducción 51

2.1.2 La tribología 54

2.1.3 Los parámetros del tribosistema 61

2.1.4 ¿Cómo cuantificar el desgaste? 73

2.1.5 Resistencia a la flexión 79

2.1.6 Resumen 81

2.1.7 Descripción de las máquinas de ensayo 83

2.1.8 Resultados de los ensayos 91

2.1.9 Consideraciones finales 135

2.2 Establecimiento del sistema de documentación microscópica de huellas. Experimentación y traceología 140

2.2.1 Programa de experimentación 141

2.2.2 Resultados 181

2.2.3 Sistema descriptivo y documentación de huellas 184

3 Los recursos macrolíticos y su explotación social 227

3.1 La gestión de la materia prima en el valle del Guadalentín 227

3.1.1 El entorno geológico del valle del Guadalentín 229

3.1.2 Análisis petrográfico y resultados de las determinaciones analíticas ... 231

3.1.3 Recursos explotados en el valle del Guadalentín 241

3.1.4 Dinámica temporal de la gestión de los recursos en el valle del Guadalentín 258

3.2 La gestión de la materia prima en la depresión de Vera. El yacimiento de Gatas……. 270

3.3 La gestión de la materia prima en Mallorca. El yacimiento de Son Fornés . 279

4 Los instrumentos de trabajo macrolíticos 289

4.1 Elaboración y uso de los instrumentos macrolíticos en el SE peninsular 290

4.1.1 Artefactos de molienda 292

4.1.2 Losas 348

4.1.3 Alisadores 352

4.1.4 Morteros 367

4.1.5 Molinos-quicio 370

4.1.6 Artefactos percusivos 371

4.1.7 Artefactos de función combinada 379

4.1.8 Moldes de fundición 380

4.1.9 Pulidores con ranura central 388

4.1.10 Martillos y yunques 390

4.1.11 Placas de afilar con y sin perforación y otras piedras de afilar 398
4.1.12 Artefactos biselados 414
4.1.13 Lajas 421
4.1.14 Tapas 423
4.1.15 Ídolos 425
4.1.16 Dinámica temporal de los instrumentos macrolíticos en el SE peninsular 428

4.2 Elaboración y uso de los instrumentos macrolíticos en Mallorca 433
4.2.1 Artefactos de molienda 434
4.2.2 Losas 437
4.2.3 Alisadores 439
4.2.4 Morteros 441
4.2.5 Percutores 443
4.2.6 Percutores con ranura de enmangue 464
4.2.7 Picos 464
4.2.8 Artefactos de función combinada 466
4.2.9 Cristales de fractura 469
4.2.10 Pondera 470

5 Los espacios de producción 475
5.1 Carril de Caldereros (c. 3200-2700 cal ANE) 475
5.2 Floridablanca (c. 3400-1700 cal ANE) 480
5.3 Glorieta San Vicente (c. 2600-2500 cal ANE) 485
5.4 C/Los Tintes (c. 2500-1900 cal ANE) 489
5.5 C/Zapatería 11 (c. 1950-1550 cal ANE) 490

5.6 Madres Mercedarias (c. 2200-1250 cal ANE) 491

5.7 Los Cipreses (c. 1900-1700 cal ANE) 494

5.8 Barranco de la Viuda (c. 1950-1500 cal ANE) 504

5.9 Murviedro (c. 1550-1250 cal ANE) 511

5.10 Gatas (c. 2850-1000 cal ANE) 525

5.11 Son Fornés (I milenio cal ANE) 548

6 La amortización de los instrumentos macrolíticos 563

7 Organización económica y tareas productivas llevadas a cabo durante la prehistoria reciente en el Mediterráneo Occidental 579

7.1 Neolítico Final y Calcolítico en el SE peninsular 581

7.1.1 Valle del Guadalentín 581

7.1.2 Gatas 589

7.1.3 Implicaciones en la organización de la producción 593

7.2 Argar en el SE peninsular 596

7.2.1 Valle del Guadalentín 596

7.2.2 Gatas 608

7.2.3 Implicaciones en la organización de la producción 615

7.3 Postargar en el SE peninsular 622

7.3.1 Valle del Guadalentín 622

7.3.2 Gatas 628

7.3.3 Implicaciones en la organización de la producción 633

7.4 I milenio en Mallorca 635

7.4.1 Son Fornés 635

7.4.2 Implicaciones en la organización de la producción 645

8 Dinámica económica de recursos e instrumentos líticos en el Mediterráneo Occidental (III-I milenios) 649

Bibliografía.....659

Láminas

Anexo 1 (Fichas específicas sobre los ensayos realizados en el PEI)

Anexo 2 (Variables utilizadas para describir el desgaste en superficies macrolíticas: nomenclatura y relación existente entre cada una de ellas)

Anexo 3 (Categorías y códigos del sistema de inventario propuesto por R. Risch, 1995).

CD ***Abstract*** **(*Section*** **Resumen, *in English*)**

Economic dynamics of lithic resources and artifacts in western Mediterranean **(*III-I millennia*) (*Chapter 8, in English*)**

Bases de Datos

Resumen

El trabajo de tesis que presentamos a continuación se ha realizado en el marco del programa de doctorado en Arqueología Prehistórica de la Universitat Autònoma de Barcelona. Este trabajo se centra en la prehistoria reciente del Mediterráneo occidental, concretamente, en el SE peninsular y las Islas Baleares, y con ello, en un ámbito que ha gozado de una larga trayectoria de investigación, a cargo del Departamento de Prehistoria de dicha universidad.

Los cambios económicos, políticos y sociales en los que se vieron involucradas las sociedades de los últimos milenios antes del cambio de era, han ido exponiéndose en diversos estudios que destacan, entre otros, una creciente diferenciación social entre comunidades y entre individuos, la práctica de estrategias subsistenciales específicas y la proliferación de la metalurgia. Bajo estos imperativos, se asiste a la desarticulación de sistemas económicos preexistentes y al desarrollo de nuevas formas de producción, que en casos concretos, como es la sociedad argárica, condujo al establecimiento de relaciones de control económico-político y de explotación.

El estudio de la dinámica económica de las sociedades prehistóricas puede abordarse y, de hecho, se ha abordado desde el análisis de materialidades arqueológicas diferentes. Entre todas ellas, la materialidad lítica presenta un potencial informativo de crucial importancia que, a excepción de la denominada "industria lítica tallada" (sílex, cuarcita, etc.), apenas ha sido contemplada por los estudios arqueológicos tradicionales. Precisamente muchos de los instrumentos "macrolíticos" (molinos, percutores, alisadores, etc.) intervinieron como medios de producción en actividades cotidianas y/o artesanales, cuya organización y ejecución se vieron directamente afectadas por los cambios socio-económicos mencionados. En este sentido, dedicamos el **Capítulo 1** de esta tesis a definir el interés que reviste el análisis de la materialidad macrolítica desde un punto de vista (pre)histórico y lo que puede aportar, en concreto, a la caracterización de los sistemas económicos vigentes en el Mediterráneo occidental a lo largo de los milenios IV-I cal ANE.

Asimismo, se define el contexto arqueológico con los yacimientos que se han considerado en este trabajo. Entre ellos, para la depresión de Vera, se ha tenido en cuenta el poblado de Gatas, el cual constituye un punto de referencia para la periodización, en el SE peninsular, de los últimos tres milenios, y en especial, del periodo argárico. En la tesis de R. Risch (1995) ya se presentaron los ítems macrolíticos recuperados durante los sondeos y las excavaciones más antiguas, a los cuales se añaden aquí los materiales procedentes de campañas recientes. Con ellos, se ha completado el estudio de los conjuntos macrolíticos utilizados en el asentamiento durante las ocupaciones correspondientes al Calcolítico, el Argar, el Bronce Tardío y el Bronce Final.

Además de esta región almeriense, incluimos un ámbito geográfico que hasta el momento había quedado al margen del estudio de instrumentos macrolíticos, que es el valle del Guadalentín. En él se encuentran algunos asentamientos, como Lorca-ciudad, que presentan una ocupación continuada desde momentos finales del Neolítico hasta el Bronce Tardío. La importancia que la ciudad de Lorca debió de tener durante el periodo argárico ya se ha apuntado en algunos estudios previos. Por esta razón, tanto más

interesante resulta la relación que este núcleo pudo mantener con otros enclaves (co)existentes en la misma región, como son Los Cipreses o el Barranco de la Viuda. Asimismo, durante el Bronce Tardío existió, en proximidades de Lorca, otro poblado, Murviedro, el cual ha proporcionado un conjunto importante de ítems macrolíticos, los cuales también presentamos en este trabajo.

Finalmente, la incorporación de los materiales líticos procedentes del poblado mallorquín de Son Fornés, nos ha permitido hacer una incursión en un contexto físico y cronológico considerablemente distinto al del SE peninsular. Como se apreciará a lo largo estas páginas, en la comparación entre dos ámbitos geográficos y cronológicos como son el SE peninsular y las Islas Baleares, destaca claramente el carácter no lineal del desarrollo histórico de las sociedades pasadas.

Partiendo del panorama histórico esbozado al inicio de este apartado, estamos ante sociedades complejas y excedentarias, en un contexto de marcados cambios socio-económicos. De ahí que una lectura paleoeconómica de la organización de los procesos de producción, deba pasar necesariamente por la valoración de las condiciones técnicas del trabajo. De especial interés resultan, en este caso, los aspectos relativos a la eficiencia de los útiles. La funcionalidad instrumental y el ajuste de los mismos a las tareas productivas en las que intervienen, son dos aspectos a los cuales van dirigidos los planteamientos metodológicos del **Capítulo 2**. En este sentido, fundamentaremos la caracterización funcional de los inventarios macrolíticos, por un lado, en la definición de las propiedades mecánicas que ofrecen las materias primas sobre las cuales se elaboran los instrumentos (apartado 2.1). Para ello ha sido necesario diseñar un programa de ensayos, con máquinas industriales, en las que las rocas son sometidas a una serie de condiciones específicas de desgaste. Por el otro lado, los campos de intervención de cada una de las litologías, en calidad de medios de trabajo, han sido definidos mediante el análisis de huellas arqueológicas y experimentales, en conjunción con informaciones arqueológico-contextuales (apartado 2.2).

Los resultados obtenidos a partir de estas directrices metodológicas han sido integrados en el estudio de la selección y la gestión de los recursos macrolíticos (**Capítulo 3**), para definir la configuración de los sistemas de suministro de materias primas. Dichos resultados se han tenido en cuenta igualmente a la hora de presentar el material macrolítico bajo otros puntos de vista tecnológicos, tales como la fabricación, el uso y el mantenimiento de los medios de trabajo (**Capítulo 4**). De esta forma, se hace posible realizar una aproximación al grado en el que el sistema económico se adaptó a la optimización de los instrumentos en cada momento histórico.

La contextualización espacial de la materialidad macrolítica, por su parte, introduce la posibilidad de caracterizar las actividades productivas desarrolladas y la composición de los equipos técnicos utilizados en las unidades de producción (**Capítulo 5**). De estos aspectos depende la capacidad productiva y la posición que adopta cada uno de los asentamientos en un sistema económico determinado. Junto con los contextos de producción, los contextos de amortización del instrumental macrolítico cobran importancia durante ciertos periodos de la prehistoria. Ante la posibilidad de que los materiales amortizados en estructuras de construcción, domésticas y funerarias, así como en los ajuares de las tumbas respondan a patrones tecnológicos distintos a los que vemos representados en los instrumentos operativos, hemos dedicado el **Capítulo 6** a contrastar los criterios que rigen ambos tipos de producción.

La valoración global de los resultados obtenidos a lo largo del estudio de los inventarios macrolíticos presentados en este trabajo, se aborda en el **Capítulo 7**, donde se realiza una lectura paleoeconómica de los contextos sociales en base a los aspectos económicos que hemos considerado más relevantes: *valor de producción, valor de uso, volumen de producción*. Ellos ayudarán a definir el nivel de especialización de los medios de trabajo y los espacios de actividad, en cada uno de los contextos espacio-temporales, así como el grado de acceso por parte de la población a la producción y al consumo de los productos obtenidos en los diversos sectores de la producción. Con ello, se pretende explicitar las condiciones de productividad bajo las cuales se desarrollan los procesos de producción y los argumentos para definir los diversos sistemas económicos que se establecieron en cada momento y lugar. Finalmente en el **Capítulo 8** se presenta una síntesis de las principales características de la dinámica económica de recursos e instrumentos líticos en el Mediterráneo occidental a lo largo de la prehistoria reciente.

Agradecimientos

Tras cinco largos años que ha durado el desarrollo de esta tesis, me encuentro ahora frente a ella y pienso que han sido muchas las personas que han contribuido de una manera u otra a su existencia. Todas ellas quedan reflejadas en algún aspecto de este trabajo y, sin embargo, también es fácil que, a la hora de explicitar mi agradecimiento hacia ellas, se me quede algo o alguien en el tintero. No obstante, considero que, si bien lo que viene a continuación es arriesgado, merece la pena el intento de nombrar a aquellas personas que me han acompañado en esta gran aventura, que es la de investigar.

En primer lugar, quiero expresar mi agradecimiento al director de este trabajo, Roberto Risch, porque su tesis, de 1995, constituye el punto de partida de este trabajo, sobre el cual hemos emprendido un largo camino, de cara al estudio de los instrumentos macrolíticos prehistóricos. Él es quien ha seguido con interés y detenimiento, desde los primeros momentos y de forma ininterrumpida, el desarrollo de este trabajo. Tu insustituible asistencia y disponibilidad en momentos difíciles también son cualidades que he de agradecerte sinceramente.

A nivel académico he encontrado un gran apoyo en Vicente Lull, Rafael Micó, Cristina Rihute y Roberto Risch, a quienes siempre he admirado por su entrega a la investigación arqueológica y su original forma de trabajar, hoy en día más bien en extinción. A mi llegada a Barcelona, sus estudios y publicaciones incrementaron mi interés por la arqueología y han hecho para mí, de esta última etapa de formación, una experiencia de lo más enriquecedora. ¡Por todo ello, espero que en un futuro podamos seguir trabajando juntos!

El proceso que vemos materializado en las siguientes páginas se ha ido completando con diversas visitas realizadas a los museos de Montuïri y Lorca, una estancia en el CRNS de Valbonne (Francia) y la ejecución de los ensayos mecánicos, alternando etapas de inventario, procesamiento de datos, experimentación y redacción. En cada una de estas etapas han estado especialmente presentes ciertas personas a quienes estoy inmensamente agradecida.

David Gómez-Gras ha sido una persona imprescindible a la hora de diseñar el programa de ensayos mecánicos y de interpretar los datos obtenidos en ellos. Gracias a él fue posible introducirme a la disciplina geológica, en general, y al análisis petrográfico, en particular. Sé que aún queda mucho por hacer y espero que para ello podamos contar en un futuro el uno con la otra.

Durante la estancia que realicé en el CRNS de Valbonne, Hugues Plisson fue la persona de referencia, a la que he de agradecer no sólo el poner a mi disposición los medios necesarios para poder iniciarme en la metodología del análisis traceológico y experimental, sino también por la inmensa amabilidad que ha mostrado desde entonces hasta el mismo día en el que escribo estas líneas.

El trabajo que he llevado a cabo en los museos se ha visto considerablemente facilitado por la atenta ayuda que me han prestado Cristina Rihuete, Beatriz Palomar, Andrés Martínez y Juana Ponce, no sólo durante mi estancia en ellos sino también durante la

etapa de procesamiento de datos. La comodidad de la que gocé durante mi estancia en Lorca, se la debo a la hospitalidad de Jota y Carlos (Arqueoweb), quienes me ofrecieron su hogar y la posibilidad de familiarizarme con la arqueología murciana, en general, y lorquina, en particular. Asimismo, agradezco a Manuel Pérez Asensio, A. J. Medina, Jesús Bellón y Mª José Madrid el haber puesto a disposición de este trabajo las memorias de excavación inéditas de varios yacimientos lorquinos.

Al profesor Rafael Arana, de la Universidad de Murcia, le estoy agradecida por la consideración y paciencia que ha mostrado de cara a la redacción del capítulo sobre la explotación de los recursos en el valle del Guadalentín, región de la cual posee un profundo conocimiento. Su incalculable ayuda ha hecho posible abordar esta problemática en las condiciones de estudio necesarias.

En las cuestiones de tratamiento gráfico y preparación de láminas he contado, sobre todo, en los últimos y difíciles momentos de la preparación de este trabajo, con la apreciable ayuda Silvia Gili.

Especialmente agradecida estoy por la ayuda desinteresada que me ha brindado Juan Martínez (Applus) poniendo a disposición de este estudio la maquinaria necesaria para realizar los ensayos mecánicos con las rocas. Durante mi trabajo en las instalaciones del Departamento de Construcción, pude gozar permanentemente de la atención y asistencia de gran parte de su equipo, entre otros, de Jordi, Enrique y Raúl. Este trabajo tampoco habría sido posible sin la buena voluntad de muchas otras personas, empresas e instituciones que fueron consultadas y requeridas y que prestaron desinteresadamente una valiosa ayuda. En este sentido, mi más sincero agradecimiento a Francisco Cuervas (Departamento de Mecánica, UPC-Campus Terrassa), Lluís Serratosa (MC Clols S. A.), Germans Serra (Rubí), Mármoles Rubí S. L., Mármoles Decmar Vallés (Terrassa), Mármoles Norda (Terrassa), Romagra, José Nomen (Eusebio Nomen, S. A.), Oxirrein, Escuela de los Oficios de León, Jordi (La Clau), Claudio Gil (Unceta, El Prat de Llobregat), Servei de Microscopia Electrónica de la UAB y, como no, Txomin, asistente insustituible en los experimentos.

También quiero recordar a Juan Carlos López Quintana (Tana), que fue quien me animó a emprender mis estudios en el extranjero y me inició en el mundo de las excavaciones arqueológicas. ¿Quién sabe si me habría dedicado a la arqueología si Gernika y Urdaibai no hubiesen tenido un arqueólogo como él?

El apoyo académico y el soporte técnico recibidos por todas estas personas han posibilitado el desarrollo y el acabamiento de esta trabajo, sin embargo, considero igualmente importante la atención y ayuda moral que he recibido, sobre todo en momentos difíciles, de toda una serie de personas que han estado a mi lado. La comprensión y el compañerismo por parte de aquéllas que durante el transcurso de mi trabajo se encontraban embarcadas en un proyecto similar, han hecho más llevadero todo el proceso. Por ello, gracias a Lourdes, quien me ha ayudado más de lo que ella realmente piensa, Camila, Nacho, Quim, Jordi, Pachi y todos los compañeros y las compañeras de Departamento de Prehistoria de la UAB, con los que he trabajado. Gracias también al equipo del Departamento de Documentación del MAC de Barcelona, Lourdes, Mª Eugenia, Mireia, Montserrat, Carme y Sergi, porque con él viví un breve pero importante paréntesis, que me ayudó a cambiar momentáneamente de "aires". Gracias a ello, pude retomar el trabajo con nuevas fuerzas.

A mi cuadrilla de Gernika, al variopinto grupo de los Marmotes y a mi especial amigo, Fritz Senss transmito mis agradecimientos por los buenos momentos que me han hecho pasar, los cuales se han convertido en etapas de sosiego, recordándome que fuera de la arqueología existe también todo un mundo a descubrir.

Mil gracias también a Antonio Rosas y Paquita Casals, por la ayuda personal que me han brindado desde el primer momento en el que nuestras vidas se cruzaron. A ama, aita, Natalia y Garbiñe, porque juntos hemos superado muchas adversidades y también hemos vivido experiencias que difícilmente olvidaré. Aunque, en palabras de algún miembro de mi familia, nunca han entendido por qué me interesan las piedras, he podido contar en todo momento con su apoyo.

También quiero dedicar unas palabras a quienes ya no están entre nosotros, quienes presenciaron con mucha ilusión el inicio de este trabajo y no pudieron ver su final. Grossvater Papi, sé que habrías querido vivir este momento. Que sepas pues, que, si bien ha tardado en llegar, te lo dedico con todo mi corazón.

Las últimas líneas las he reservado para mi compañero de camino, Martí Rosas i Casals, quien en estos momentos se encuentra a mi lado, preparando la portada de este trabajo. Por la inmensa paciencia que has tenido, desde que comenzamos a caminar juntos (¡en los sentidos literal y figurado!), por lo que has sabido tranquilizarme, por lo que te aprecio y te quiero y por todo lo que sé, nos queda aún por vivir juntos, gracias. Debes saber que este trabajo tiene la misma edad que nuestra relación de amor y amistad, por lo que también te lo dedico.

Una tesis puede o no marcar la trayectoria de la investigación científica, pero marca, con toda seguridad, la vida de la persona que la realiza y de las personas de su entorno. En definitiva, mis agradecimientos a todas aquellas personas que han creído en el trabajo que aquí se presenta.

1 Introducción

1.1 Acotación del registro material y aspectos teóricos

Los restos arqueológicos y su capacidad de contribuir a la ciencia de la antigüedad residen en su importancia como materialidad clave en la organización y el desarrollo de las sociedades pasadas. A través de esta materialidad el ser humano no sólo interactúa con el medio ecológico y social que le rodea (transformándolo) sino, lo que es más importante, se realiza y objetiviza en él. El interés particular que tienen los instrumentos macrolíticos reviste, según fuentes escritas, etnográficas, experimentales y arqueológicas, en el hecho de su intervención en un amplio espectro de la vida de comunidades humanas. Estos instrumentos no sólo participan en actividades más conocidas como "cotidianas", orientadas a satisfacer las necesidades básicas (subsistenciales), sino también en toda una serie de producciones artesanales, destinadas a obtener productos mediales (artefactos) y/o adornos de diversas materias primas. La molienda, la alfarería, el procesado de substancias minerales, los trabajos metalúrgicos, la producción textil, el lavado de ropa, en definitiva, todo el trabajo realizado con ellos forma parte de la configuración de las relaciones sociales establecidas en cada uno de los lugares y momentos (pre)históricos.

Desde el punto de vista tafonómico el material macrolítico reúne además una serie de ventajas que otros registros no presentan. Frente a materiales como los orgánicos (madera, fibras vegetales) que desaparecen fácilmente, el registro óseo y el cerámico, fuertemente condicionado por procesos postdeposicionales que pueden conducir a un elevado índice de fragmentación, y el metal, sometido a continuos procesos de refundición y reciclaje, los instrumentos macrolíticos forman el grupo de restos que mejores posibilidades de preservación ofrece en el depósito arqueológico. A su vez, los instrumentos macrolíticos acostumbran a estar en uso durante un largo periodo de tiempo, hasta que encuentran su contexto de deposición definitivo, amortizados en muros o tumbas. Es por ello que sorprende la escasa atención que ha otorgado la historia de la investigación arqueológica a este tipo de materialidad, hasta hace escasos años.

Literalmente la palabra "macrolítico" indica en griego "piedra de grandes dimensiones". En la investigación arqueológica cuyo objeto de estudio son las industrias líticas talladas, ya se habían acuñado anteriormente los términos "macro-" y "microlítico", con el fin de diferenciar métricamente productos de talla, de diversas dimensiones, pertenecientes a tecnologías paleolíticas y mesolíticas. De esta manera, se diferencia una talla microlítica de una macrolítica, o se incluyen piezas como p.ej., los "picos asturienses" entre los artefactos macrolíticos (Doménech y Faus 2000: 141). Otros autores califican instrumentos macrolíticos aquellos utensilios que han sido fabricados sobre cantos rodados (Barandiarán y Cava 1989).

En el caso que aquí presentaremos, la morfología del *soporte base* no resulta necesariamente indicativa de este tipo de registro dado que se incluyen tanto cantos rodados, procedentes de depósitos secundarios, como otras piedras o fragmentos de roca tabulares (lajas, plaquitas), obtenidos en afloramientos rocosos. La *métrica*, por sí sola, tampoco es un criterio determinante en la comprensión del término "macrolítico", ya que se engloban en él ítems de pequeñas, medianas y grandes dimensiones. Sin embargo, bien es cierto que esta materialidad incorpora preferentemente ítems masivos,

de considerables dimensiones, que pueden alcanzar en casos extremos varios miles de kg.

Junto con la métrica de los ítems, el *tipo de roca* y las propiedades estructurales y texturales de las rocas constituyen otro aspecto que ayuda a definir una naturaleza "macrolítica". A su vez éstas condicionan directamente la tecnología aplicada en los procesos de producción de esta materialidad. Por un lado, el componente mineral principal no es la sílice, como ocurre en otros registros líticos, sino varias unidades minerales de diversa naturaleza, y con caras definidas que representan múltiples límites o irregularidades en el interior de la roca. Las rocas utilizadas comúnmente para la producción de instrumentos macrolíticos se denomian "granudas" puesto que presentan granulometrías más o menos heterogéneas que incluyen un grano comparativamente más grueso que p. ej. el del sílex, la calcedonia o la obsidiana. De ahí que en otros idiomas se utilicen términos que hacen alusión a las propiedades físicas de este material. Así en inglés es habitual el uso del calificativo *groundstone tools*, que en alemán equivale a *Felsgesteingeräte* o *Grobsteinwerkzeuge*. Lo importante aquí es que la ordenación espacial y la orientación de los componentes minerales aportan cierto grado de anisotropía, lo cual evita que el material se fracture concoidalmente. Ello explica muchos de los usos específicos asignados a los utensilios macrolíticos (p. ej. percutor, martillo, placa de afilar) con los que otros instrumentos líticos no pueden cumplir, por su condición, por ejemplo, de quebrantabilidad. Así las *categorías artefactuales* representadas por los ítems macrolíticos pueden ir desde percutores y martillos hasta instrumentos relacionados con la fricción, como son alisadores, molinos, losas etc. Por el otro lado, son precisamente las cualidades físicas de estas rocas las que hacen que se trate de un material poco apto para la talla. Su estructura interna, composicional y métricamente heterogénea, y su anisotropía, dificultan el control del golpe, produciéndose fracturas irregulares o en favor de la orientación de sus inclusiones minerales, y no facilitan su transformación por talla. Por ello, la presencia de talla es muchísimo menor que en otras industrias líticas y su finalidad es exclusivamente de formatización del soporte, limitándose a los flancos laterales o a los extremos de algunos artefactos como los molinos, donde aparecen negativos de lascas desprendidas por la propagación de fracturas tendencialmente concoidales. Contrariamente a lo que sucede con los soportes silíceos, el empleo de la talla para la extracción de otros soportes sobre los cuales fabricar un artefacto es prácticamente nulo. Las técnicas más comúnmente utilizadas en el tratamiento del material macrolítico son el piqueteo, el pulido y el perforado. En relación a ello, los desechos derivados de los *procesos de producción y mantenimiento* de los útiles macrolíticos consisten a menudo en partículas minerales que se desprenden de los soportes macrolíticos en forma de polvo y, en menor medida, en forma de lascas y esquirlas. En la industria lítica tallada es común encontrar núcleos agotados que han sido desestimados para futuros trabajos de talla; sin embargo, y como ya hemos mencionado, un fragmento de roca o un canto rodado, pocas veces es utilizado para obtener otros soportes, representando en sí mismo el futuro artefacto que será elaborado por reducción del soporte inicial. Las *morfologías* que las superficies activas de los útiles macrolíticos adoptan durante los procesos de elaboración y/o uso son habitualmente extensas con secciones convexas, rectas o cóncavas, lo cual se adecua a trabajos del tipo percusivo o abrasivo. Por su parte, las angulares y las puntiagudas son mofologías escasamente representadas entre el material macrolítico (artefactos biselados y picos), vinculándose predominantemente a la industria de talla del sílex. En este último caso, los bordes cortante o apuntados de las lascas y láminas talladas intervienen típicamente en trabajos de corte, raspado y perforación.

Curiosamente uno de los aspectos más coincidentes entre los inventarios macrolíticos y los elementos de industria lítica tallada son las *huellas de uso*. Al partir de materiales mineralógica, estructural y texturalmente diferenciados, las huellas de uso resultantes también deberían diferir entre sí, al menos cualitativamente. No obstante, si tenemos en cuenta que la corta historia de la investigación traceológica en torno al instrumental macrolítico desciende directamente de estudios traceológicos realizados sobre artefactos tallados, no es de extrañar que la terminología y la forma de describir las huellas de uso observadas en uno y en el otro registro sean similares. Pulido, lustre y estrías son algunas de las huellas más recurrentes entre las diversas formas que puede adoptar el desgaste sobre materiales líticos en general. A pesar de ello, podemos decir que el redondeamiento del filo y la presencia de desconchados, tan recurrente entre los artefactos tallados, está, con pocas excepciones, ausente en el caso del instrumental macrolítico.

Teniendo en cuenta los aspectos descritos arriba, en el presente trabajo, hacemos uso de "utillaje macrolítico" al margen de las industrias líticas talladas y en un sentido que no se limita al canto rodado como único soporte posible. Consideramos "instrumentos macrolíticos" todos aquellos artefactos o arteusos (Lull 1988) de rocas granudas y dimensiones tendencialmente grandes, que han sido empleados o transformados en el marco de tareas abrasivas y percusivas (Figura 1.1.1).[1] Esta definición se refiere tanto al proceso de producción del artefacto, en caso de su transformación, como al uso que se hace del instrumento de trabajo. Por tanto, un "instrumento macrolítico" puede haber sido fabricado por abrasión y/o percusión o puede haber servido para realizar actividades que requieren de abrasión y/o percusión, incluida la talla. Por el contrario, como ya hemos indicado, hay pocos casos en los que el instrumento ha sido transformado exclusivamente por talla. Los parámetros petrográficos específicos del material macrolítico también están estrechamente relacionados con el uso asignado a estos útiles. En su caso, se suelen aprovechar frentes o superficies extensas para realizar movimientos de percusión lanzada y de fricción.

[1] Entre los ítems macrolíticos no-tallados, han gozado de especial atención los artefactos biselados, los cuales aparecen muy a menudo intensamente pulimentados, hasta el punto de que se ha llegado a incurrir en la sinécdoque de llamar "utillaje pulimentado" a la totalidad del registro, incluyendo bajo el mismo término otros artefactos como p. ej., molinos, alisadores etc. La confusión llega a ser aun mayor si tenemos en cuenta que, entre los artefactos biselados, también se encuentran hachas y azuelas fabricadas exclusivamente por talla. En cualquier caso, el "utillaje pulimentado" hace alusión a un tratamiento específico recibido por tipos determinados de piezas, y representa un grupo específico dentro del instrumental macrolítico.

Aspectos tecnológicos	Material "Macrolítico"
Soporte base	Canto rodado, piedra tabular
Categorías artefactuales	Alisador (ALS), percutor (PER), azuela (AZU), hacha (HAC), pico (PIC), placa de afilar (PLA), placa de afilar perforada (BRQ), disco (DIS), losa (LOS), percutor con ranura de enmangue (MAM), molde de fundición (MDE), molino (MOL), mortero (MOR), muela (MUE), afilador con ranura central (PCR), canto rodado almacenado como materia prima (SRS), quicio (QUI), yunque (YUN), martillo (MAT), ídolo (IDO), tapa (TAP)
Dimensión del soporte	Pequeña- mediana-grande
Tipo de roca	Heterogeneidad granulométrica Planos de anisotropía conducen a fracturas predominantemente irregulares y, en menor medida, concoidales
Huellas de fabricación	Negativos de talla (para formatización del soporte; TR) Piqueteado (PI) Pulido (PU) Perforado (PE)
Desechos de producción o mantenimiento	Esquirlas, lascas, partículas minerales pulverizadas, fragmentos
Morfología de la superficie activa	Superficie angular apuntada (PT) o afilada (AG) Superficie extensa recta (RT), convexa (CX), cóncava (CV)
Huellas de uso	Fosillas (GA) Pulido (AL) Brillo lustroso (LU) Estrías (ES)

Figura 1.1.1: Rasgos tecnológicos característicos del material macrolítico y algunos de los códigos empleados para su denominación.

Al margen de las diferencias más o menos marcadas que puedan darse en los aspectos tecnológicos que hemos descrito arriba, el aparente carácter convencional y artificial de la separación "material tallado" versus "material macrolítico", responde a las necesidades establecidas desde el propio análisis de huellas. En primer lugar, ya resulta "sospechoso" que la trayectoria histórica de la investigación arqueológica se haya centrado, de manera recurrente y sobre todo en el estudio del primer tipo de materialidad, excluyendo del análisis el resto de categorías y materiales líticos. Frente a elaborados métodos diseñados para la captación y descripción de huellas de desgaste y residuos sobre artefactos tallados (Anderson 1980; Anderson et alii 1993; Beyries 1982; 1989; Grace 1989; González e Ibáñez 1994; Gutierrez 1996), y a excepción los primeros momentos de la práctica traceológica de mano de Semenov (1957; 1981), el registro macrolítico apenas se ha tratado como objeto de estudio traceológico. Sin embargo, la mayor prueba de que bajo el registro lítico genérico se engloban naturalezas materiales realmente – y no convencionalmente – diversas, son los inconvenientes con los que nos encontramos a la hora de pretender extrapolar el método traceológico al registro macrolítico. Los primeros intentos de aplicación de las técnicas analíticas y los métodos de descripción de huellas al material macrolítico han encontrado serios impedimentos, no tanto porque resulten erróneos sino, más bien, por ser insuficientes. Con ello, se demarca la necesidad de proponer un sistema de estudio traceológico adecuado, elaborado a partir del conocimiento petrológico y mecánico de estos materiales "granudos" así como del conocimiento basado en la experimentación controlada.

Desde el punto de vista del análisis funcional, las transformaciones que observamos sobre las superficies líticas evidencian, aspectos relativos no sólo a la fabricación del

instrumental sino también a la función que éste desempeña en los contextos específicos. Una de las principales dificultades con las que ha de lidiar la metodología del análisis funcional es el hecho de que los aspectos formales no son necesariamente representantes de la funcionalidad. Podemos encontrarnos con ítems morfológica y petrográficamente diferentes que desempeñan la misma función de igual manera que podemos observar ítems morfológica y petrográficamente idénticos que desempeñan funciones diferentes. Si bien no puede decirse que tipo de artefacto y función estén relacionados directamente, sí lo están a través del funcionamiento (Sigaut 1991). En este nexo entre artefacto y función intervienen aspectos relacionados con el movimiento y la acción (Figura 1.1.2). El primero de ellos depende de los gestos que se ejecutan, las posturas tomadas y el modo de prensión del artefacto, los cuales pueden conducir a dos formas de movimiento genéricas: el de percusión y el de fricción. Los matices que pueden darse en el marco de ambos tipos de movimiento, es decir, las acciones concretas realizadas por el instrumento vendrán definidas por las cualidades específicas de la superficie activa, por la frecuencia en que se ejecuta el movimiento y por la orientación que adopta el instrumento durante este proceso. Si con un frente puntiagudo se realiza un movimiento percusivo y repetitivo en sentido perpendicular, la acción resultante puede llevar a formar un agujero en la materia de contacto; si realizamos el mismo movimiento con un frente biselado, probablemente llegaremos a seccionar el material de contacto. De la misma manera, propiedades litológicas diferentes tienen diversos efectos sobre la materia trabajada, en condiciones cinemáticas similares. Bajo el mismo movimiento de fricción, una roca composicional y granulométricamente heterogénea tendrá un efecto abrasivo frente a otra de grano fino y mineralógicamente homogéneo, que favorecerá el pulido del material de contacto.

Por su parte, las actividades concretas que se pueden llegar a realizar en cada acción se diferencian a partir de la naturaleza y el estado del material con el que el instrumento entra en contacto. Desde un punto de vista traceológico, las materias primas que se procesan con los útiles macrolíticos aportan diversos grados de humedad, flexibilidad o dureza al ambiente de contacto, lo cual acelerará o ralentizará los efectos del útil y, a su vez, el desgaste de este último. En cualquier caso, las actividades en las que intervienen los útiles macrolíticos determinan el estadio de elaboración en el que se encuentra un objeto de trabajo dentro de una cadena de producción. Todos estos aspectos tecnológicos permiten finalmente reconocer los ámbitos económicos en los que se articula la organización de la producción de una sociedad.

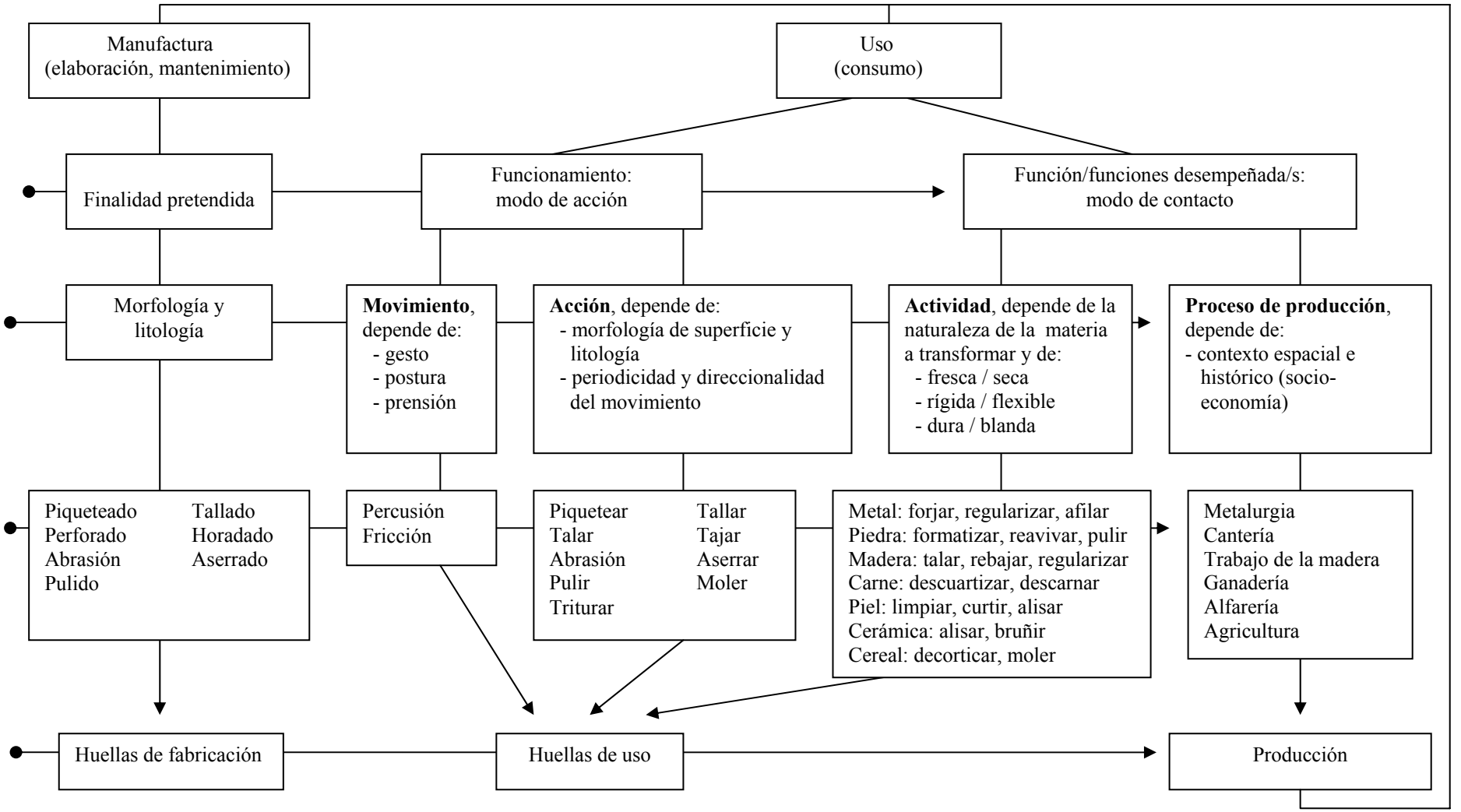


Figura 1.1.2: Mapa conceptual que ilustra los aspectos relacionados con el análisis funcional de los instrumentos de trabajo macrolíticos

Pero, ¿qué son realmente los instrumentos macrolíticos? ¿en qué medida contribuye un análisis de inventarios macrolíticos al estudio y caracterización socio-económica de sociedades pasadas? Los instrumentos macrolíticos son en primer lugar "bienes económicos" que permiten llevar a cabo mejor o peor (dependiendo de sus propiedades físicas y de la gestión que de ellas se hace) una serie de actividades, al margen del uso ulterior que pueda llegar a hacerse del ítem (p. ej. puede ayudar a perpetuar relaciones socio-económicas determinadas, dependiendo de quién lo utiliza, cómo, para qué etc.). Tal y como hemos apuntado, consideramos que estas actividades tienen su sentido inicial en el cubrimiento de las "necesidades" subsistenciales del ser humano (comer, dormir, reproducirse). Llegamos aquí a un concepto clave en cualquier valoración económica de sociedades presentes o pasadas que se pretenda realizar. Creo en que las necesidades fundamentales del ser humano son objetivamente finitas y calificables porque, pensar lo contrario, sería adoptar una postura negativa y desesperanzadora frente a la humanidad y a todos los conflictos y las injusticias que la caracterizan en nuestros días. Ante la existencia objetiva de necesidades ilimitadas, los conflictos sociales actuales carecerían de solución y estarían condenados a persistir mientras la humanidad exista. Lo que varía sustancialmente en el tiempo y en el espacio es la manera de satisfacer nuestras necesidades, lo cual depende directamente de a) el desarrollo tecnológico y el acceso a recursos y medios de producción y b) los deseos de satisfacer dichas necesidades, los cuales sí pueden ser ilimitados.[2] De ello derivan las múltiples formas que tenemos, en un acto subjetivo, de vivir las necesidades. Este acto subjetivo es en sí mismo un acto objetivo y universal, común a todas las sociedades humanas, y si bien no puede ser reconocido a través de la materialidad arqueológica, algunos de estos ellos trascienden y se objetivizan a través de las consecuencias materiales que pueden llegar a tener.[3]

Partiendo de la posibilidad de que las necesidades básicas tengan algo de "histórico" en su existencia y teniendo en cuenta lo difícil que resulta definirlas para el ser humano actual[4], tanto mayores parecen ser las dificultades para enunciarlas, desde el presente, en relación a las comunidades pasadas. A pesar de este impedimento de partida y ante la imposibilidad, pongamos por caso, de explicitar el punto en el que la producción excede el ámbito meramente subsistencial, tengo la convicción de que el método arqueológico, en primera instancia materialista, sí es suficientemente sensible al reconocimiento de

[2] "Mientras un satisfactor es en sentido último el modo por el cual se expresa una necesidad, los bienes son en sentido estricto el medio por el cual el sujeto potencia los satisfactores para vivir sus necesidades. Cuando la forma de producción y consumo de bienes conduce a erigir los bienes en fines en sí mismos, entonces la presunta satisfacción de una necesidad empaña las potencialidades de vivirla en toda su plenitud. Queda, allí abonado el terreno para la confirmación de una sociedad alienada que se embarca en una carrera productivista sin sentido. La vida se pone, entonces, al servicio de los artefactos en vez de los artefactos al servicio de la vida. La pregunta por la calidad de vida queda recubierta por la obsesión de incrementar la productividad de los medios." (Hamrell y Nordberg 1986: 35)

[3] "El carácter social de la subjetividad es uno de los ejes de la reflexión sobre el ser humano concreto. No existe imposibilidad de juzgar sobre lo subjetivo. Lo que existe, más bien, es miedo a las consecuencias que pueda tener tal discurso. Un caso claro lo encontramos en la teoría económica, desde los neoclásicos hasta los monetaristas, donde para no hablar de necesidades se acuña la noción de preferencias. Tras esta opción se revela el marcado recelo hacia lo universal-subjetivo y a las consecuencias de asumirlo, sobre todo si se trata de defender una economía de libre mercado… Por carecer de la necesaria evidencia empírica, no podemos afirmar a ciencia cierta que las necesidades humanas fundamentales son permanentes. Sin embargo, nada nos impide hablar de su carácter social-universal, en tanto necesidades cuya realización resulta deseable a cualquiera, y cuya inhibición, también para cualquiera, ha de resultar indeseable." (Hamrell y Nordberg 1986: 37).

[4] Prueba de ello son los múltiples criterios que encontramos en los informes que se publican cada año desde la ONU y desde otras organizaciones no gubernamentales de derechos humanos.

situaciones históricas de desigualdad y explotación social, y por extensión, de dificultades en relación a la satisfacción de las necesidades básicas.

Como hemos dicho, la presencia de artefactos macrolíticos en contextos de producción y de amortización (p.ej. ajuares funerarios) los hacen de gran importancia a la hora de caracterizar sociedades pasadas desde un punto de vista económico. Estas tareas forman parte de actividades productivas cotidianas, destinadas al consumo inmediato o mediato. Más allá de las aproximaciones que puedan hacerse acerca de la fabricación y/o el uso de los instrumentos macrolíticos mediante la traceología, será el contexto de producción y de consumo de los productos transformados, la intensidad de la producción y las condiciones sociales en que se lleven a cabo estas actividades lo que permitirá caracterizar la organización social de un grupo humano. Desde un punto de vista socioeconómico el análisis funcional no es en sí mismo un fin sino un medio de aproximación a la funcionalidad de los artefactos en la sociedad y, en última instancia al funcionamiento de la propia sociedad objeto de estudio.

Por esta razón, nuestra pretensión de enmarcar el análisis funcional en un ámbito social, mucho más amplio, exige el planteamiento inicial de una serie de preguntas acerca del objeto de estudio. De esta manera, partiendo del uso que se ha hecho de un instrumento de trabajo (*qué*), procuraremos contextualizar dicha actividad, de manera que ello permita responder a interrogantes como *quién, cómo, cuándo, con qué, para qué* (Figura 1.1.3).

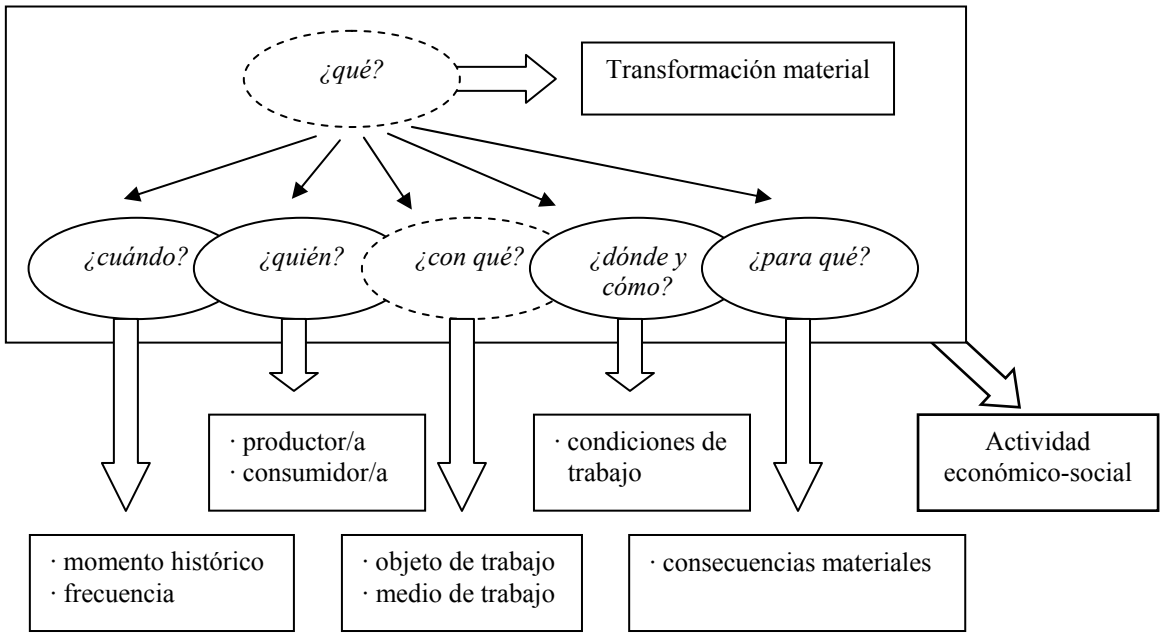


Figura 1.1.3: Mapa conceptual en el que se incluyen los campos de conocimiento cubiertos por el análisis traceológico (globos representados mediante líneas intermitentes) y por el análisis funcional, en sentido más amplio.

A menudo, desde la traceología se observan y describen detalladamente las actividades humanas evidenciadas en las superficies de los artefactos sin una definición satisfactoria del contexto histórico en el que se localizan, de la posición que adoptan frente al resto de actividades coetáneas ni de las implicaciones que se derivan en la sociedad en la que

se practican. El estudio traceológico de un instrumento de trabajo permite realizar inferencias sobre el tipo de actividad realizada (*qué*) así como el medio de trabajo para ello empleado y la naturaleza del objeto transformado (*con qué*), resulta indispensable tener en cuenta otros aspectos, entre ellos, los temporales o los espaciales. El momento histórico durante el cual tiene lugar dicha actividad o la frecuencia con la que ésta se realiza (*cuándo*), son informaciones directamente ligadas al sentido histórico del fenómeno social que se pretende explicar. Igualmente es interesante desde un punto de vista económico-social definir la autoría de quien realiza una actividad determinada, así como el grupo social que se beneficia de su producto, el cual no siempre coincide con la primera (*quién*). Las condiciones en las que se realiza la actividad, es decir, el espacio en el que se lleva a cabo, y, en general, los aspectos técnicos y sociales favorables o adversos que condicionan su ejecución, dan cuenta igualmente del contexto social objeto de estudio (*cómo y dónde*). Finalmente son las consecuencias materiales de la actividad observada y las implicaciones de la misma en el grupo humano y material que la rodean, las que configuran su sentido social (*para qué*).

Naturalmente este esquema sólo plantea algunas de las preguntas más específicas a resolver en torno a cualquier observación arqueológica concreta. Cada una de estas observaciones está relacionada con otros muchos aspectos sociales que la condicionan en su interpretación y que, a efectos de un análisis paleoeconómico completo, también deberían tenerse en cuenta. Nos referimos con ello a la necesidad de abordar todo estudio arqueológico desde una base sólida apoyada en la asociación y unificación de las múltiples disciplinas desarrolladas en ella misma y en otras ramas de la ciencia (antropología física, geología, zoología, botánica etc.) en un solo propósito u objetivo[5].

La reivindicación de una forma de trabajar que integre la totalidad de las disciplinas arqueológicas en un mismo fin, excede con creces las pretensiones de cualquier tesis doctoral normal y corriente. Sin embargo, es válida, viable y necesaria para todo proyecto de investigación arqueológica. Durante el presente trabajo se mantienen en el trasfondo los planteamientos teóricos comentados arriba, si bien sólo algunos han podido ser aplicados en la práctica, debido, sobre todo, al carácter académico del mismo. Ello conduce a la dificultad de profundizar en todos los campos de investigación y disciplinas existentes, y a centrarnos, por lo contrario, en diversos análisis realizados sobre el material macrolítico.

Tomamos aquí el esquema económico básico (EEB) definido por Risch (1995, 1998) y (Castro *et alii* 1996) como estructura teórica que integra la mayoría de los elementos presentados en la figura anterior y que sirve para caracterizar toda materialidad implicada en cualquier actividad productiva. En él se formulan las bases para el estudio de la materialidad desde su condición como factores del EEB (objeto de trabajo, fuerza de trabajo, medio de trabajo, producto), en los tres tipos de producción (básica, de objetos, de mantenimiento) y en cada uno de sus tres momentos del proceso de producción (producción, distribución, consumo). Así mismo, se han tenido en cuenta los diversos planos de expresión de la materialidad (Lull 1988: 76-92; Castro *et alii* 1996: 38-40) que conllevan, a su vez, la presencia o ausencia de huellas de producción[6].

[5] Sirva este inciso para reivindicar una aplicación transversal de las disciplinas arqueológicas en el sentido en el que, desde otras ramas de la ciencia, se está utilizando en los últimos años el término "transdiciplinariedad" (Max-Neef 2005: 5-16).

[6] Las huellas de producción están representadas por huellas de fabricación y/o huellas de uso. Entre las primeras se incluyen aquéllas generadas durante el proceso de elaboración o manufactura del artefacto, en

De los tres tipos de producción que realiza el ser humano, el instrumental macrolítico interviene directamente en la producción de objetos y en la de mantenimiento, mientras que la básica está limitada a la reproducción biológica o producción de fuerza de trabajo (agentes sociales). Todo futuro instrumento de trabajo ha de pasar, al menos, por una etapa de la producción de objetos: la adquisición de materia prima. Una vez apropiada por el ser humano, ésta puede pasar directamente a intervenir en la transformación de otras materias primas o bien ser transformada previamente mediante un proceso tecnológico determinado. En cualquier caso, el uso intensivo y continuado de un instrumento de trabajo, requiere de periódicos retoques y reparaciones de sus superficies activas, al menos si se pretende prolongar su vida de uso sin que su rendimiento disminuya. Actividades como el reavivado de superficies de molienda o el reafilado de filos, forman parte de la producción de mantenimiento de objetos[7].

Desde un punto de vista marxista, el análisis de los diferentes momentos en los que se manifiesta la producción en la sociedad, permite definir su organización económico-social. Toda sociedad produce, elabora y consume productos de una forma determinada, configurando, de esta manera, un modo de producción predominante. La forma en la que lo producido llega a ser consumido, está mediatizada por la distribución que se hace del producto, lo cual puede revertir o no en la persona que ha participado en su elaboración. Por tanto, las desigualdades sociales que pueden llegar a darse en un grupo humano, no se dan exclusivamente en la esfera del consumo, sino en la esfera que vincula la producción con el consumo. Puede decirse que es la distribución el ámbito en el que se manifiesta la asequibilidad, por parte de diversos grupos sociales, al consumo del producto resultante.

Los objetos pasan a circular a lo largo de mecanismos de distribución en calidad de producto, tras haber pasado por todos o algunos de los estadios de la cadena de elaboración en forma de objeto de trabajo. A continuación, éste puede ser consumido directamente, como producto final o de consumo, o bien como producto medial o instrumento de trabajo. Estas diferentes formas de consumo se reflejan en las dos dimensiones que adopta el valor de uso que tienen los objetos (Risch 1998: 111). En lo que a los ítems macrolíticos se refiere, dependiendo de criterios tecnológicos y espaciales, los podemos encontrar en forma de objeto de trabajo, medio de trabajo o producto. Un canto rodado situado en un taller de manufactura, sobre el cual se observan huellas de regularización de la superficie, transformando parcialmente la morfología del soporte natural, constituirá muy probablemente un objeto de trabajo en pleno proceso de elaboración, de la misma manera que un molino en proceso de reavivado de su superficie activa, también actuará como objeto de trabajo. Aquellos molinos que presenten superficies desgastadas y estén en estado operativo en un contexto de almacenamiento de grano, serán interpretados como medios de trabajo para facilitar la molienda. Finalmente, podemos encontrar ítems del mismo tipo amortizados en un ajuar funerario, en un depósito o en un contexto constructivo, en cuyo caso se

el cual éste actúa (de forma "pasiva") como objeto de trabajo que sufre una transformación. Las huellas de uso se generan a lo largo de la vida de uso de un instrumento, cuando es utilizado (de forma "activa") como medio de trabajo. Si bien unas y otras son claramente discernibles desde un punto de vista teórico, es la práctica arqueológica la que debe determinar el tipo de huella, más allá de su carácter antrópico (huella de producción).

[7] Si bien aquí nos limitamos a describir el mantenimiento de objetos, la producción de mantenimiento también es necesaria en el caso la fuerza de trabajo (seres humanos).

hablará de productos. Estos dos últimos ejemplos corresponden a las dos formas de consumo (como producto medial o como producto final) que hemos mencionado anteriormente.

Todo aquel soporte macrolítico que haya sido integrado en un proceso de elaboración (OT), utilización (MT) o mantenimiento (nuevamente, OT) determinado, entra en contacto con materiales de diversa índole, lo cual deja huellas de alteración, normalmente mecánica, sobre sus superficies. Llamaremos "huellas de producción" a todas las posibles huellas de desgaste antrópicas que puedan afectar a una superficie lítica, dentro de las cuales hacemos la distinción entre "huellas de fabricación" y "huellas de uso". Las primeras se generan sobre el ítem cuando éste, actuando de manera pasiva, es decir, como objeto de trabajo, es sometido a un proceso de transformación morfológica por percusión o abrasión. Un producto macrolítico, mientras no sea utilizado como medio de trabajo, únicamente presentará huellas de fabricación en su superficie. Las huellas de uso, por su parte, se generan en el ítem a través de su intervención activa en procesos de producción ulteriores, en los que es utilizado como medio de trabajo. Si bien también aquí se actúa por percusión o abrasión, la manifestación de huellas de fabricación y de uso está condicionada por toda una serie de factores que atañen al movimiento, al tipo de acción, a la actividad realizada y, en definitiva, al proceso de producción en general, en el que se integran unas y otras (fig. 2).

Teniendo en cuenta los factores del sistema económico básico así como la presencia/ausencia de huellas de producción que podemos constatar en sus superficies, es posible establecer cierto paralelismo con los diversos planos en los que los objetos, en nuestro caso macrolíticos, se expresan materialmente, siguiendo la propuesta de (Lull 1988: 64) y (Castro *et alii* 1996: 38-40) que reproducimos a continuación:

Circundatos son "segmentos de la naturaleza que interactúan con el medio social limitándolo, enmascarándolo o, simplemente, procurándolo; las muestras para determinar el marco ecológico de un territorio arqueológico son un buen ejemplo de esta tercera clase de materiales arqueológicos."

Arteusos son "productos naturales cuya presencia en lugares arqueológicos es antropogénica y su beneficio es social. En el caso de las materias primas, los elementos biológicos aprovechados y los residuos de cualquier clase que proceden de mecanismos productivos".

Artefactos son "productos artificiales, en tanto que productos presentan huellas de transformación pero pueden ser tanto tecnocomplejos como asentamientos, necrópolis etc." (Lull 1988: 64)

Empezando por la última de estas definiciones, que es la que menos dificultades presenta en la identificación de los factores paralelos correspondientes al esquema económico básico, podemos equiparar el artefacto al producto resultante de un proceso de transformación que se manifiesta en el ítem a través de las huellas de fabricación. De momento, este producto ha abandonado el proceso antrópico de elaboración al cual ha sido sometido, pero aún no ha sido consumido, es por lo tanto, un artefacto. Ya hemos indicado anteriormente que las dos formas de consumir un producto o, lo que es lo mismo, un artefacto macrolítico es la deposición del mismo en contextos de amortización o su utilización como medio de trabajo. En este último caso, encontraremos la presencia conjunta de huellas de fabricación y de uso en el mismo ítem. Sin embargo, y siguiendo el ejemplo concreto del material macrolítico, el medio de trabajo puede estar representado en un segundo plano de expresión: el arteuso. Como dice la definición, los arteusos son materias primas aprovechadas en su estado natural,

por lo que podemos encontrarnos con cantos rodados que pasan a utilizarse directamente como instrumento de trabajo, sin transcurrir por un proceso de elaboración previo, presentando, por tanto, huellas debidas exclusivamente al uso.

En último lugar, son los circundatos los elementos que forman parte del entorno natural y, por lo tanto, las potenciales materias primas con las que puede contar el ser humano para emprender los mecanismos de producción de objetos. En consecuencia, este plano de expresión no tiene relación directa con el esquema económico básico, que ya pertenece a la esfera de lo social. Sin embargo, nos gustaría aprovechar este comentario para explicar porqué sí hemos integrado este término en la tabla presentada arriba, añadiéndole a continuación "apropiado socialmente". La materia prima almacenada es considerada en este estudio como objeto de trabajo, en tanto que ya ha sido integrada en la cadena productiva, aunque se encuentra momentáneamente en "stand by" o estado de transición, sin que en ella se puedan reconocer otras huellas de fabricación más que el mero hecho de encontrarse fuera de su contexto natural; ya no es un simple circundato. Sin embargo, tampoco es un arteuso porque su beneficio no es social, no hay tal beneficio hasta que se consuma de alguna de las maneras explicitadas arriba. Como ya hemos indicado, tampoco es un artefacto puesto que no presenta huellas de transformación. Se trata en nuestra opinión de un circundato apropiado por la sociedad, a la espera de ser consumido. Con respecto a los factores del EEB, está claro que no es un medio de trabajo, pues no hay evidencias de que haya intervenido como tal. En este caso consideramos que la materia prima almacenada representa un producto del trabajo destinado a la extracción de materia prima.

Valgan estos apuntes introductorios para definir y relacionar los términos que a partir de ahora se utilizarán en el transcurso de este trabajo, durante la presentación del estudio realizado en torno a algunos de los registros macrolíticos excavados en el sudeste peninsular más recientemente. A continuación presentamos los objetivos concretos que se han fijado para llevar a término este trabajo.

1.2 Planteamiento y objetivos

1.2.1 Aspectos metodológicos

Tras haber expuesto en el apartado anterior el interés que reviste el estudio de inventarios macrolíticos desde un punto de vista teórico (*por qué*) quedan por esbozar las directrices metodológicas (*cómo*) que defendemos como válidas para abordar una aproximación paleoeconómica a las sociedades del Mediterráneo occidental y dar respuesta a las problemáticas históricas de los tres últimos milenios anteriores al cambio de era. Como los aspectos metodológicos se tratan ampliamente en el capítulo 2, en el presente apartado nos detendremos en la relación existente, a efectos de este trabajo, entre teoría y método.

Hasta hace pocos años la presencia de objetos macrolíticos en los inventarios de las excavaciones era poco más que anecdótica, pasando éstos del depósito arqueológico directamente a las terreras que iban acumulándose durante las campañas. En el mejor de los casos, estos objetos eran recogidos y depositados directamente en los fondos de los museos donde quedaban olvidados durante décadas, al margen de los estudios realizados sobre otros registros materiales y sin llegar a formar parte del *corpus*

monográfico del yacimiento en el que fueron excavados. Entre otras razones, probablemente el gran tamaño de algunos de estos objetos y su dificultosa manejabilidad han contribuido a hacer de ellos objetos poco "atractivos" para los investigadores. En publicaciones actuales, sin embargo, la presencia de este tipo de materiales se ha incrementado considerablemente, gracias a la atención que ha comenzado a otorgarles la investigación arqueológica.

El tipo de análisis al que más comúnmente se ha sometido el instrumental macrolítico es el análisis petrográfico (p. ej., Runnels 1981; 1985; Pétriquin y Jeunesse 1995; Milleville 2003) con el fin de caracterizar las fuentes de aprovisionamiento y el origen de las materias primas. Lo mismo ocurre en la arqueología peninsular, en general, y en el SE en concreto, donde los análisis más abundantes, relacionados con inventarios macrolíticos, tratan de definir los sistemas de suministro vigentes durante la prehistoria (p. ej. Barrera *et alii* 1987; Bernabeu y Orozco 1989/1990; Orozco 1990, 1994, 2000; Risch y Ruiz 1994). Por otro lado, existe una bibliografía bastante amplia que aborda el análisis tipológico de algunas categorías macrolíticas, como son los artefactos de molienda, (p. ej., Hürlimann 1965: 72-86, Zimmermann 1988: 569-787) desde un punto de vista morfométrico.

Este interés por los objetos macrolíticos es el que ha llevado a la comunidad investigadora a darse cuenta del poco esfuerzo que se había dedicado ha resolver otras cuestiones no menos importantes, como las funcionales. Visto el protagonismo que han cobrado los estudios de esta índole en la valoración de los inventarios líticos tallados, en relación a los cuales la traceología[8] se ha consolidado como una rama metodológica de estudio, cabe preguntarse porqué se ha desatendido de esta manera el registro macrolítico. Más, si tenemos en cuenta que el estudio traceológico de ambos tipos de registro compartieron en el trabajo pionero y sintético de Semenov (1957, 1981), un origen común, recorriendo posteriormente trayectorias dispares.

En el actual estado de la investigación, unas de las propuestas más ampliamente desarrolladas desde un enfoque funcional aplicado al estudio de materiales macrolíticos proceden del ámbito de la arqueología americana (Hayden 1987; 1990; Adams 1988, 1989a, 1989b, 1993a, 1993b, 1994, 1999, 2002a), las cuales aparecen nutridas de un programa experimental más o menos sólido e informaciones etnohistóricas. En Europa existen intentos enmarcados en trabajos más extensos que incluyen y describen las huellas observadas sobre registros macrolíticos del Paleolítico, experimentales o etnográficos (p. ej. Beaune 1989: 27-64; Beaune 2000; Schulte-Dornberg 2002a, 2002b, 2003). Para periodos prehistóricos posteriores disponemos de dos tesis recientes procedentes de la investigación francesa, las cuales incorporan un amplio programa experimental en el que se apoya el posterior análisis de inventarios macrolíticos procedentes de varios asentamientos neolíticos de Centroeuropa (Hamon 2006) y del Próximo Oriente (Dubreuil 2002; 2004). Con respecto a las etapas de la prehistoria reciente son básicamente dos autores los que se han ocupado de recoger los resultados más relevantes: Risch (1995) para el Calcolítico y el Bronce del Mediterráneo occidental y Procopiou (1998) para el Mediterráneo oriental.

Finalmente, entre las aportaciones hechas en el ámbito de estudio de huellas de producción, contamos con algunas incursiones por parte de traceólogos espacialistas en

[8] Términos como "Tráceologie", "Gebrauchsspurenanalyse" o "Use-wear analysis" denominan en francés, alemán e inglés respectivamente, el campo metodológico al que en este término se refiere.

instrumentos tallados, quienes han aplicado puntualmente la experiencia acumulada en el estudio de diversos ítems macrolíticos arqueológicos o experimentales (González e Ibáñez 1994, 2002; Plisson 1982, 1986).

Pese a las citadas publicaciones, la investigación en torno a las funcionalidades de los elementos macrolíticos carece hasta la fecha de un lenguaje estandarizado que permita relacionar y comparar resultados de diversos ámbitos geográficos y lingüísticos. En este sentido, ya se ha dado un primer paso que recoge un sistema de descripción de huellas consensuado entre varios investigadores franceses, americanos y españoles y presentado en el XV congreso UISPP, celebrado en el 2006 en Lisboa (Adams *et alii* en prensa) pero sigue faltando un punto de partida unificado sobre el cual basar y construir la investigación traceológica del registro macrolítico. Probablemente el carácter cualitativo de los sistemas que se han utilizado hasta el momento para describir y caracterizar las huellas de uso, constituya una de las razones por las que resulta difícil equiparar los criterios propuestos por unos y otros investigadores. En este sentido, durante los últimos años, se vienen publicando algunas propuestas metodológicas para abordar la cuantificación del desgaste, las cuales, si bien aún se encuentran en una fase explorativa y no de aplicación, están abriendo nuevas posibilidades y vías de investigación (Procopiou *et alii* 1996; Stemp y Stemp 2001; 2003; Georges *et alii* 2004; Procopiou 2004; Zahouani *et alii* 2004; Lerner *et alii* 2006). De ellos se desprende la importancia crucial de las propiedades petrográficas de las diversas rocas utilizadas como soporte para la producción de los artefactos estudiados.

Por otro lado, muchas de las líneas de investigación reconocidas en las publicaciones constituyen una parcelación de las metodologías existentes, lo cual conduce a una escasez generalizada de trabajos sintéticos que asocien aspectos petrográficos, morfométricos y funcionales. El trabajo de investigación de Risch (1995: 52-78) supuso, entre otras cosas, un enorme esfuerzo en proponer un sistema global para el estudio de inventarios macrolíticos del SE peninsular que integrase los tres enfoques. Posteriormente, se ha comprobado la validez y operatividad de dicho sistema en la valoración de otros inventarios procedentes de yacimientos andaluces (Delgado Raack 2003) y baleares (Micó *et alii* 2001; Risch 2003: 306-319). A pesar de ello, desde 1995 carecemos, sobre todo, de propuestas sintetizadoras para la descripción y el estudio microscópico de las huellas observadas sobre instrumentos macrolíticos que vayan dirigidas a definir el papel que jugaron estos materiales en el funcionamiento de las comunidades pasadas.

Resumiendo lo que se ha indicado arriba, podemos definir el momento actual de la investigación en torno al registro macrolítico en los siguientes términos:

a) Los esfuerzos realizados en el estudio de inventarios macrolíticos han ido produciéndose de forma más o menos aislada, desde los enfoques petrográficos, morfométricos y traceológicos, que pocas veces han encontrado un objetivo común en la resolución de problemáticas funcionales.

b) Los análisis traceológicos se basan preferentemente en descripciones cualitativas de las huellas de producción (tipos de huellas, atributos). Esto ha conducido a que la traceología, tal y como se ha practicado hasta la actualidad, haya tendido

a identificar directamente las trazas diagnósticas de un desgaste sin llegar a comprender los mecanismos responsables de su formación.

c) Estos hechos han conducido a un estado de carencia de un método de observación estandarizado y una terminología operativa para realizar las descripciones de las huellas.

Desde un punto de vista paleoeconómico, tal y como lo hemos ido indicando en los apartados anteriores, resulta de vital importancia poner de manifiesto las bases productivas sobre las cuales se asienta el sistema socio-económico, para lo cual se requiere en primer lugar de un conocimiento sobre la gestión de los recursos macrolíticos así como sobre la funcionalidad de los medios de trabajo elaborados con ellos. Por lo tanto, es precisamente en este aspecto, en el de la funcionalidad, donde es necesaria la introducción de nuevas iniciativas y propuestas de estudio, para lo cual a continuación concretamos brevemente los puntos novedosos de interés metodológico que este trabajo de investigación aporta:

a) La introducción de aspectos cuantitativos para una mejor comprensión del papel que juegan las propiedades físicas específicas de cada litotipo en el comportamiento material y, por consiguiente, en la formación de huellas de producción. Con ayuda de los principios que rigen la tribología y otros sistemas de desgaste, buscamos explicitar las características petrográficas de los materiales que influyen en el comportamiento mecánico y en el ritmo de desgaste de un artefacto (capítulo 2.1).

b) Sobre esta base, se lleva a cabo una profundización en el análisis cualitativo-traceológico y se propone un sistema estandarizado de descripción de huellas de producción (capítulo 2.2).

1.2.2 Contexto arqueológico

Los materiales macrolíticos tratados en este estudio proceden de tres entornos geográficos diferentes, localizados en los términos municipales de Lorca (Murcia), Turre (Almería) y Montuïri (Mallorca). En ellos se incluyen 11 yacimientos de los cuales ni uno sólo ha sido excavado en su totalidad y, a excepción de dos (Gatas y Son Fornés), todos los demás constituyen excavaciones de salvamento (Figura 1.2.1). De entre los yacimientos lorquinos, 6 pertenecen al subsuelo del mismo casco urbano, donde los trabajos se emprendieron después de que las obras de instalación de edificios hubiesen comenzado, por lo que en algunos casos, el depósito arqueológico se encontraba ya bastante afectado. Las condiciones de excavación y el grado diferencial de incidencia de las obras en las intervenciones de salvamento, hacen que dispongamos de un nivel de documentación considerablemente dispar.

Ubicación geográfica	Yacimiento	Año/s de intervención	Tipo de excavación	
			Urg.	Ord.
Casco urbano de Lorca (Murcia)	Carril de Caldereros	2003	x	
	Floridablanca	1997	x	
	Glorieta San Vicente	2002	x	
	Calle Los Tintes	1995, 2002	x	
	Calle Zapatería nº 11	1986	x	
	Madres Mercedarias	1994/95, 2001-2002	x	
Término Municipal de Lorca (Murcia)	Los Cipreses	1992/93, 1995-1999, 2003-2004	x	x
	Barranco de la Viuda	1998/99	x	
	Murviedro	2001	x	
Turre (Almería)	Gatas	1886, 1985-1987, 1989, 1991, 1995, 2001		x
Montuïri (Mallorca)	Son Fornés	1975-1979, 1981, 1982, 1985, 1988, 1990-1991, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002-2003, 2005, 2006		x
TOTAL			9	3

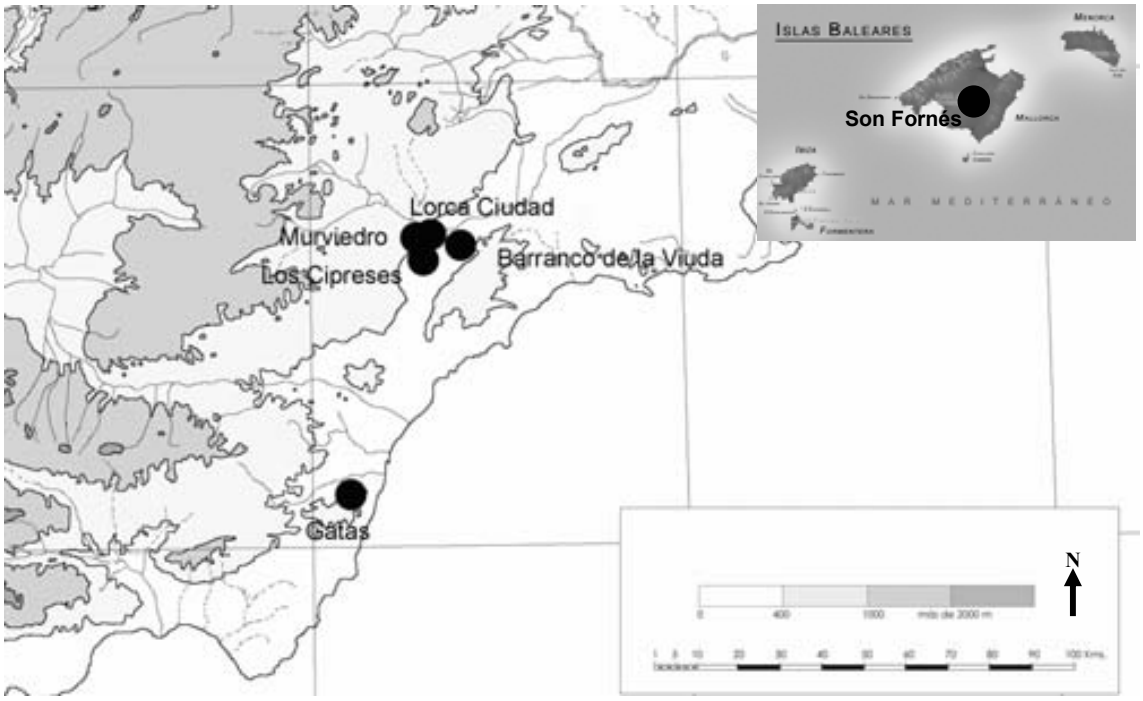


Figura 1.2.1: Ubicación geográfica de los yacimientos y aspectos cronológicos y técnicos relacionados con cada una de las intervenciones arqueológicas de las que proceden los ítems macrolíticos estudiados. Mapas S. Gili y www.es.wikipedia.org/wiki/IslasBaleares

1) Lorca ciudad (Murcia)

Lorca está situada a ca. 353 s.n.m. en el límite oeste de la llanura prelitoral, allí donde el actual cauce del río Guadalentín forma una inflexión reorientándose hacia el nordeste. Las Sierras de la Peña Rubia al oeste, La Tercia y Carrascoy al norte, Almenara y Carrasquilla al este y la Sierra de Enmedio, algo más alejada hacia el sur, constituyen los límites naturales del valle, al mismo tiempo que han representado desde tiempos prehistóricos hasta nuestros días importantes entornos geológicos en lo referente a la explotación de materias primas.

La ciudad, con el Cerro del Castillo como elemento más emblemático, constituye un núcleo de confluencia de manifestaciones con gran riqueza histórica y prehistórica. Prueba de ello son los numerosos restos arquitectónicos de época medieval-cristiana e –andalusí e iberoromana que salen a la luz en el marco de obras de saneamiento y construcción que se están realizando en los últimos años. Para la prehistoria y, concretamente durante la época argárica, se asume un extenso poblamiento que llegaba al Cerro del Castillo, prolongándose laderas arriba. La antigüedad de algunas fechas absolutas así como las asociaciones materiales registradas en los yacimientos de esta zona, indican que, Lorca constituyó un importante centro argárico.

Con el presente trabajo y los yacimientos que incluimos en a continuación (Figura 1.2.2), se integra un área geográfica nueva al estudio de registros macrolíticos del sudeste peninsular.

Figura 1.2.2: Ubicación de los yacimientos excavados en el subsuelo del casco urbano de Lorca (www.callejero.interbusca.com/Murcia/Lorca).

Carril de Caldereros

Durante el año 2003 se llevó a cabo una excavación de salvamento en un solar de 2500 m^2 de superficie, comprendido entre la calle Juan Carlos I nº 79 y el Carril de Caldereros s/n. Los restos recuperados pertenecen a niveles romanos, ibéricos y calcolíticos que se reparten en 8 m de potencia estratigráfica (Pérez Asensio 2004: 33-36).

El asentamiento está situado a un centenar de metros del cauce del río Guadalentín, directamente sobre una llanura aluvial. Durante la prehistoria este entorno estuvo muy afectado por fuertes avenidas de agua que incidieron en el yacimiento (Pérez 2003; Pérez 2004: 33-36). Los niveles calcolíticos se encuentran sellados por un potente aluvión que llega a desarrollar perfiles de hasta 6 metros de altura. Este estrato sella un primer horizonte calcolítico (nivel I) compuesto por arcillas, cuya superficie parece haber sido parcialmente arrasada por las riadas. Como hallazgos estructurales se mencionan una acumulación de piedras de arrastre, que no llega a formar una estructura clara, algunos silos de pequeñas dimensiones, grandes vasijas hincadas en el suelo, a modo de silo, y dos importantes derrumbes de adobe asociados a material cerámico y a escorias de cobre (Figura 1.2.3). La aparición en el nivel prehistórico más superficial de un fragmento de cerámica campaniforme incisa permite asumir que el yacimiento fue ocupado durante la época Calcolítica-Campaniforme. Bajo este horizonte se localiza un estrato de limos y arenas correspondiente al nivel de ocupación más antiguo (nivel II). Los elementos estructurales se reducen a varios silos y restos de un espacio de uso exterior que apenas se ha conservado. Entre los materiales cerámicos predominan los ejemplares exentos de decoración y acabados a la almagra, así como otros atributos relacionados con los últimos momentos del Neolítico y principios del Calcolítico (asas tubulares, asas en cinta, apéndices con orificios, mamelones).

Figura 1.2.3: Fotografía general del solar de Carril de Caldereros mostrando la disposición de algunas de las estructuras excavadas en el suelo (Pérez Asensio, inédito).

Tanto los aspectos tipológicos (p. ej. ausencia/presencia de cobre) como el salto cronológico existente entre las fechas radiocarbónicas obtenidas a partir de tres muestras pertenecientes a ambos horizontes, sugieren que probablemente nos

encontramos ante una primera ocupación perteneciente a los últimos momentos del Neolítico y una posterior, asociada al Calcolítico (Figura 1.2.4).

Entre las analíticas realizadas hasta la fecha destacan los estudios geomorfológico (M. López Campuzano) y palinológico (J. S. Carrión) cuyas muestras se obtuvieron a partir de los perfiles de excavación pertenecientes a cada uno de los horizontes cronológicos. De este último se desprende una disminución drástica de la vegetación arbórea de ribera y un aumento paulatino de herbáceas, lo cual coincide con la intensificación de las actividades agrícolas en el valle de Lorca (Fuentes *et alii* 2005: 69-84). En este sentido, llama la atención que entre los restos de flotación obtenidos a partir del sedimento contenido en los silos, las semillas estén ausentes.

La(s) funcionalidad(es) del asentamiento no son evidentes, dada la ausencia de áreas de producción definidas (p. ej. fondos de cabaña) y el bajo número de restos materiales. Teniendo en cuenta la amplia extensión de la superficie de excavación así como el número total de silos documentados (56), la frecuencia de materiales asociados a la ocupación calcolítica es baja. A raíz del estudio de los materiales líticos tallados (M. López Campuzano) se ha podido excluir la talla del sílex *in situ* y concretar la procedencia de dicho material desde las inmediaciones del yacimiento El Capitán, situado a más de 30 Km de Lorca. En lo que respecta al instrumental macrolítico, incluímos en el presente trabajo un total de 58 ítems, de los cuales 4 están adscritos a época ibérica y 54 a la ocupación prehistórica (24 Calcolíticos y 30 del Neolítico Final).

Código Lab.	Contexto	Tipo muestra	BP	± ane
KIA-20889	Relleno del silo 49 (nivel I; UE 4117)	Carbón	4105	40
KIA-20887	Relleno de silo (nivel I; UE 4130; perteneciente al mismo silo que KIA-20889)	Carbón	4200	30
KIA-20890	Relleno de silo (nivel II; UE 4048)	Carbón	4455	43

```
KIA-20890: Radiocarbon Age 4455±43
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
                  [3327 BC:3229 BC] 0,486792
                  [3225 BC:3219 BC] 0,028792
                  [3175 BC:3160 BC] 0,06992
                  [3120 BC:3081 BC] 0,194305
                  [3069 BC:3026 BC] 0,220191
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
                  [3340 BC:3010 BC] 0,956391
                  [2981 BC:2957 BC] 0,025418
                  [2954 BC:2936 BC] 0,018191

KIA-20887: Radiocarbon Age 4200±30
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
                  [2885 BC:2862 BC] 0,2862
                  [2807 BC:2758 BC] 0,609088
                  [2718 BC:2707 BC] 0,104712
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
                  [2893 BC:2840 BC] 0,284967
                  [2813 BC:2678 BC] 0,715033

KIA-20889: Radiocarbon Age 4105±40
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
                  [2850 BC:2813 BC] 0,237674
                  [2742 BC:2728 BC] 0,074531
                  [2695 BC:2685 BC] 0,053104
                  [2680 BC:2580 BC] 0,634691
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
                  [2871 BC:2801 BC] 0,238143
                  [2791 BC:2790 BC] 0,001895
                  [2780 BC:2569 BC] 0,738663
                  [2516 BC:2500 BC] 0,021299
```

Figura 1.2.4: Fechas radiocarbónicas procedentes de Carril de Caldereros (casco urbano de Lorca; Strydonck *et alii* 2005: 150-151). Para la calibración de los datos convencionales se utilizó el programa Calib105 (intcal104.14c; Reimer *et alii* 2004).

Floridablanca

La construcción de un edificio de doble sótano para el cual fue necesario un desfonde de hasta 6 metros de profundidad, propició la excavación en 1997 de este yacimiento localizado cerca del curso del Guadalentín, a su paso por Lorca. Con la excavación de dos cortes, de 5x3,20 y 4,25x4,25 metros de extensión respectivamente, se obtuvo una secuencia estratigráfica compuesta por restos adscritos a época andalusí y romana bajo los cuales se documentó una sucesión de niveles de la Edad del Bronce, del Calcolítico y del Neolítico Final (Martínez y Ponce 2004: 291-306; 1998a: 44; 1998b: 23-24). La naturaleza de los hallazgos relacionados con cada uno de estos horizontes así como las fechas absolutas obtenidas en cada uno de ellos, avalan dicha tripartición (Figura 1.2.5).

Código Lab.	Contexto	Tipo muestra	BP	± ane
IRPA-1245	UE 2000, hogar	Carbón	3370	40
KIK-977/UtC-7939	UE 2007, nivel de abandono de canalización	Carbón	4100	35
KIK-977/UtC-7938	UE 3006, estructura excavada en terreno	Carbón	4620	35

```
IRPA-1245: Radiocarbon Age 3370±40
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
                  [1735 BC:1713 BC] 0,178884
                  [1694 BC:1617 BC] 0,821116
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
                  [1749 BC:1601 BC] 0,87349
                  [1593 BC:1531 BC] 0,12651

KIK-977/UtC-7939: Radiocarbon Age 4100±35
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
                  [2848 BC:2813 BC] 0,222203
                  [2738 BC:2731 BC] 0,041053
                  [2693 BC:2688 BC] 0,02075
                  [2679 BC:2578 BC] 0,715994
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
                  [2866 BC:2804 BC] 0,227587
                  [2775 BC:2770 BC] 0,004284
                  [2762 BC:2568 BC] 0,744244
                  [2517 BC:2499 BC] 0,023885

KIK-977/UtC-7938: Radiocarbon Age 4620±35
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
                  [3497 BC:3453 BC] 0,679956
                  [3441 BC:3441 BC] 0,008672
                  [3377 BC:3357 BC] 0,311371
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
                  [3517 BC:3395 BC] 0,710598
                  [3386 BC:3341 BC] 0,289402
```

Figura 1.2.5: Fechas radiocarbónicas procedentes de Floridablanca (casco urbano de Lorca; Martínez y Ponce 2004: 291-306). Para la calibración de los datos convencionales se utilizó el programa Calib105 (intcal104.14c; Reimer *et alii* 2004).

Una de las fechas radiocarbónicas pertenece a la única estructura argárica registrada en el yacimiento, un hogar, parte del cual estaba cubierto por restos de adobe que podrían haber constituido una estructura o un pavimento. Entre los restos de cultura material asociados a él se localizaron cuencos (formas 1 y 2), vasijas de almacenamiento y restos de escoria metálica. Este nivel se introduce en el horizonte calcolítico, del que se ha datado el momento de abandono y colmatación de un canal excavado en la tierra en torno al 2700 cal ANE. Este canal está relacionado con un contexto de uso del poblado, al cual se atribuyen dos estructuras excavadas en el suelo y evidencias de actividades de combustión metalúrgica, tal y como lo atestiguan un posible crisol de cerámica, el fragmento de un lingote y mineral de cobre. Otras actividades productivas registradas en este contexto calcolítico son la talla, las tareas de almacenamiento así como el procesado de recursos faunísticos. Al margen de pocos fragmentos de cerámica a la almagra, el registro cerámico recuperado en este horizonte está representado por formas abiertas y vasijas de borde exvasado, vasos de paredes rectas, apliques en forma de tetones y lengüetas así como decoraciones con círculos incisos.

La ocupación perteneciente al Neolítico Final está representada por dos estructuras de pequeñas dimensiones, excavadas en el terreno y rellenas de abundantes materiales arqueológicos. Entre ellos hay evidencias de la preparación de almagra para la producción cerámica, vasijas con cuello, cuencos, recipientes globulares, apliques de diversa índole (asas de lengüeta, cordón decorado, mamelón), concentraciones de artefactos líticos tallados y restos faunísticos. Cerca de ellas se encontraron cuatro fondos de cabaña incompletos de planta oval así como un foso que contenía cerámica e industria lítica en mayores densidades. De una de las estructuras excavadas en el suelo procede la tercera fecha radiocarbónica. Las muestras tomadas a efectos de las dataciones de Floridablanca podrían ser de vida larga, al tratarse de carbones (madera), no obstante, el salto cronológico entre la fecha neolítica (ca. 3440 cal ANE) y la calcolítica (ca. 2700 cal ANE) es considerable, lo cual aconseja, junto con otros criterios artefactuales a dividir el inventario en aquellos ítems macrolíticos adscritos al Neolítico Final (7) y aquéllos adscritos al Calcolítico (7). El periodo argárico aparece, en este caso, sin representación.

Glorieta San Vicente

Se trata de una de las múltiples excavaciones de urgencia que se han realizado en los últimos años en el interior del caso urbano de Lorca, en este caso, con motivo de la construcción de un aparcamiento subterráneo en la ciudad (García *et alii* 2002: 20-22). Debido a la proximidad espacial (ca. 400 m) así como a los aspectos arqueológicos y cronológicos que caracterizan los yacimientos de Floridablanca y Glorieta San Vicente, es muy probable que ambos constituyan el mismo contexto arqueológico, al menos en lo que a su ocupación calcolítica se refiere.

La excavación se organizó en dos fases, la primera de las cuales se centró en una serie de sondeos estratigráficos para posteriormente pasar, en el marco de la segunda intervención, a excavar la totalidad del solar. Durante los trabajos de excavación se recuperaron, además de restos históricos modernos y contemporáneos, varias necrópolis pertenecientes a época andalusí y romana. Entre los restos prehistóricos destacan 23 estructuras en fosa excavadas en el suelo, cuya utilización corresponde a una ocupación continuada a inicios del Calcolítico, a juzgar por las fechas radiocarbónicas. Algunas de estas estructuras, de diversa funcionalidad, aparecen revestidas de arcillas y adobes, mientras que otras acogen a su vez estructuras internas que, según los excavadores, pudieron servir de sujeción para vasijas de almacenamiento insertadas en ellas. Junto a su posible funcionalidad como dispositivos de almacenaje o silos, encontramos casos en los que estas fosas han sido amortizadas como enterramientos de animales (cánidos, bóvido) y en una ocasión como enterramiento de un individuo en posición fetal, al cual se le depositó una escápula pintada y un cuenco como ajuar. Otro de los hallazgos excepcionales está representado por un ídolo oculado que ha sido considerado entre los 45 ítems macrolíticos procedentes de este yacimiento y estudiados a efectos de este trabajo, si bien se recuperó en un contexto alterado en época histórica. Las dataciones de las que disponemos para este yacimiento proceden del enterramiento humano y de una segunda estructura en fosa amortizada como enterramiento animal (Figura 1.2.6).

Código Lab.	Contexto	Tipo muestra	BP	± ane
KIA-19491	UE 612/718, enterramiento en silo	Hueso humano	4075	30
KIA-19490	UE 597/600/625, silo amortizado como enterramiento de animal	Fauna	4035	35

KIA-19491: Radiocarbon Age 4075±30
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[2833 BC:2818 BC] 0,128223
[2662 BC:2648 BC] 0,090062
[2635 BC:2571 BC] 0,705011
[2513 BC:2503 BC] 0,076704
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[2855 BC:2812 BC] 0,147352
[2747 BC:2725 BC] 0,029385
[2697 BC:2563 BC] 0,703438
[2534 BC:2493 BC] 0,119825

KIA-19490: Radiocarbon Age 4035±35
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[2617 BC:2610 BC] 0,051448
[2596 BC:2596 BC] 0,006723
[2581 BC:2546 BC] 0,343105
[2541 BC:2488 BC] 0,598725
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[2833 BC:2819 BC] 0,026903
[2661 BC:2649 BC] 0,014506
[2634 BC:2471 BC] 0,95859

Figura 1.2.6: Fechas radiocarbónicas procedentes de Glorieta San Vicente (casco urbano de Lorca; Strydonck *et alii* 2005: 151-152). Para la calibración de los datos convencionales se utilizó el programa Calib105 (intcal104.14c; Reimer *et alii* 2004).

C/ Los Tintes

En la calle Los Tintes se han realizado varias intervenciones de salvamento en los últimos años. Dos de ellas se llevaron a cabo en la confluencia de la Calle Los Tintes con la Plaza Juan Moreno nº 8 durante 1995 (Martínez y Ponce 2002b: 150-160; Sánchez 2002: 140-148). La última intervención de 2002 se localizó en el nº 2-4 de la Calle Los Tintes (Medina 2003: 105-107). Los restos arquitectónicos y muebles de época andalusí (pozos emirales y califales) cortaban niveles de poblamiento ibero-romano y varios horizontes argáricos y calcolíticos.

Respecto a la cantidad de hallazgos cerámicos recuperados, la ocupación calcolítica aparece bastante mejor representada que la argárica. En el presente trabajo incluimos tan sólo cuatro ítems macrolíticos, procedentes tanto de uno como del otro contexto cronológico.

A la única fase argárica constatada en el yacimiento se adscribe un contexto de habitación del cual sólo ha quedado conservado un muro con tendencia semicircular y un rebanco interior. Tanto en el muro como en el derrumbe interior de la habitación se han registrado evidencias de actividades metalúrgicas como escorias, gotas de fundición y un fragmento de piedra con derrame de fundición. En el derrumbe exterior se

menciona el hallazgo del fragmento de un "brazal de arquero", un punzón de hueso, un cuerno trabajado y, entre el material cerámico, cuencos, tulipas y copas. Como restos de contextos funerarios relacionados con este horizonte cabe mencionar el hallazgo aislado de la mandíbula de un niño así como dos tumbas, una en urna y la otra, en fosa. En el interior de la primera de ellas aparecieron los restos de un individuo infantil junto a una escoria de cobre así como una concentración de semillas 50 carbonizadas (*vitis vinicola, hordeum celeste, triticum destum*, Precioso 2004: 27-28). La edad del individuo inhumado junto con la tipología de la urna (forma 3) sugieren una datación en los momentos argáricos más avanzados (Gatas IV). La segunda tumba representa un enterramiento doble, del cual proceden las dos únicas fechas existentes para este solar y de las que se desprende la sucesión en la deposición del individuo masculino tras el femenino (Figura 1.2.7). Dejando de lado el punzón de cobre y la pata de ovicáprido que se asocian al esqueleto femenino, no hay criterios de orden tipológico que permitan vincular este conjunto funerario a algún momento concreto dentro del periodo argárico. Sin embargo, las características de este enterramiento no descartan lo que sugieren las fechas absolutas, es decir, que nos encontramos ante uno de los contextos argáricos más antiguos de la ciudad de Lorca, probablemente perteneciente a la fase II de Gatas.

Código Lab.	Contexto	Tipo muestra	BP	± ane
Oxa-7668	Tumba 2, en fosa (m)	Huesos humanos	3690	40
Oxa-7667	Tumba 2, en fosa (h)	Huesos humanos	3560	35

Oxa-7668: Radiocarbon Age 3690±40
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[2139 BC:2026 BC] 1,
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[2198 BC:2162 BC] 0,088783
[2152 BC:1959 BC] 0,911217

Oxa-7667: Radiocarbon Age 3560±35
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[1957 BC:1878 BC] 0,895488
[1840 BC:1828 BC] 0,072592
[1792 BC:1785 BC] 0,03192
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[2020 BC:1993 BC] 0,054588
[1982 BC:1865 BC] 0,732347
[1849 BC:1773 BC] 0,213065

Figura 1.2.7: Fechas radiocarbónicas procedentes de C/Los Tintes (casco urbano de Lorca; Martínez y Ponce 2002b: 150-160). Para la calibración de los datos convencionales se utilizó el programa Calib105 (intcal104.14c; Reimer *et alii* 2004).

El horizonte calcolítico se ha dividido en dos momentos cronológicos en función de criterios estratigráficos. A la fase más reciente pertenecerían dos unidades de habitación con sus respectivos pisos provistos de hogares y con evidencias de metalurgia, todo ello enmarcado en un horizonte campaniforme. En una de ellas (*sector 1*), sobre el pavimento, los desechos metalúrgicos (restos de fundición, pequeñas bolitas, goterón informe de cobre, fragmento de cobre, escorias de fundición de cobre) coexisten con acumulaciones de semillas, un hacha pulida, cerámica a la almagra y un fragmento de cerámica campaniforme. La segunda área de actividad excavada (*sector 4*) constituye un contexto de habitación similar al primero, con pavimento y hogar, en el interior del cual aparecieron cuatro bolitas de cobre, un fragmento de cerámica impresa y restos de cerámica a la almagra. A falta de fechas absolutas, los excavadores establecen analogías entre éste y los contextos calcolíticos fechados de los yacimientos de Madres

Mercedarias y C/Cava 35, en torno a 2300 cal ANE (*infra*). Del horizonte calcolítico más antiguo sólo se ha conservado parte del muro de una habitación.

C/ Zapatería 11

El yacimiento se sitúa en una zona escarpada de la ladera que baja desde el Cerro del Castillo, excavándose en 1986 con motivo de unas obras de cimentación de edificios en el número 11 de la calle Zapatería. Además de los prehistóricos, se recuperaron también restos pertenecientes a la ocupación ibero-romana y andalusí.

Una primera fase de intervención consistió en la recogida y documentación de los hallazgos que la pala había destruido parcialmente durante la instalación de las correas y las zapatas, sin que pueda hablarse, por lo tanto, de una excavación planificada sistemáticamente (Martínez 1995: 64-80). Ello propició la recuperación de 9 tumbas, un cenotafio, varios tramos de muros rectilíneos y parte una habitación. Del interior de esta última proceden los únicos indicios de actividades productivas, donde se excavó un pavimento asociado a un ítem de molienda, un hogar y dispositivos de almacenaje.

Como no disponemos de fechas absolutas para la determinación de este solar, debemos apoyarnos en la estratigrafía y la tipología de los restos materiales. La secuencia estratigráfica de uno de los cortes de 5x2 m de extensión (corte A; Martínez *et alii* 1995: fig. 1) permitió fijar una sucesión temporal entre dos cistas y una urna. El resto de las estructuras mencionadas se reparten a lo largo de las correas y las zapatas por lo que resulta difícil asegurar su conexión estratigráfica con el contexto arqueológico descrito. Sin embargo, los excavadores proponen una partición trifásica de los restos según la cual, se diferenciarían tres niveles de uso funerario y/o doméstico (Figura 1.2.8). La relación de los criterios tipológicos que definen los contextos funerarios sugiere que, al menos, los niveles intermedio y más reciente se corresponden con las fases (III)-IV de Gatas, a juzgar por la existencia en ellos de urnas infantiles, ajuares que incluyen, urnas de forma 4, ajuares con formas 2 y 7 y espirales de cobre.

El corte B, de 6,90x3 metros, se excavó en la segunda fase de intervención. Se localiza en la zona más próxima a la calle, donde fue posible plantear una excavación en extensión, dado que se encontraba fuera de los límites establecidos por las obras de cimentación (Martínez *et alii* 1995: 82-88). En este corte se excavó parte del muro perimetral de una habitación argárica separada en dos estancias por otro muro perpendicular, una de ellas con rebanco adosado. Los muros presentan zócalos de piedra y alzado de adobe. Al finalizar la excavación aún no se había llegado al piso de ninguna de las dos estancias argáricas, por lo que resulta imposible afirmar algo acerca de su funcionalidad.

En cuanto a la relación cronológica entre los restos excavados en los cortes A y B, los excavadores afirman, en términos generales, que los últimos pertenecen a una fase histórica anterior, sin descartar una posible coincidencia temporal con la primera fase de ocupación del corte A (Figura 1.2.8).

1ª fase de excavación (corte A)	Fases de ocupación	2ª fase de excavación (corte B)
Enterramiento en urna 7 y habitación argárica	Reciente	
Enterramientos en urna (3,5,6,8, 9) y cenotafio	Media	
Enterramientos en cista (2, 4)	Antigua	Estructuras 2 y 3 (habitaciones argáricas)

Figura 1.2.8: Posible correspondencia cronológica entre los niveles argáricos excavados durante las dos intervenciones en C/Zapatería 11.

Los 9 instrumentos macrolíticos que incluimos en este estudio pertenecen a la primera fase de intervención y proceden de contextos tanto domésticos como funerarios.

Madres Mercedarias

La cercanía así como la coincidencia tipológica de la materialidad entre C/Zapatería 11 y Madres Mercedarias, conducen a pensar en que se trata del mismo yacimiento arqueológico, al menos para la época argárica.

En este punto el relieve sobre el cual se asienta el poblamiento prehistórico es bastante más pronunciado que el actual, con 8 metros de diferencia entre las cotas registradas en la calle Zapatería y Cava (fig. 1), zona en la cual se encuentra el yacimiento. Prueba de ello son las múltiples estructuras de aterrazamiento encontradas en forma de muros de mampostería con tendencia semicircular.

Las intervenciones arqueológicas que se han producido durante 1994-1995 y 2001-2002 fueron incentivadas por la construcción del patio del Colegio Madres Mercedarias y las obras en el interior del convento del mismo nombre, respectivamente. Los restos recuperados corresponden a una amplia secuencia (pre)histórica que va desde la ocupación calcolítica hasta nuestros días, pasando por diversas épocas del Bronce, la ibérica y la medieval. En el presente trabajo incluimos materiales macrolíticos de las intervenciones correspondientes a los años 1994-1995.

Entre los hallazgos adscritos al Bronce Tardío se encontraron los restos de una estructura de piedra adosada a un muro argárico, junto con el cual forma una sólida construcción (de 1,36 m de grosor) interpretada como muro de aterrazamiento o como tramo de una muralla, que pudo haber pertenecido a una fortificación del poblado del Bronce Tardío.

El horizonte argárico está ampliamente documentado en el sector oriental del solar y se caracteriza por una estratigrafía en la que se suceden hasta cuatro fases con alternancia de contextos de uso y mantenimiento (pavimentos, rebancos), derrumbes y 20 tumbas, de diversa tipología (Martínez y Ponce 2002a: 90-137).[9] Para las dos fases más antiguas del solar, I y II, contamos con contextos domésticos asociados a tumbas, mientras que las fases de ocupación III y IV representan contextos funerarios y domésticos, respectivamente. A excepción de la fase IV, disponemos de cinco fechas de C_{14}, para la datación absoluta de la ocupación argárica en esta zona de Lorca. Cuatro de ellas

[9] A estos hallazgos debemos añadir las siete tumbas, entre ellas una covacha, tres cistas y tres urnas, excavadas durante intervenciones arqueológicas posteriores (Pujante 2003).

proceden de dos contextos funerarios (tumbas 4 y 11), mientras que la quinta se relaciona con el incendio y derrumbe de uno de los edificios de la fase II (IRPA-1209, Figura 1.2.9). Esta última fecha es considerablemente antigua en términos argáricos y, aunque parte de una muestra de vida larga, pensamos que podría estar indicando un momento inicial de la ocupación argárica de Lorca, situándola al igual que la mencionada tumba 2 de C/Los Tintes, en torno al 2000 cal ANE y, con ello en la fase II de Gatas (Castro *et alii* 1999: 79). Con respecto a los contextos funerarios, la tumba 12 se adscribe, como único contexto funerario, al nivel más antiguo de la ocupación argárica en Madres Mercedarias y también podría atribuirse, en base a fundamentos tipológicos (cista de mampostería, aretes de plata en ajuar), a la fase II de Gatas. Por lo demás, tanto las fechas absolutas como los aspectos tipológicos (urnas con individuos infantiles, ajuares con forma 8) del resto de las tumbas las relacionan con las fases III y IV de Gatas.

Código Lab.	Contexto	Tipo muestra	BP	± ane
IRPA-1210	UE 969, hogar	Semillas carbonizadas	3835	30
IRPA-1209	UE 828, derrumbe de habitación por incendio	Poste carbonizado	3655	30
Oxa-7672	Tumba 11(m)	Huesos humanos	3510	40
Oxa-10995	Tumba 4 (m)	Huesos humanos	3467	36
Oxa-10996	Tumba 4 (h)	Huesos humanos	3458	37
Oxa-7671	Tumba 11(h)	Huesos humanos	3435	35

IRPA-1210: Radiocarbon Age 3835±30
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[2341 BC:2272 BC] 0,553027
[2258 BC:2207 BC] 0,446973
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[2458 BC:2418 BC] 0,074327
[2408 BC:2374 BC] 0,08572
[2368 BC:2200 BC] 0,838739
[2157 BC:2156 BC] 0,001214

IRPA-1209: Radiocarbon Age 3655±30
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[2123 BC:2092 BC] 0,289685
[2042 BC:1973 BC] 0,710315
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[2135 BC:2068 BC] 0,308509
[2065 BC:1945 BC] 0,691491

Oxa-7672: Radiocarbon Age 3510±40
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[1889 BC:1860 BC] 0,254208
[1854 BC:1771 BC] 0,745792
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[1943 BC:1739 BC] 0,998987
[1702 BC:1701 BC] 0,001013

Oxa-10995: Radiocarbon Age 3467±36
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[1877 BC:1841 BC] 0,345072
[1825 BC:1795 BC] 0,248907
[1783 BC:1741 BC] 0,406021
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[1885 BC:1727 BC] 0,898864
[1722 BC:1691 BC] 0,101136

Oxa-10996: Radiocarbon Age 3458±37
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[1876 BC:1842 BC] 0,293251
[1819 BC:1798 BC] 0,162614
[1780 BC:1737 BC] 0,426025
[1711 BC:1695 BC] 0,118109
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[1883 BC:1689 BC] 1,

Oxa-7671: Radiocarbon Age 3435±35
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[1865 BC:1849 BC] 0,109313
[1773 BC:1688 BC] 0,890687
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[1879 BC:1838 BC] 0,154548
[1830 BC:1663 BC] 0,831183
[1650 BC:1641 BC] 0,01427

Figura 1.2.9: Fechas radiocarbónicas procedentes de Madres Mercedarias (caso urbano de Lorca; Martínez y Ponce 2002a: 90-137). Para la calibración de los datos convencionales se utilizó el programa Calib105 (intcal104.14c; Reimer *et alii* 2004).

En el sector occidental se recuperaron los restos de una estancia argárica y varias tumbas que, por ausencia de conexión estratigráfica, no han podido ser integradas en la fasificación del sector oriental, más allá de su adscripción a época argárica. Sin embargo, la existencia de dos pisos evidencia que se trata de, al menos, dos fases de ocupación.

De época calcolítica se ha conservado un hogar asociado a objetos arqueológicos típicamente calcolíticos además de numerosos restos carpológicos y carbones (informe de Precioso *ibidem*: 132-134). De una de las semillas procede la única fecha de C_{14} existente para este horizonte (IRPA-1210, Figura 1.2.9).

Los 47 ítems macrolíticos que hemos estudiado proceden de contextos argáricos y del Bronce Tardío, apareciendo la mayoría de ellos como elemento constructivo de las tumbas y los muros y, excepcionalmente, formando parte de los ajuares funerarios y domésticos, asociándose en este último caso a rebancos.

2) Los Cipreses (Lorca)

Los Cipreses es un poblado argárico en llanura, de unos 20000 m^2 de extensión y exento de fortificación, que está emplazado en la periferia de la ciudad de Lorca, a unos 335 metros s.n.m., sobre una suave ladera que desciende del Cabezo del Pino (Sierra de La Torrecilla) y en la que confluyen dos pequeñas ramblas. Los trabajos en este yacimiento comenzaron en 1992/1993, en el marco de una excavación de urgencia practicada con motivo del reacondicionamiento del Polideportivo Municipal de Lorca (Martínez *et alii* 1999: 156-182). Para ello se dispusieron hasta ocho cortes de diversas medidas, entre los cuales llegó a abrirse una extensión de unos 210 m^2. A partir de ahí y durante los años 1995-1999 se realizaron varias campañas de excavaciones ordinarias en extensión (Martínez y Ponce 1997: 18-22; 1998c: 18-21; 1999: 16-17). La última intervención se llevó a cabo en 2004, en una franja de 150x5 m, incentivada nuevamente por las obras de desfonde del Polideportivo, en el marco de la adecuación del Parque Arqueológico de Los Cipreses (Sánchez y Medina 2005: 242-243). En este estudio presentamos materiales recuperados en todas las intervenciones mencionadas.

En el interior del poblado se documentaron 8 viviendas de planta oval, semiexcavadas en el suelo, con un espacio interior separado por un murete en dos mitades, que fueron utilizadas para actividades de diversa índole (Figura 1.2.10). Las paredes se componen de zócalos y, probablemente alzados de piedra y techumbres de material perecedero (caña y esparto). Dentro se localizan rebancos adosados a las paredes, hogares, pavimentos de tierra batida y restos de enlucido (adobe y arcilla). Además, se encontraron 16 tumbas, algunas de las cuales se asocian al interior de las cabañas mientras otras se ubican en espacios exteriores. Desde el punto de vista tipológico están representadas cistas, fosas y urnas. Durante los años 2002-2003 se consolidaron cinco casas y 13 sepulturas de mano del Taller de Empleo, en el marco de la musealización del Parque Arqueológico de Los Cipreses (Martínez *et alii* 2003; Martínez *et alii* 2004: 154-156).

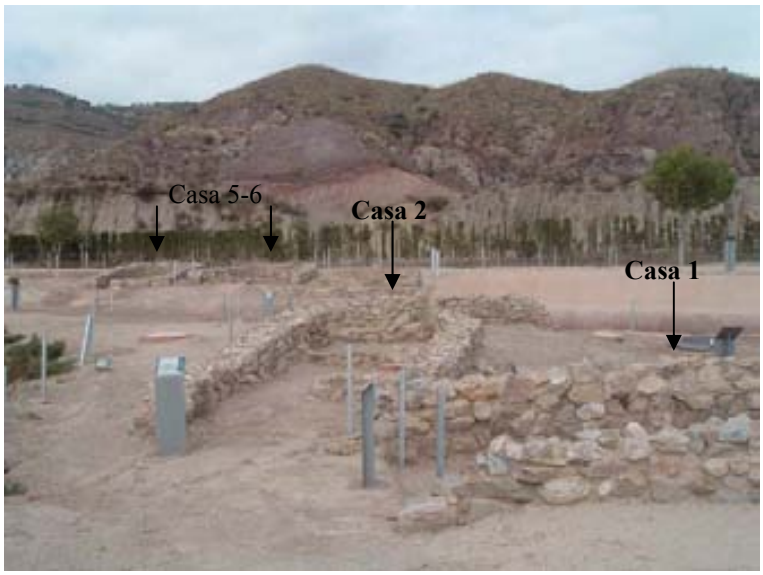


Figura 1.2.10: Emplazamiento de cuatro de las cabañas excavadas y consolidadas de Los Cipreses con la Sierra del Pino al fondo.

La extensión del poblado no ha podido ser delimitada, si bien probablemente las cabañas se extendían hacia el área noroeste, por donde transcurre hoy día la autopista. Ladera arriba se han localizado indicios de la explotación de lajas, la cual podría haber tenido lugar durante época argárica para la construcción de las cistas funerarias (Sánchez y Medina 2005: 242-243).

En cuanto al registro material mueble destacan objetos macrolíticos, de los cuales se incluyen en este trabajo 73, material cerámico, artefactos de sílex, industria ósea y fauna. De los informes de excavación se desprenden varios indicios de actividades de producción que se distribuyen en espacios interiores (p. ej., molienda, almacenamiento, actividad téxtil) y exteriores (p. ej., talla de sílex). Los estudios analíticos que se han realizado hasta la fecha sobre diversos registros materiales se han publicado en varios artículos que resumen los resultados de informes inéditos llevados a cabo por Mª L. Precioso (carpología), J. L. Montero (análisis de los metales), A. Morales y B. Pino (restos faunísticos), L. M. Hoshower, J. E. Buikstra y C. Rihuete (huesos humanos) (Martínez *et alii* 1996; Precioso 2004; Martínez y Ponce 2005: 29-37). Recientemente se ha publicado un artículo en el que se presentan los resultados de un primer análisis traceológico de los instrumentos macrolíticos que forman parte del ajuar de la tumba nº 3 (Delgado Raack y Risch 2006).

Según los autores, se han constatado tres fases de ocupación en base a criterios estratigráficos (A. Martínez, comunicación personal), según los cuales a la primera fase pertenecerían las casas 1 y 8, a la segunda fase las casas 2, 3, 4 y 7, a la tercera y última fase correspnderían las casas 5 y 6. En términos generales, la ocupación de Los Cipreses se sitúa entre 1900 y 1700 cal ANE, es decir, en la fase III de Gatas (Figura 1.2.11; Castro *et alii* 1999: 79). Los criterios tipológicos de las tumbas y sus ajuares indican igualmente momentos avanzados dentro de la época argárica, coincidiendo, con las fases III-IV de Gatas (enterramientos infantiles en urnas, formas 5, abundancia generalizada de adornos de cobre o plata).

Código Lab.	Contexto	Tipo muestra	BP	± ane
IRPA-1018	UE 1013, bolsada de carbones, exterior casa 2 y cerca de tumba 5	Carbón	3560	50
KIK-971/UtC-7937	UE 1169, hogar de la casa 1 (nivel más antiguo)	Carbón	3490	30
KIK-242/UtC-2738	Tumba 3	Madera	3510	90
KIK-1475/KIA-11226	UE 1044, Tumba 7, en exterior de casa 1 pero relacionada con su ocupación	Hueso humano	3530	30
KIK-1474/KIA-11225	UE 5022, nivel de ocupación, casa 5	Carbón	3475	30
KIK-1486/KIA-11235	UE 5068, nivel de ocupación, casa 7	Carbón	3475	30

```
IRPA-1018: Radiocarbon Age 3560±50
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
                  [2008 BC:2003 BC] 0,028514
                  [1976 BC:1876 BC] 0,756837
                  [1842 BC:1819 BC] 0,125342
                  [1797 BC:1780 BC] 0,089307
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
                  [2028 BC:1755 BC] 1,

KIK-971/UtC-7937: Radiocarbon Age 3490±30
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
                  [1878 BC:1839 BC] 0,423257
                  [1828 BC:1791 BC] 0,400981
                  [1786 BC:1769 BC] 0,175762
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
                  [1894 BC:1739 BC] 0,993958
                  [1705 BC:1700 BC] 0,006042

KIK-242/UtC-2738: Radiocarbon Age 3510±90
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
                  [1950 BC:1737 BC] 0,952519
                  [1711 BC:1695 BC] 0,047481
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
                  [2128 BC:2088 BC] 0,02256
                  [2046 BC:1614 BC] 0,97744

KIK-1475/KIA-11226: Radiocarbon Age 3530±30
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
                  [1916 BC:1872 BC] 0,449536
                  [1844 BC:1814 BC] 0,318214
                  [1801 BC:1777 BC] 0,23225
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
                  [1942 BC:1767 BC] 0,994635
                  [1763 BC:1759 BC] 0,005365

KIK-1474/KIA-11225: Radiocarbon Age 3475±30
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
                  [1877 BC:1841 BC] 0,373239
                  [1822 BC:1796 BC] 0,255861
                  [1782 BC:1747 BC] 0,3709
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
                  [1886 BC:1736 BC] 0,959641
                  [1712 BC:1695 BC] 0,040359

KIK-1486/KIA-11235: Radiocarbon Age 3475±30
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
                  [1877 BC:1841 BC] 0,373239
                  [1822 BC:1796 BC] 0,255861
                  [1782 BC:1747 BC] 0,3709
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
                  [1886 BC:1736 BC] 0,959641
                  [1712 BC:1695 BC] 0,040359
```

Figura 1.2.11: Fechas radiocarbónicas válidas procedentes del poblado de Los Cipreses (Martínez y Ponce 2005: 29-37 y Strydonck *et alii* 2002: 41). Para la calibración de los datos convencionales se utilizó el programa Calib105 (intcal104.14c; Reimer *et alii* 2004).

3) Barranco de la Viuda (El Hinójar)

El yacimiento del Barranco de la Viuda puede aparecer publicado con los nombres de El Cerro del Tesoro, Cerro del Moro o Cueva de la Palica. El poblado se sitúa a 387 m s.n.m., en la Loma de Burunda (El Hinójar), que forma parte de las estribaciones septentrionales de la Sierra de Almenara (Cuadrado 1948; Lull 1983; Ayala 1991: 41-54). El asentamiento ocupa una loma amesetada de unos 20000 m^2, desde la cual se obtiene una amplia visibilidad hacia el norte, sobre el valle del río Guadalentín. En el marco de una primera fase de intervención arqueológica con motivo de la instalación de la Torre 190 para la Línea Eléctrica Litoral-Rocamora, se realizaron varios sondeos a fin de localizar las zonas y los niveles inalterados (Martínez Sánchez 2005). Éstos se dejaron para la segunda fase, pendientes de ser excavados (Medina y Sánchez 1999: 17-18; Medina, inédito). Al margen de una elevada cantidad de molinos enteros recogidos en superficie, los materiales que se presentan en este trabajo corresponden a la segunda fase de intervención arqueológica, dedicada a la excavación sistemática de la zona nordeste del poblado.

En una superficie excavada de 380 m^2, situada en la ladera septentrional, salieron a la luz restos de un lienzo de muralla y cinco unidades habitacionales, algunas localizadas en el espacio circunscrito por la fortificación y otras adosadas al paramento interior de la misma (Figura 1.2.12). De ellas dos se han excavado en su totalidad. El tramo de la muralla excavado presenta, a lo largo de sus 39 m, un bastión semicircular adosado así como dos bastiones macizos incorporados al lienzo, a modo de contrafuertes. En algunos puntos el alzado de la muralla se conserva hasta una altura de 1,4 metros.

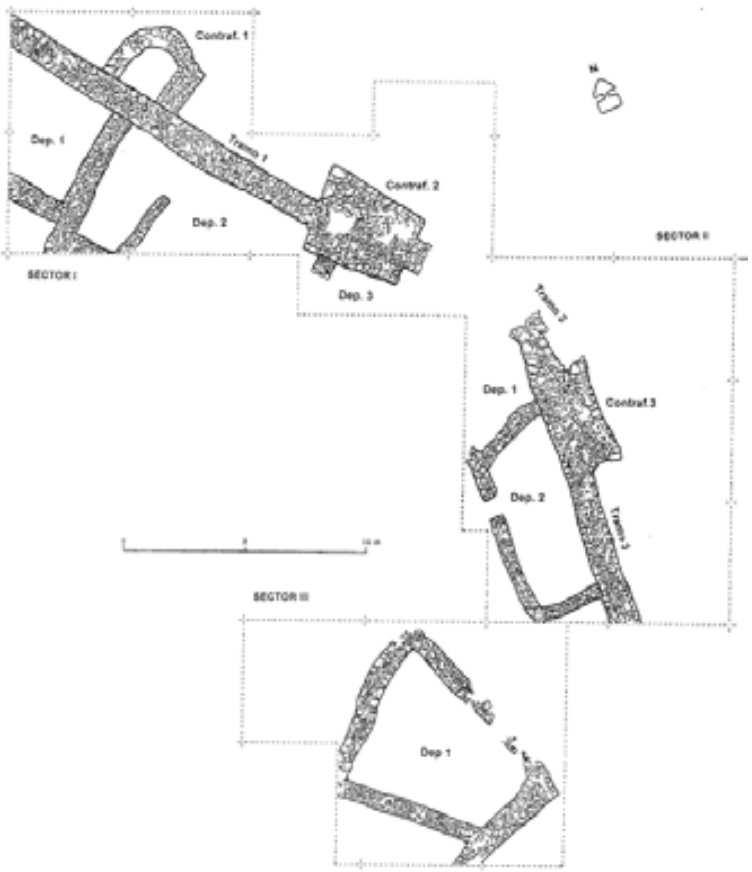


Figura 1.2.12: Plano de los cortes de excavación practicados en el Barranco de la Viuda y los restos arquitectónicos (muralla y departamentos) que salieron a la luz durante la intervención arqueológica (Medina, inédito).

Al margen de algunos hallazgos que se vinculan a época andalusí, el resto de los horizontes pertenece a la fase de ocupación argárica, que se sitúa directamente sobre la roca basal. En el interior de algunas habitaciones se han documentado hasta tres fases de ocupación, entre las cuales se intercalan horizontes de construcción y abandono. El uso del espacio aparece evidenciado por la existencia de pisos de frecuentación, vasijas de almacenamiento, copas, dos depósitos de cereal, elementos estructurales, como rebancos u hogares, así como dos tumbas en urna. Aunque en este caso no disponemos de fechas absolutas, algunos de estos elementos asocian la ocupación del Barranco de la Viuda, al igual que sucede en Los Cipreses, con momentos avanzados del periodo argárico. Entre ellos, la inhumación de individuos infantiles en ambas urnas así como la deposición en una de ellas de un pendiente de hilo de cobre y un anillo de plata.

Además de los hallazgos realizados recientemente, Ayala estudió en 1978 un conjunto de materiales procedentes de antiguas colecciones particulares (Ayala 1988: 41-54; Ayala 1991: 271-273). Entre estos objetos figuran vasijas de grandes dimensiones, un puñal, un hacha plana, un espiral metálico, cuentas de hueso, punzones, una pesa de telar, una fusayola y dos alisadores líticos. Además se menciona un tercer enterramiento infantil en urna y una urna funeraria con la inhumación de un individuo adulto, al cual se le depositó un ajuar compuesto por vasija, puñal con dos remaches, hacha plana y espiral de cobre o bronce. Tanto Cuadrado (1948) como Ayala (1986: 274) mencionan

los hallazgos de varias otras tumbas que fueron halladas en el Barranco de la Viuda desde los inicios de las actividades arqueológicas o clandestinas.

En cuanto a los ítems líticos recogidos durante los trabajos de excavación en el Barranco de la Viuda, figuran materiales tallados en sílex, molinos, cantos rodados, dos lajas, tres cuentas de collar, un fragmento de placa de afilar y varios fragmentos de roca y de artefactos indeterminados. En este trabajo incluimos el análisis de 17 artefactos de molienda procedentes de este poblado.

4) Murviedro(Lorca)

Es el último yacimiento lorquino que presentamos en este trabajo y el históricamente más reciente. Se encuentra ubicado a 496 metros s.n.m. sobre varias elevaciones que se distribuyen a lo largo de 70000 m^2, al sur del Cerro del Castillo. Sobre una de ellas, El Cerro del Colmenarico o del Colmenar, se llevó a cabo durante el año 2001 una excavación de salvamento destinada a recuperar los restos arqueológicos existentes en una extensión de ca. 1030 m^2, con motivo del traslado de varias antenas procedentes del Castillo (Pujante *et alii* 2002: 27-29).

Además del propio poblado, se menciona la existencia de una muralla, registrada en el marco de prospecciones realizadas con anterioridad (Idáñez 1987: 94; Pujante *et alii* 2002: 27). Se trataría de una construcción de 1 metro de grosor, que rodea el asentamiento a excepción del sector sudeste, donde las actividades de cantería que han tenido lugar en época histórica, la han destruido. No tenemos informaciones sobre el posible carácter prehistórico de esta construcción y en las intervenciones recientes éstos no pudieron ser documentados. En cualquier caso, los trabajos mencionados en torno a la cantera de época histórica han destruido gran parte del poblado que seguramente se prolongaría tanto hacia el sur como hacia el oeste (Figura 1.2.13).

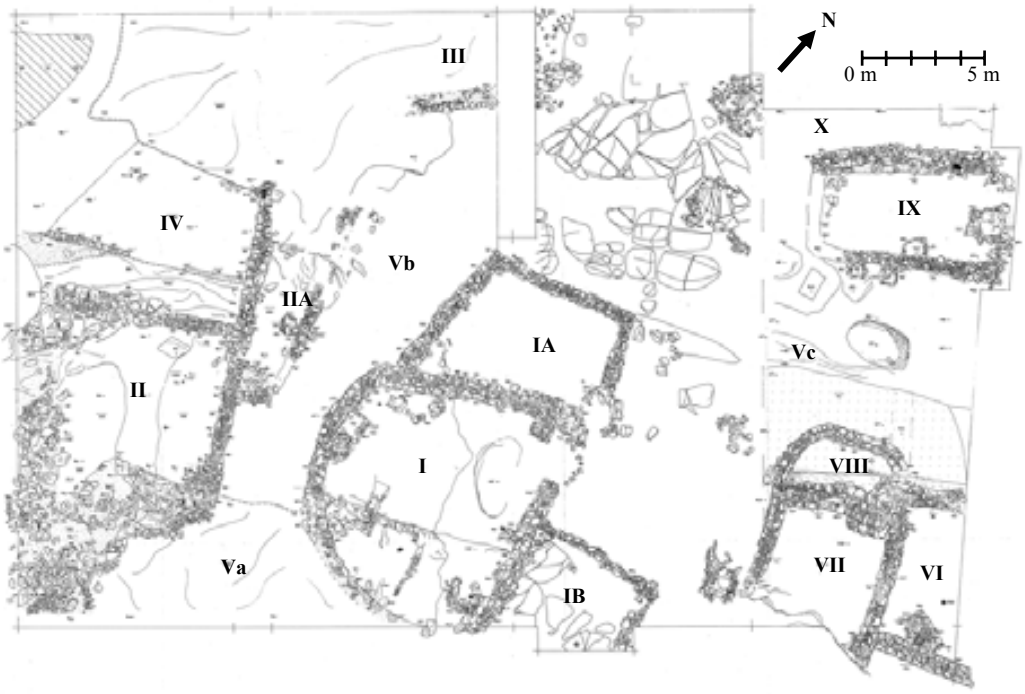


Figura 1.2.13: Unidades arquitectónicas y espacios exteriores documentados en el área excavada del poblado de Murviedro.

La superficie de excavación fue dividida en tres zonas, de cada una de las cuales se encargó una persona. Esto ha conducido a un fraccionamiento del yacimiento y de su documentación arqueológica (Pujante 2002; Madrid 2002; Bellón 2004). Bajo un horizonte intrusivo de época andalusí, aparecen niveles correspondientes al Bronce Tardío con cerámica del tipo Cogotas. En términos generales, a pesar de la reducida potencia estratigráfica conservada en el yacimiento (en torno a los 40 cm), se han podido diferenciar dos fases constructivas que, en parte, presentan técnicas arquitectónicas diferentes. Los siete espacios adscritos a la primera fase (I, II, III, IV, VI, VII, IX) están representados por plantas rectangulares u ovales. Entre ellos, los de mayores dimensiones alcanzan los 52 m^2 de superficie interior, formando, en la intersección de dos de sus lados, un muro curvo. La técnica constructiva consiste en la instalación de zócalos de piedra rellenos en su interior de clastos de menores dimensiones, sobre los cuales se levantan paredes de tapial. Los espacios de la segunda fase constructiva (IA, IB, IIA, VIII), con plantas trapezoidales o rectangulares con sus esquinas redondeadas, se les adosan por la parte exterior. Los zócalos de esta fase han sido construidos con la técnica de espiga o "raspa de pescado". Además se han registrado dos zonas exteriores a estos espacios de habitación (V, X).

Con respecto a los restos muebles, destaca la densidad, considerablemente mayor, en los espacios exteriores. Mientras las cabañas aparecen relativamente limpias y exentas de ciertos restos como los faunísticos[10], los exteriores acogen una gran cantidad de desechos. Esto ha llevado a hablar de un abandono planificado y paulatino del poblado.

[10] El estudio de los restos de fauna procedentes de Murviedro están actualmente en estudio de mano de J. Oltra.

No obstante, encontramos indicios claros de actividades productivas asociadas al interior de las cabañas, apareciendo en ellos áreas de trabajo con materiales *in situ*. El inventario macrolítico procedente de este yacimiento consta de 234 ítems, entre los cuales destacan algunos artefactos de molienda aparecidos en contextos de actividad metalúrgica. En este caso cobra especial interés la cuestión funcional de los molinos, aspecto al que se le dedica un apartado específico en este trabajo.

Si bien las fechas de C14 confirman las observaciones realizadas en base a la relación estratigráfica entre las fases constructivas I y II de Murviedro, la proximidad cronológica, la homogeneidad de los elementos cerámicos así como la coetaneidad, al menos parcial, en el uso de los espacios, indican la pertenencia a una sola fase dentro del Bronce Tardío. En términos absolutos las fechas se situarían en torno al 1300-1400 cal ANE (Figura 1.2.14).

Código Lab.	Contexto	Tipo muestra	BP	± ane
KIA-29172	Espacio I (fase constructiva I, UE 3015)	Huesos de fauna	3090	30
KIA-29173	Espacio VIII (fase constructiva II, UE 7044-7037)	Huesos de fauna	3005	30

KIA-29172: Radiocarbon Age 3090±30
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[1413 BC:1370 BC] 0,613618
[1346 BC:1316 BC] 0,386382
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[1430 BC:1292 BC] 0,995075
[1277 BC:1273 BC] 0,004925

KIA-29173: Radiocarbon Age 3005±30
One Sigma Ranges: [start:end] relative area
[1367 BC:1362 BC] 0,021641
[1314 BC:1209 BC] 0,967626
[1138 BC:1135 BC] 0,010734
Two Sigma Ranges: [start:end] relative area
[1378 BC:1336 BC] 0,119379
[1322 BC:1187 BC] 0,770911
[1184 BC:1153 BC] 0,06479
[1146 BC:1129 BC] 0,04492

Figura 1.2.14: Fechas radiocarbónicas procedentes de Murviedro (Lorca; comunicación personal J. Oltra. Para la calibración de los datos convencionales se utilizó el programa Calib105 (intcal104.14c; Reimer *et alii* 2004).

5) Gatas (Turre)

Gatas es el único yacimiento que presentamos en este trabajo situado en la provincia de Almería, concretamente, en el término municipal de Turre. Se trata de un poblado en altura asentado sobre terreno alpujárride, en las estribaciones septentrionales de la Sierra Cabrera. Desde una cota máxima de 253 metros s.n.m. se divisa la depresión de Vera cuyos límites geográficos se establecen con la Sierra Cabrera al sur, Sierra de Bédar al oeste, Sierra de Almagro y Sierra Almagrera al norte y el mar Mediterráneo al este. En

ella se incluyen los ríos Aguas, Antas y Almanzora, en orden decreciente de proximidad con respecto al cerro de Gatas.

La larga historia de la investigación que caracteriza este yacimiento se emprende con las intervenciones de los hermanos H. y L. Siret, en 1886, quienes concentraron sus actividades en la parte superior del cerro donde recuperaron, entre otros, 18 tumbas argáricas. 100 años más tarde, se retomaron los trabajos de excavación de mano del equipo de investigadores de la Universitat Autònoma de Barcelona, bajo de dirección de V. Lull. Desde entonces y hasta el año 2001, las campañas de excavación y de estudio de materiales se han ido sucediendo, propiciando una vasto corpus de analíticas, informes y publicaciones cuyos resultados se resumen principalmente en dos trabajos monográficos (Castro *et alii* 1994; 1999) y tres tesis (González 1991; Castro 1992; Risch 1995)[11]. El interés que ha suscitado el estudio en torno a Gatas, ha favorecido la integración del mismo en proyectos de interés regional y nacional. La importancia que los procesos paleoclimáticos, paleoambientales y antrópicos tienen en la configuración actual del medioambiente ha sido claramente expuesta en el marco de los proyectos europeos Archaeomedes 1992-94 (Bailiff *et alii* 1998: 115-172) y Aguas 1994-96 (Castro *et alii* 1998), donde se estudian los procesos de desertificación de la región a lo largo de la historia así como las relaciones de causa-efecto derivadas de la degradación de los suelos, ya en época prehistórica. Actualmente el estudio sobre las comunidades que habitaron el cerro de Gatas sigue prolongándose en el marco de dos proyectos financiados por el Ministerio de Ciencia y Tecnología así como por la Junta de Andalucía[12].

Desde sus inicios en 1985, los trabajos arqueológicos sobre el yacimiento contemplaron una primera fase de prospección arqueológica seguida de una segunda dedicada a la excavación de cuatro sondeos estratigráficos, de 4x4 metros de extensión cada uno, localizados en diversos puntos de las laderas norte y este. Ello permitió una aproximación a la densidad artefactual y a la calidad de los depósitos arqueológicos, para fijar las bases de intervención de cara a la tercera fase en la que se plantearon excavaciones sistemáticas. A partir de los sondeos 2 y 3 se realizó una ampliación, formando dos zonas de excavación en extensión, denominadas A y B, de 160 y 126 m^2, respectivamente (Figura 1.2.15). Posteriormente, ya en los años 90, se abrió una tercera área de excavación o zona C, adyacente a la zona B y aproximadamente de la misma extensión superficial que ésta. Durante la última campaña de excavación, en el 2001, los trabajos de campo se concentraron en una superficie de ca. 1000 m^2 de la meseta superior del cerro, con el fin de recuperar zonas que quedaron intactas tras la intervención de los hermanos Siret en el siglo XIX.

[11] Actualmente existen dos tesis doctorales en curso que incluyen los restos faunísticos de época calcolítica y argárica (L. Andúgar) y postargárica (J. Oltra).

[12] "Arqueología de los conjuntos funerarios del Grupo Argárico. Economía, política y parentesco en las comunidades prehistóricas del sudeste de España (2250-1500 antes de nuestra era)", Ministerio de Ciencia y Tecnología (código BHA2003-04546); "Economía, sociedad y medio ambiente en la cuenca centro-occidental del Mediterráneo (c. 3000-200 antes de nuestra era)", Ministerio de Ciencia y Tecnología/Universitat Autònoma de Barcelona – Programa Ramón y Cajal.

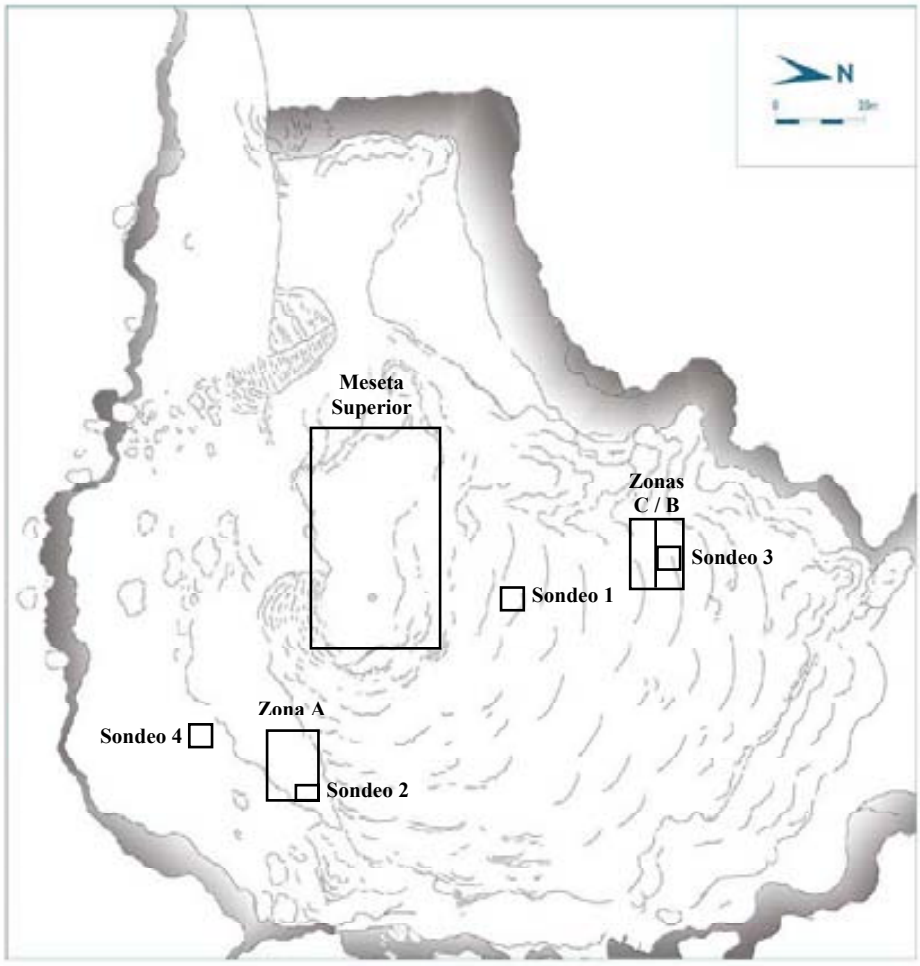


Figura 1.2.15: Plano del Cerro de Gatas en el que se indican los diversos sondeos y cortes excavados durante las diversas campañas que se han ido sucediendo desde los años 80 hasta la actualidad.

Gatas representa el único yacimiento de la depresión de Vera con una secuencia estratigráfica que recorre toda la prehistoria reciente, desde el Calcolítico hasta los momentos finales de la Edad del Bronce, pasando por una importante ocupación argárica que se prolonga durante varias fases. Además, contiene importantes restos arquitectónicos y muebles de época andalusí, correspondientes tipológicamente al siglo X-XI dne.

De la extensa serie radiocarbónica disponible para el yacimiento se desprende la existencia de seis fases de ocupación prehistórica (Figura 1.2.16). La ocupación más antigua pertenece al horizonte calcolítico (Gatas I – 2850-2650 cal ANE) está ampliamente representado en la meseta superior del yacimiento. Sin embargo, a excepción de los restos de una cabaña con zócalo de piedra y tapial perteneciente a un momento avanzado del Calcolítico, los restos materiales aparecen limitados a las grietas del propio sustrato del cerro, sin que haya evidencias claras de elementos estructurales. El registro cerámico está caracterizado por la presencia de formas abiertas, acabados toscos, pastas claras y engobes rojos. Las superficies de los recipientes son lisas y disponen a menudo de apliques (mamelones, asas tubulares, en lengüeta) destinados a facilitar su prensión. Además se documenta una industria lítica laminar sobre diversos tipos de sílex de grano fino y buena calidad.

La posterior ocupación argárica se asienta sobre este horizonte, siendo la que mayor cantidad de restos ha proporcionado, tanto en la Meseta Superior como en las laderas del cerro. En los primeros momentos argáricos son características cabañas circulares u ovales de postes (Gatas II – 2250-1950 cal ANE) y cabañas de plantas rectangulares con zócalos de piedra, posteriormente (Gatas III-IV – 1950-1700 cal ANE; 1700-1500 cal ANE), tal y como se ha podido documentar en la Ladera media (Zonas B y C). De las tres fases con contextos de hábitat argáricos (Gatas II-IV) se ha recuperado un total de 43 tumbas, si incluimos las que ha dejado el legado de los hermanos Siret. Contrastando con el emplazamiento del poblado en una zona alejada de los terrenos cultivables, sobre todo durante las fases III y IV se asiste a una intensificación del procesado de productos agrícolas, tal y como lo indican los datos cuantitativos relacionados con restos cerealísticos y los medios de trabajo correspondientes (Risch 1995; Castro *et alii* 1999: 846-856). En relación a la fase de ocupación anterior, se establecen diferencias, en la tradición morfométrica y tecnológica de la cerámica, manteniéndose hasta hoy la validez de la ordenación tipológica propuesta por los hermanos Siret para la cerámica argárica. Paralelamente a los cambios mencionados, se constata una intensificación de la metalurgia, en la que la gestión de materias primas incluye puntos geográficos distantes, en oposición al abastecimiento local que se practica paralelamente para adquirir material constructivo y otras rocas destinadas a la producción de instrumentos.

La ocupación postargárica está representada en las fases V y VI (1500-1300 cal ANE; 1300-1000 cal ANE), durante las cuales se registran nuevamente rupturas pero también continuidades en algunos aspectos de la producción. A raíz de los análisis cerámicos realizados sobre los conjuntos procedentes de los sondeos 1, 2 y 4, el material postargárico de Gatas se diferencia del argárico morfológicamente y en el acabado de las superficies, mientras que en otros aspectos tecnológicos de este registro se reconoce una continuidad entre ambos horizontes (Castro *et alii* 1991: 217).

Código Lab.	Contexto	Tipo muestra	BP	± ane
Beta-92590	Gatas I - relleno	Huesos fauna	4170	60
KIK-196/UtC-2292	Gatas II - poste, estructura doméstica	Carbón	3720	60
KIK-173/UtC-2284	Gatas II - doméstico, relleno	Carbón	3700	60
OxA-4961	Gatas II - T. 1, cista	Huesos humanos	3690	65
KIK-194/UtC-2290	Gatas II - doméstico, relleno	Carbón	3630	60
KIK-50/UtC-1432 =KIK-62/UtC-1422	Gatas II - relleno exterior	Carbón	3630	40
KIK-173/UtC-2284	Gatas II - Zona B. Conj. 20 A1.	Carbón	3700	60
OxA-10994	Gatas II? - T. 42, cista	Huesos humanos	3765	38
KIK-56/UtC-1438	Gatas II- doméstico, abandono	Carbón	3790	70
OxA-4473	Gatas III - T. 37, cista	Huesos humanos	3665	65
OxA-3970	Gatas III - T.33 (mujer), cista	Huesos humanos	3630	60
KIK-192/UtC-2288	Gatas III - relleno, doméstico	Carbón	3600	50
OxA-4475	Gatas III - T. 28, urna	Huesos humanos	3570	65
OxA-3965	Gatas III - T.26, cista	Huesos humanos	3560	60
OxA-4964	Gatas III - T. 18, fosa	Huesos humanos	3535	60
KIK-193/UtC-2289	Gatas III – relleno, doméstico	Carbón	3530	50
OxA-3969	Gatas III - T.33 (hombre), cista	Huesos humanos	3530	60
KIK-55/UtC-1437	Gatas III – abandono, doméstico	Carbón	3530	60
OxA-4476	Gatas III - T. 24, urna	Huesos humanos	3520	120
OxA-4472	Gatas III - T. 37, cista	Huesos humanos	3520	80

OxA-3968	Gatas III - T.32, urna	Huesos humanos	3490	60
KIK-51/UtC-1433	Gatas III - abandono, doméstico	Carbón	3480	60
OxA-4474	Gatas III - T. 36, urna	Huesos humanos	3460	110
OxA-7764	Gatas III? - T. 39, cista = OxA-11993 (redatación por problemas estratigráficos)	Huesos humanos	3520	35
OxA-10993	Gatas III? T. 39, cista = OxA-7764 (redatación por problemas estratigráficos)	Huesos humanos	3571	35
KIA-22257	Gatas III? - T. 44, cista/covacha	Huesos humanos	3470	35
KIK-57/UtC-1439	Gatas III/V - poste, estructura doméstica	Carbón	3580	50
KIK-225/UtC-2624	Gatas III/IV – relleno, doméstico	Semillas-Cereal	3450	120
KIK-63/UtC-1443	Gatas IVa – relleno, doméstico	Madera	3420	110
IRPA-1063	Gatas IVb – relleno, doméstico	Carbón	3390	60
OxA-3967	Gatas IVb - T.31, urna	Huesos humanos	3380	60
KIK-49/UtC-1354	Gatas IVb – relleno, doméstico	Carbón	3370	50
OxA-3961	Gatas IVb - T.19, urna	Huesos humanos	3355	60
IRPA-1062	Gatas IVb – poste, estructura doméstica	Carbón	3340	60
IRPA-1064	Gatas IVb – abandono, doméstico	Carbón	3330	70
OxA-3963	Gatas IVc - T.21, urna	Huesos humanos	3310	60
OxA-3966	Gatas IVc - T.29, urna	Huesos humanos	3300	60
OxA-3964	Gatas IVc - T.23b, urna	Huesos humanos	3285	60
KIK-54/UtC-1436	Gatas IVc – abandono, doméstico	Carbón	3280	60
OxA-3962	Gatas IVc - T.20, urna	Huesos humanos	3260	60
KIA-22255	Gatas IV? - T. 8, urna	Huesos humanos	3360	25
UtC-2628	Gatas IV/Va - Zona C. Conj. 208A1	Semillas de cereal	3190	60
OxA-2856	Gatas Va - Sondeo 2. Contexto 010	Semillas	3250	70
OxA-2855	Gatas Va - Sondeo 2. Contexto 009	Semillas	3230	70
OxA-2854	Gatas Va - Sondeo 2. Contexto 008	Semillas	3250	70
IRPA-1061	Gatas Vb - Zona B. Conj. 9A2	Carbón	3090	60
IRPA-1083	Gatas Vb - Zona C. Conj. 102A3	Carbón	3080	60
OxA-2857	Abandono	Huesos fauna	2850	100
OxA-2859	Abandono	Huesos fauna	2790	70
OxA-2858	Abandono	Huesos fauna	2690	70

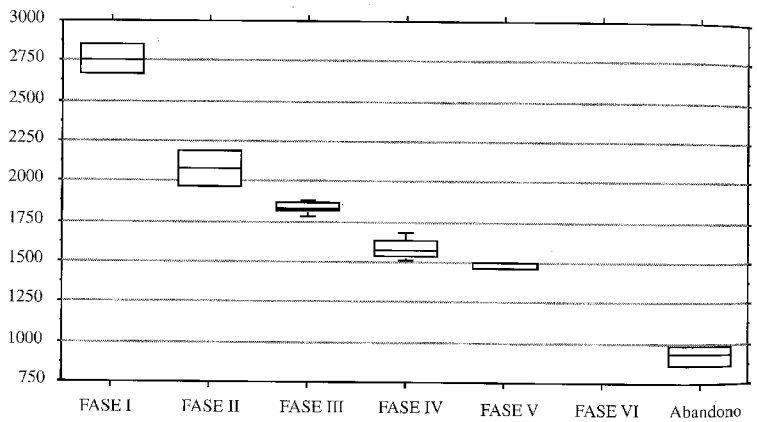


Figura 1.2.16: Fechas radiocarbónicas procedentes de Gatas (González 1991; 1993; Castro 1992; Hedges *et alii* 1992: 337-357; Hedges *et alii* 1993: 305-326; Castro *et alii* 1995: 27-37; Castro *et alii* 1996; Castro *et alii* 1999: figs. 46 y 44).

El grueso del inventario macrolítico de Gatas ya fue presentado en el marco de la tesis doctoral de R. Risch (1995), en la cual se incluyen 1135 ítems recuperados en los sondeos, en las zonas A, B y en parte de la zona C[13]. En el presente trabajo se estudian los materiales recuperados en las dos últimas campañas de excavación, 1995 (zona C-restante) y 2001 (meseta superior), en las que se recuperaron 417 ítems macrolíticos correspondientes a los horizontes Calcolítico, Argar y Postargar.

Si bien en el capítulo anterior explicitábamos las aportaciones metodológicas del presente trabajo, el interés y sentido históricos del mismo se encuentran en la región objeto de estudio. Con el análisis de ítems macrolíticos, además de completar y actualizar, con nuevos materiales, los estudios en torno al yacimiento de Gatas, para el cual ya existe un sólido trasfondo empírico, incluimos una región que hasta ahora se ha mantenido al margen de este tipo de investigación. Con los yacimientos lorquinos presentados arriba se consigue una secuencia cronológica comparable a la cuenca de Vera que permite estudiar la dinámica en la gestión de los recursos macrolíticos para la prehistoria Reciente del valle del Guadalentín (Figura 1.2.17). A través del análisis paleoeconómico de formaciones económico-sociales y la caracterización de las bases productivas y consuntivas de las mismas, pretendemos contribuir a la definición y a la explicación de la configuración de las dinámicas económicas específicas para esta región durante los milenios III-II ane.

Yacimiento	NF	Gatas I	Gatas II	Gatas III	Gatas IV	Gatas V	Gatas VI
Carril de Caldereros	x						
Floridablanca	x				x		
Glorieta S. Vicente	x						
C/Zapatería			(x)				
C/Los Tintes		x	x				
Madres Mercedarias		x		x		(x)	
Barranco de la Viuda			(x)				
Los Cipreses				x			
Murviedro						x	
Gatas		x	x	x	x	x	(x)

Figura 1.2.17: Fases prehistóricas de los yacimientos estudiados. Entre paréntesis aquellos horizontes para los cuales no se dispone de fechas radiocarbónicas.

[13] Los materiales de la zona C presentados en dicha tesis corresponden a la campaña de excavación de 1991, durante la cual no llegó a excavarse la totalidad del depósito.

6) Son Fornés (Mallorca)

El yacimiento de Son Fornés se sitúa a unos 130 metros snm, al nordeste del municipio de Montuïri, en la comarca del Pla de Mallorca. En 1966 fue declarado Monumento Histórico Artístico y, hoy día, puede considerarse uno de los yacimientos mallorquines que más información ha proporcionado sobre la prehistoria de la isla. Desde el punto de vista (pre)histórico, su ubicación en un ámbito insular, como lugar de paso y arribada de múltiples grupos humanos, sobre todo durante el primer milenio ane, lo convierte en un contexto arqueológico interesante de cara al estudio de los cambios sociales acontecidos durante la prehistoria reciente en el Mediterráneo Occidental. Su condición de isla ha determinado de manera importante la configuración de las primeras sociedades que la habitaron, al menos, hasta el momento en el que se abre a las influencias exteriores, durante los últimos siglos antes de nuestra era.

El trabajo arqueológico en torno a Son Fornés se enmarca en varios proyectos de investigación financiados, hasta la actualidad, por la Universidad Autónoma de Barcelona y el Consell Insular de Mallorca. Las excavaciones sistemáticas se concentran en una primera etapa comprendida entre 1975 y 1988 (Lull y Sanahuja 1992) y una segunda entre 2002 y 2006 (Figura 1.2.18). Durante el hiato de excavaciones de los años 90 los esfuerzos se destinaron, entre otros, a realizar una campaña de restauración y varias prospecciones en inmediaciones del yacimiento. Gracias a estas últimas actividades fue posible estimar la extensión total del asentamiento en 3 hectáreas y se avanzó en la definición de los recursos naturales (sobre todo minerales) disponibles en su entorno más inmediato. En esta década también se obtuvieron los espacios necesarios que pudieran acoger en condiciones los hallazgos de campañas anteriores y se constituyó la *Fundació Son Fornés*, como entidad colaboradora en los proyectos. Esta labor ha culminado en la creación, ya en el 2001, del *Museu Arqueològic de Son Fornés* que hoy día posibilita la realización de tareas didácticas, como talleres y visitas al yacimiento, con el fin de dar a conocer los resultados del proyecto a un vasto público escolar y turístico.

Actividad	Corte / Zona	Estructuras arquitectónicas		
		Talayótico	Posttalayót.	Clásico
1ª (1975)	Cortes 1	HT1		HR1
2ª (1976)	Cortes 9, 10, 11, 12	T1		
3ª (1977)	Cortes 8, 14		HPT3, HPT4	HR2, HR3
4ª (1978)	Cortes 2, 6, 7, 13, 15, 16	HT2, HT3, HT4		HR3, HR4, HR5, HR6, HR7, HR8
5ª (1979)	Zona A (incl. cortes 15, 16, 17, 18)	HT3, HT5		HR4, HR5, HR8
6ª (1981)	Zona B + T2	HT5, T2		
7ª (1982 y 1985)	Zona C		HPT1, HPT2	
8ª (1988)	Cortes 14, 14bis Zona D		HPT3	D1, D2
1990 - 1991	Limpieza, conservación y restauración integral			
1997/2000	Prospecciones			
1999	Constitución de la Fundación de Son Fornés			
2001	Creación del Museo Arqueològic de Son Fornés			
9ª (2002)	Zona D, E, F, G	T3	Muralla, G4 y HPT5 (=G1)	D3, D4, E1
10ª (2003)	Zona E, F, G		Muralla y edificio exento (G4)	E1, E2, E3
2005	Zona F	T3-exterior		
2006	Zona E	HT6	T2-exterior	

Figura. 1.2.18: Cronograma de las intervenciones de campo y otras actividades llevadas a cabo durante los años de investigación en torno al yacimiento de Son Fornés.

El asentamiento fue ocupado casi de forma ininterrumpida desde aproximadamente 850 ane hasta el siglo VII dne, quedando conservados materiales pertenecientes a los periodos Talayótico, Posttalayótico, Clásico y Tardorromano además de las intrusiones de época altomedieval y moderna que han afectado al yacimiento. Para los cuatro horizontes cronológicos más antiguos existen 30 fechas radiocarbónicas válidas procedentes de contextos de construcción, uso y abandono/amortización (Figura. 1.2.19). La intensa actividad arqueológica llevada a cabo durante la historia de la investigación de Son Fornés, ha favorecido la publicación de varios estudios sobre restos materiales de diversa naturaleza, entre los cuales los talayóticos, son, hasta la fecha, los más tratados. Además de un trabajo monográfico (Gasull *et alii* 1984a), destacan otras contribuciones sobre la arquitectura monumental del poblado, los talayots (Gasull *et alii* 1981: 211-230; Gasull *et alii* 1984b: 1239-1257), así como estudios espaciales realizados sobre material procedente del interior de algunas viviendas (Dueñas *et alii* 1986: 59-77; Gasull *et alii* 1984c: 1259-1298). Coincidiendo con la abertura del museo arqueológico de Montuïri en 2001, se publica el único trabajo sintético y de carácter divulgativo existente hasta la fecha que realiza un recorrido a través de todos los horizontes de ocupación de asentamiento. A partir de aquí y en el marco de diversos informes y trabajos de investigación, se retoma el estudio de los registros documentados en las campañas de excavación recientes, entre ellos, la cerámica procedente de las unidades habitacionales posttalayóyicas y de la zona G (Palomar 2005; Amengual 2006) así como el instrumental lítico (Micó *et alii* 2001).

Al igual que en el caso del yacimiento de Gatas, el presente trabajo supone una prolongación y profundización de los estudios emprendidos ya sobre el registro macrolítico. En este sentido, añadimos a los materiales pertenecientes a las campañas de los 70-80, los nuevos hallazgos de los años 2002 y 2003. Si bien incluimos 709 [14] ítems líticos procedentes de los cuatro horizontes cronológicos documentados en Son Fornés, nos detendremos a analizar los restos anteriores a la ocupación romana, es decir, los correspondientes a los periodos Talayótico y Posttalayótico[15] así como a una breve fase transitoria correspondiente al abandono del poblado talayótico. Con ello se busca contribuir a la definición y explicación de los cambios de orden socio-económico que ya han sido reconocidos en relación a otros registros materiales de dichos periodos, bajo la ventaja que ofrece Son Fornés al contar con varias unidades domésticas y algunas monumentales. A modo de introducción, describiremos brevemente los restos arqueológicos hallados en cada uno de los periodos que aquí interesan.

[14] De los 709 ítems 515 se consideran macrolíticos, correspondiendo el resto a desechos de talla.

[15] El carácter de periodo que se le asigna al Posttalayótico mallorquín en oposición a otras propuestas periodizadoras que lo definen como fase final del periodo Talayótico, ya ha sido discutido en otros trabajos (Lull *et alii* 2001; Palomar 2005). Haciendo prevalecer el argumento de los cambios, documentados arqueológicamente, en el modo de producción entre el Talayótico y el Posttalayótico, nos apoyamos en los citados trabajos.

Código laboratorio	Contexto arqueológico	Tipo de muestra	BP	±ane
UtC-9327	T1-II (uso cercano al final)	Fauna	2490	50
I-12124	T2-II2 (uso)	Carbón	2540	80
KIA-22259	T3-IV (uso inicial)	Fauna	2695	25
I-12123	HT1-II (hogar, momento cercano al final del uso)	Carbón	2470	80
I-11381	HT3-III (construcción o uso)	Carbón	2560	85
I-11382	HT5-V (construcción o uso)	Carbón	2540	85
I-12125	HT5-V (uso final)	Carbón	2410	80
I-12126	Zona B-I (uso de entrada a poblado)	Carbón	2490	80
KIA-23147	Zona E1-cubeta, Conj. VIB2/a, TRIA 16	Hueso humano	2645	35
KIA-20461	G4-II (momento final de uso)	Fauna	2450	25
KIA-23128	ZG-I (inhumación 3, momento de deposición)	Hueso humano	2095	30
KIA-20473	G1-V (uso final)	Fauna	2425	25
KIA-11887	HPT1-II (piso)	Fauna	2460	25
KIA-12698	HPT1-II (uso final 1ª ocupación)	Semillas	2295	25
UAB-6	HPT1-II (hiato entre 1ª y 2ª ocupación de la casa)	Carbón	2280	75
UAB-3	HPT1-I2 (uso de 2ª ocupación)	Carbón	2245	70
KIA-11888	HPT1-I (uso de 2ª ocupación)	Fauna	2270	25
UAB-13	HPT1-I (relleno de cisterna, abandono)	Carbón	2140	90
UAB-8	HPT2-II	Carbón	1970	80
KIA-11889	HPT2-II (uso)	Fauna	2405	25
UAB-7	HPT2-II2 (uso)	Carbón	2230	75
KIA-11886	HPT3-III (uso)	Fauna	2210	25
UAB-12	HPT3-III (construcción o primer uso)	Carbón	2355	70
UAB-9	HPT3-III (relleno de cisterna, abandono)	Carbón	2030	70
KIA-23120	ZE3-II (enterramiento arrasado, momento de deposición funeraria)	Hueso humano	2265	30
KIK-191/UtC-2287	ZC-II, (inhumación 2, momento de deposición)	Hueso humano	2150	40
KIK-190/UtC-2286	ZB-superficial (inhumación 1, momento de deposición	Hueso humano	2100	40
UAB-4	ZZ/N (zona cisterna, altomedieval pero sin estructura asociada)	Carbón	1350	70

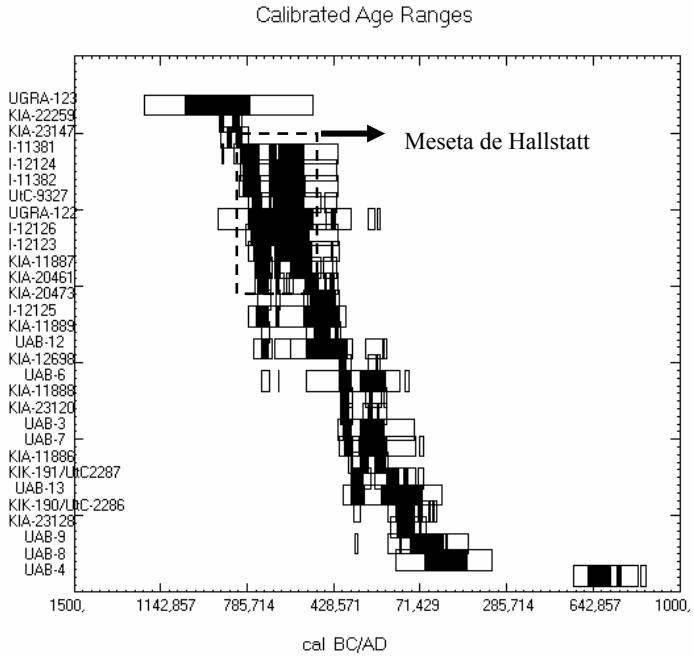


Figura. 1.2.19: Fechas radiocarbónicas válidas para la secuencia ocupacional del yacimiento de Son Fornés, correspondiente a los periodos Talayótico, Postalayótico y Clásico (arriba; Gasull *et alii* 1984a; Strydonck *et alii* 1995; Micó 2005); calibración de las mismas con el programa Calib501 (abajo).

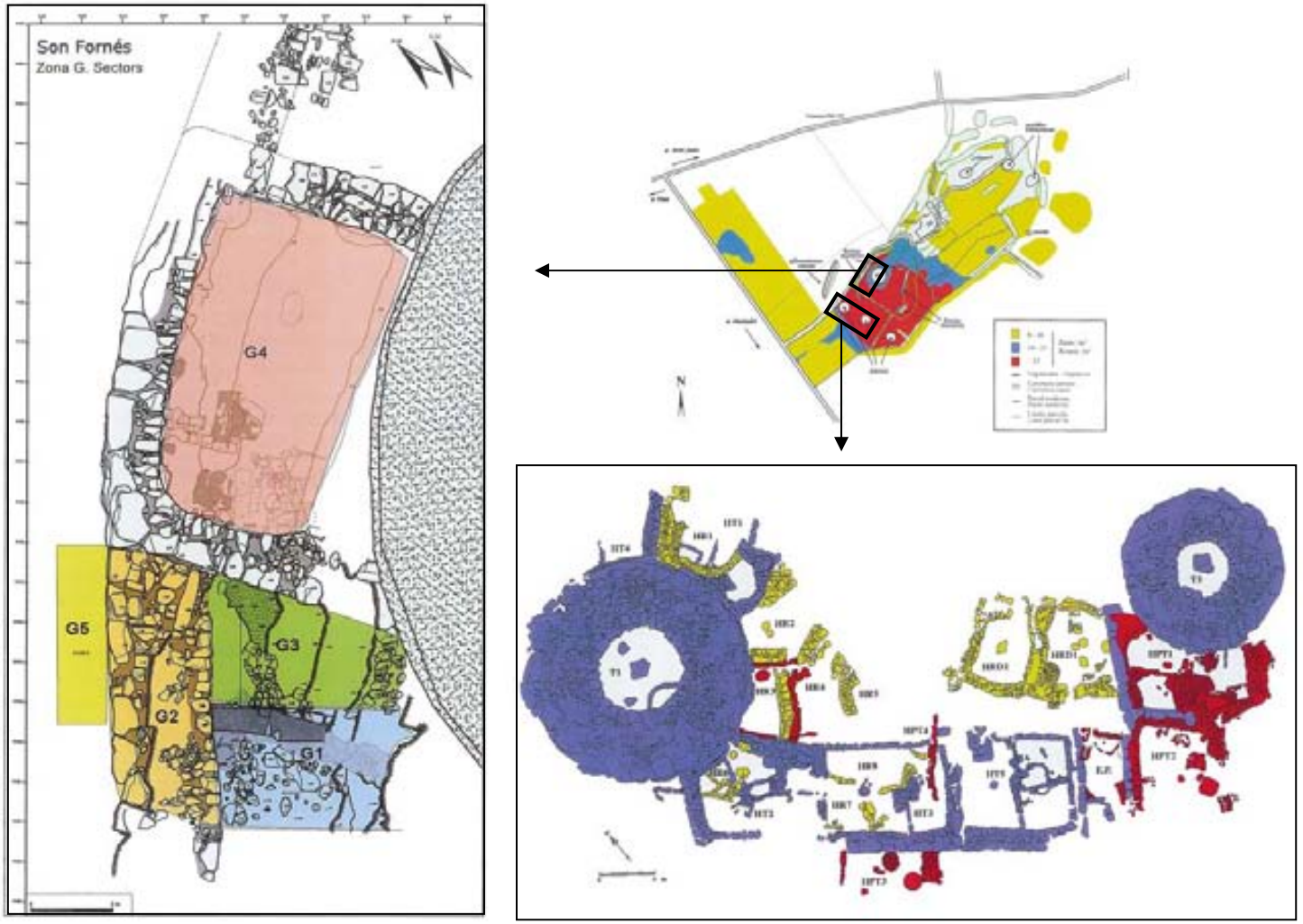


Figura. 1.2.20: Estructuras arquitectónicas de época talayótica, posttalayótica y clásica ubicadas dentro y fuera del área circunscrita por la muralla posttalayótica de Son Fornés (Lull *et alii* 2001: 6; Amengual 2006: figs. 10; 13).

Periodo Talayótico (ca. 850-550 cal ANE)

La primera ocupación de Son Fornés coincide con el uso de los talayots en la isla de Mallorca (Figura 1.2.21). Entre los restos arquitectónicos excavados figuran tres talayots de planta circular y paramento exterior ciclópeo (T1-T3), el último de los cuales fue reutilizado en épocas posteriores. A partir de dichas construcciones se despliega el espacio habitacional del poblado con seis viviendas (HT1-HT6), algunas de ellas dispuestas radialmente alrededor de los talayots y otras de forma lineal, formando por yuxtaposición un muro que transcurre entre el T1 y el T2 (Figura. 1.2.20). Las habitaciones están construidas con muros de zócalo de piedra calcárea en seco y alzado de tapial y presentan una planta rectangular o trapezoidal. El espacio interior constituye un área de 30-40 $m^{2,}$ en la que el propio substrato forma el piso de ocupación apareciendo éste equipado con banquetas de piedra, hogares, cisternas, receptáculos y compartimentado en diversas estancias mediante muros interiores. Los indicios de actividades productivas en el interior de las habitaciones apuntan a una multifuncionalidad de las mismas, quedando en ellas representada la alfarería, el almacenamiento de agua, la preparación de alimentos y su consumo. Frente a ellas los talayots parecen haber servido para funciones diferentes, en el caso del T1, como centro de procesado y distribución de recursos animales y, en el del T2, como lugar de reunión y consumo. La homogeneidad en los ajuares domésticos parece estar relacionada con el carácter autosuficiente de las unidades habitacionales, basada en la ganadería y la agricultura, así como en una producción local de medios de trabajo (Gasull *et alii* 1984a: 138-178; Amengual 2006: fig. 11).

En cuanto a los datos radiocarbónicos, disponemos de fechas absolutas para los tres talayots, para tres de las cinco habitaciones (HT1, HT3 y HT5), para el espacio exterior de entrada al poblado y para una cubeta situada de forma aislada, al pie del T2, en la que se depositaron varios huesos humanos mezclados con restos faunísticos.

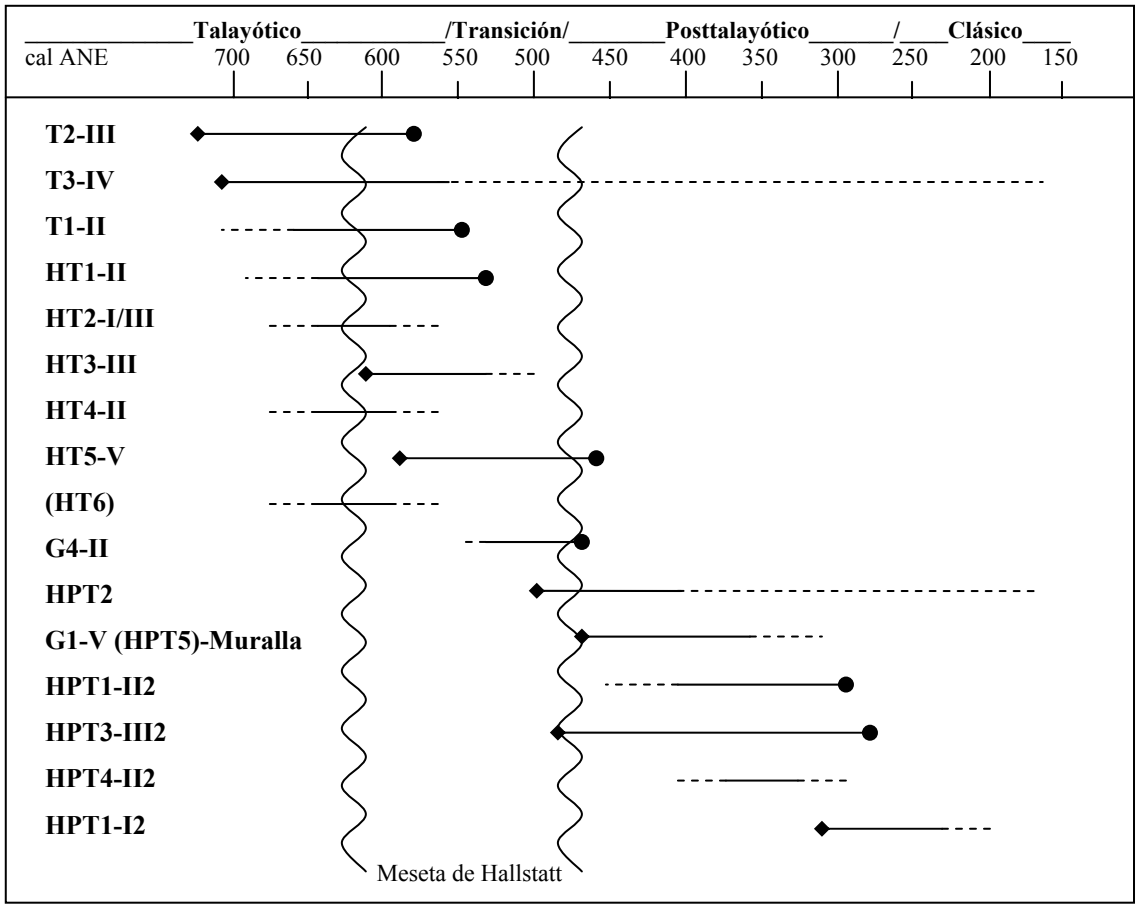


Figura 1.2.21: Dinámica temporal de uso de las diversas unidades arquitectónicas de Son Fornés entre la ocupación talayótica y la posttalayótica. Se han indicado los casos en los que se dispone de fechas radiocarbónicas de inicio (rombo) y final (círculo) de uso. (Completado a partir de Palomar 2005).

Etapa de transición (ca. 550-450 cal ANE)

En los momentos finales del poblado talayótico de Son Fornés, hacia el 550 ane, se registra un importante incendio a partir del cual comienza una etapa de carácter transicional que culminará con el desencadenamiento de importantes cambios de orden socio-económico que se asocian, sobre todo, a la integración de las comunidades insulares en las redes de comercio del Mediterráneo. A la etapa de transición en la que en Son Fornés se emprenden estos cambios de forma paulatina, pertenece un edificio exento o torreón excavado en la zona G4. Presenta planta cuadrangular con espacio interior compartimentado, un hogar y una hornacina o receptáculo. Su ocupación fue breve y acabó con un incendio, en algún momento anterior al 450 ane. La acotación cronológica aproximada de esta fase transitoria se define, por un lado, a partir de las similitudes que los materiales arqueológicos mantienen con los encontrados en el Edificio Alfa de Son Ferragut, el cual ha sido fechado en torno a 700-525/475 cal ANE (Castro *et alii* 2003; Micó 2005). Por el otro, la fecha arrojada por el contexto de uso final del edificio exento de Son Fornés, permite situar los últimos momentos de esta fase en torno a 500/450 cal ANE, momento que coincide con el desuso generalizado, también a nivel insular, de los talayots.

Periodo Posttalayótico (ca. 450 cal ANE -250 ane)

Tras el abandono del edificio exento de Son Fornés, se inicia la época posttalayótica, la cual coincide con el desuso generalizado, también a nivel insular, de los talayots. Con ello, el edificio G4 queda integrado en una nueva etapa constructiva, en la que se instala una gran muralla de bloques ciclópeos, situada en el punto más elevado del promontorio [16]. Durante la campaña del 2002 pudo limpiarse un tramo de ca. 350 m de longitud, si bien la prospección de la zona ha permitido averiguar que ésta circunscribe un área de unos 6000 m^2. En el espacio asociado al paramento interior de la muralla, se encontró una estancia (HPT5-G1) adosada a ella, con indicios de producción alfarera así como producción y consumo de alimentos. Del contexto de construcción de uno de sus muros se ha obtenido una fecha *ante quem* para la construcción de la muralla que debió acontecer en algún momento anterior al 475 cal ANE.

En este mismo contexto cronológico, cabe mencionar el reaprovechamiento del T3, del cual se han excavado varias estructuras auxiliares como un enlosado circular, un ara y dos bases de columna sin que, a falta de evidencias de actividades productivas, podamos atribuirle una función específica. Aunque no disponemos de fechas absolutas para este momento de uso, los materiales arqueológicos contenidos en el depósito arqueológico sugieren contemporaneidad con la habitación HPT3 (ver abajo).

Además de las unidades arquitectónicas mencionadas, se han documentado cuatro habitaciones posttalayóticas (HPT1-HPT4) que fueron construidas a partir de las ruinas del antiguo poblado talayótico. El uso de estas habitaciones ha sido datado radiométricamente, pudiendo establecer la existencia de varios horizontes de ocupación en algunas de ellas. Bajo un mismo sistema constructivo, las habitaciones se ordenan aleatoriamente y sus interiores presentan una mayor segregación del espacio, lo cual rompe con algunas de las pautas conocidas para la época precedente. Paralelamente se registra un aumento considerable de instrumentos de trabajo en los espacios interiores. Entre las actividades realizadas en ellos destacan aquéllas relacionadas con el almacanaje y el procesado de productos agrícolas así como la producción de artefactos y la alfarería (Lull *et alii* 2001). En este último tipo de producción se constata una pronunciada variabilidad tecnológica y morfométrica (Palomar 2005). Económicamente las sociedades posttalayóticas se caracterizan por una ganadería diversificada y el desarrollo de la agricultura cerealista. Ello va acompañado de las primeras manifestaciones claras del uso de instrumentos metálicos, y de la presencia, de importaciones púnico-ebusitanas en contextos de almacenaje de productos vinícolas. Dichas evidencias, junto con otros eventos históricos narrados por fuentes escritas, como la participación de honderos insulares en las tropas cartaginesas durante las guerras púnicas, definen un nuevo contexto histórico, caracterizado por desigualdades sociales incipientes, respecto a la participación de la población en la producción y el consumo de ciertos productos, proceso que culminará en el periodo clásico. Con él se asiste en Son Fornés a una continuación en la ocupación del poblado que, no obstante, conllevará una reestructuración del espacio. Se construyen 10 nuevas estructuras arquitectónicas, las cuales funcionaron muy probablemente como talleres, constituyendo un barrio artesanal que funcionó hasta finales del s. I o inicios del II dne, época en la que Son Fornés se abandona para caer en un hiato que se prolongará hasta el s. IV.

[16] Esta estructura ya fue destacada en las primeras publicaciones sobre el yacimiento (Gasull *et alii* 1984).

2 Aspectos metodológicos y técnicas de análisis funcional

2.1 Comportamiento de los materiales. Cuantificación de las propiedades mecánicas

2.1.1 Introducción

Al margen del amplio espectro de disciplinas geológicas que han ido asimilándose en el campo de la investigación prehistórica desde el siglo XIX (estratigrafía, geomorfología etc.), la petroarqueología se ha consolidado como un ámbito dedicado a la resolución de cuestiones relativas al abastecimiento de la materia prima utilizada en la producción del registro artefactual, como son los elementos macrolíticos, los tallados o los cerámicos. El conocimiento sobre la mineralogía, la textura y otros aspectos petrográficos de los instrumentos prehistóricos y de las potenciales fuentes de materia prima explotadas durante la prehistoria, es habitualmente empleado para proponer los lugares de procedencia de los recursos así como para especificar la gestión y las relaciones de intercambio que las comunidades prehistóricas mantuvieron. Este insistente enfoque en el origen geográfico de las materias primas, ha reducido el objeto de estudio de la petroarqueología a la definición de las relaciones de intercambio características de una época prehistórica, propiciando una lectura parcial de un potencial informativo mucho más rico y complejo.

En el ámbito de la traceología, y más concretamente, desde el análisis de la industria lítica tallada, se ha reconocido en numerosas ocasiones la existencia de una estrecha relación entre el tipo de materia prima y el tipo de instrumento. Por ello, se ha reivindicado la necesidad de abordar un estudio de las huellas de desgaste desde un profundo conocimiento de las propiedades minerales de las materias primas. Las alusiones a la tribología[17], la reología[18] y otras ciencias originadas en el mundo de la ingeniería, y el destacamiento de su condición auxiliar en la traceología prehistórica han caracterizado las publicaciones más actuales sobre el tema (Astruc y Anderson 2004: 24-25; Anderson y Chabot 2004: 44-51: Procopiou *et al.* 1996: 1183-1192; Georges *et alii* 2004: 4-7; Kapsa 2004: 8-9; Zahouani *et alii* 2004: 10-11; Procopiou 2004: 58-61; Lerner *et alii* 2006: 1-12). El mayor avance que se ha dado, a nuestro modo de ver, en esta materia atañe a la aplicación de técnicas novedosas para la cuantificación del desgaste (Procopiou *et alii* 1996; Stemps y Stemp 2001; 2003; Georges *et alii* 2004; Procopiou 2004; Zahouani *et alii* 2004; Lerner *et alii* 2006). Sin embargo, pocos estudios conducen su análisis ha una explicación real de las implicaciones que tiene, bajo condiciones mecánicas específicas, una naturaleza petrológica determinada en el comportamiento físico. En este sentido, el análisis del comportamiento mecánico de las materias destaca como una "asignatura pendiente" de los análisis funcionales, apareciendo en la mayor parte de los casos en apartados finales y conclusivos de los trabajos publicados, a modo de propuestas metodológicas.

No es de extrañar que la industria lítica tallada haya gozado hasta la fecha de una mayor dedicación por parte de las traceólogas y los traceólogos, dada su condición estructural,

[17] La tribología es la ciencia del rozamiento o frotamiento.
[18] La reología es el estudio de las leyes que rigen el comportamiento de los cuerpos deformables, su viscosidad, plasticidad, elasticidad y el flujo o movimiento de la materia.

aparentemente más homogénea, y su granulometría, las cuales facilitan el análisis de las superficies de desgaste.[19]

Precisamente esta heterogeneidad textural en el caso de las rocas granudas, compuestas por minerales de muy diverso tamaño y naturaleza, acentúa a nuestro modo de ver, aún más, la necesidad de otorgarles la debida importancia en el análisis funcional de elementos macrolíticos. Además, otros avances realizados en el estudio de inventarios macrolíticos y las conclusiones derivadas de ellos son prueba suficiente para reconocer que las cualidades mecánicas dependen también de otras propiedades petrográficas, además del tamaño de su grano. En este sentido, existen contribuciones interesantes en las que se enumeran otras características petrográficas de las que puede depender el desgaste de los instrumentos (Schoumacker 1993; Doherty y Evely 2002: 81-92). Entre ellas se mencionan la dureza de la roca, su tenacidad, la cohesión existente entre sus componentes minerales y la rugosidad de su superficie, como propiedades relevantes en la resistencia al desgaste.

De esta manera abogamos por un primer apartado analítico en el que converjan conocimientos específicos sobre la naturaleza de cada litotipo explotado en la prehistoria y métodos de análisis tribológicos que ayuden a dar cuenta de su comportamiento mecánico. En este capítulo realizamos una propuesta de aplicación de estudios tribológicos a la interpretación del desgaste en rocas utilizadas para la producción y el uso de instrumentos macrolíticos. Si bien hasta la fecha dicha aplicación no goza más que de una utilidad limitada en arqueología, encontrándose en estado embrionario, afirmamos con rotundidad que la comprensión de procesos de desgaste y su relación con materias primas trabajadas y no conservadas en el depósito arqueológico, pasa inevitablemente por un estudio de los mecanismos de desgaste material.

En este sentido, defendemos la aplicación de métodos de análisis de resistencia material, basados en ensayos mecánicos que permitan caracterizar los materiales objeto de estudio bajo variables cuantitativas (volumen o peso perdido, índices de rugosidad, resistencia a la fractura), teniendo siempre en cuenta sus cualidades físicas. Creemos en el carácter positivo de este punto de partida para posibilitar posteriormente un análisis cualitativo más sólido (descripción de huellas de desgaste en artefactos experimentales y arqueológicos), desde un conocimiento profundo de las capacidades mecánicas de los litotipos empleados durante la prehistoria (Figura 2.1.1). En definitiva, petrografía, ensayos mecánicos, experimentación y traceología constituyen ámbitos resolutivos en todo análisis funcional en arqueología.

[19] Son significativas de esta posición hacia el estudio traceológico de las rocas no-talladas, comentarios como los que hace Gutiérrez (1996: 28) sobre "los inconvenientes del estudio de materiales con alto contenido de gruesos cristales de cuarzo".

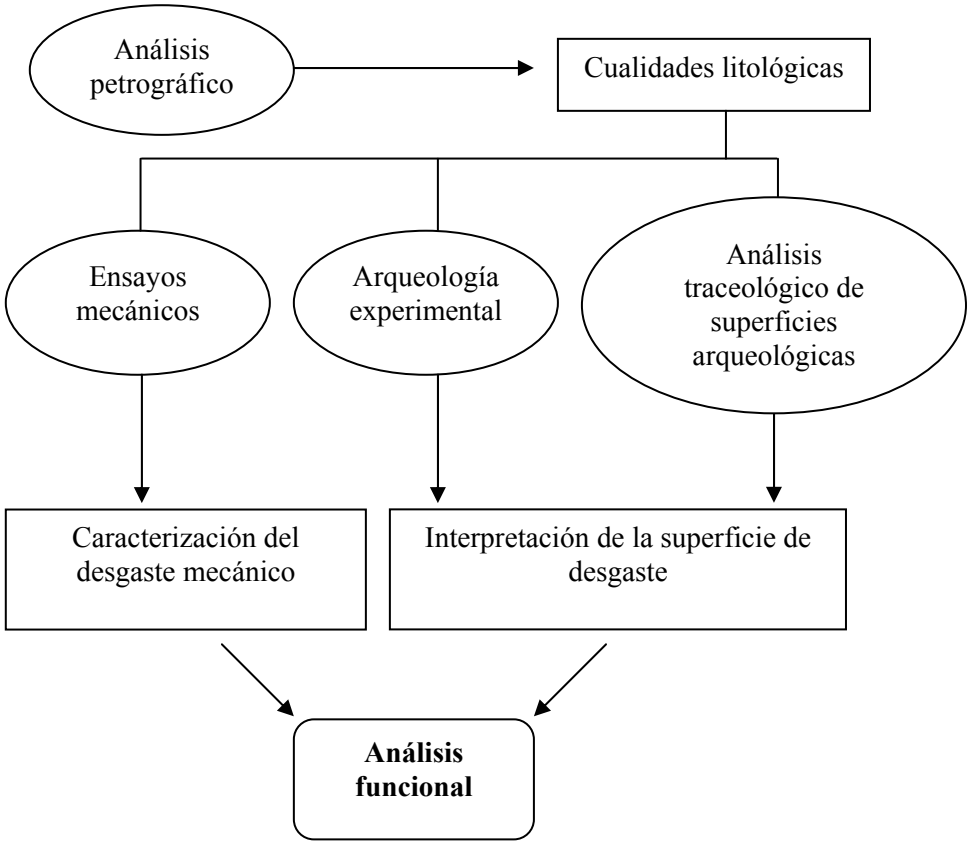


Figura 2.1.1: Relación e implicaciones de las diferentes metodologías empleadas en el análisis funcional de instrumentos macrolíticos.

Por las razones expuestas arriba, en el presente trabajo hacemos uso de dos tipos de estudio petrográfico basados en la observación por lámina delgada. Ambos tienen en común el carácter definitorio de la roca, sin embargo, cada uno de ellos va encaminado a resolver cuestiones de diversa índole. El primero representa el clásico método empleado para reconocer la naturaleza de las rocas con el objetivo de asociarlas a las potenciales fuentes de materia prima explotadas por las comunidades prehistóricas e incidir, en definitiva, en la cuestión de la asequibilidad en el suministro de materias primas, entendida como relación entre disponibilidad de recursos y selección humana (Risch 1995: 74). El segundo análisis no se realiza de forma habitual en el estudio de inventarios macrolíticos pero es interesante desde el punto de vista del comportamiento material de cada uno de los litotipos, una vez empiezan a ser utilizados como medios de trabajo. Con él se asientan las bases para definir grupos específicos de materiales en función de sus propiedades mecánicas, lo cual está directamente relacionado con el análisis funcional de los instrumentos. Esta analítica, tal y como la exponemos en el presente trabajo, difiere ligeramente en algunas variables con respecto a las que habitualmente se tienen en cuenta en los análisis de procedencia de las rocas y coincide en otras. Mientras que en la primera se fija el punto de partida para la interpretación del desgaste observado sobre los objetos arqueológicos, tiene por tanto un interés metodológico, la segunda resulta interesante desde el punto de vista de la gestión de los recursos (ver capítulo 3). Sin embargo, sugerimos, de cara a futuros trabajos, dirigir el análisis por lámina delgada a posibilitar ambos tipos de estudio, en términos de

optimización de esfuerzo y trabajo y a efectos de avanzar en esta vertiente del análisis funcional aún sin explotar.

2.1.2 La tribología

Los resultados más relevantes en la valoración de las cualidades mecánicas de las rocas explotadas durante la prehistoria se desprenden de los ensayos tribológicos, teniendo en cuenta que los ambientes de desgaste en los que interviene gran parte del instrumental macrolítico son ambientes de fricción. Es por ello y por el grado de complejidad que los caracteriza que dedicamos en este trabajo un extenso apartado a definir los aspectos de interés que caracterizan esta rama de la ciencia de los materiales. Paralelamente, en el presente capítulo se harán alusiones a otros sistemas mecánicos de los que consideramos, también pueden aportar informaciones interesantes al estudio del comportamiento material de los artefactos prehistóricos (ver apartado 2.2.5).

El origen etimológico de la palabra "tribología" se encuentra en el griego, donde "tribos" quiere decir rozamiento o frotamiento y "logos" ciencia. Por lo tanto, la traducción literal de "tribología" es "ciencia del rozamiento o frotamiento". La acepción que se le otorga hoy en día es "ciencia del desgaste", y en un sentido más amplio se conoce como ciencia y tecnología que estudian la interacción de las superficies en movimiento relativo, así como los temas y prácticas relacionadas.

La tribología como ciencia nace en un contexto económico de industrialización, desde la necesidad de optimizar el funcionamiento de la maquinaria, su eficiencia y su vida de uso. Sus objetos de estudio primordiales son la fricción, en calidad de proceso, el desgaste, en calidad de efecto y la lubricación como finalidad, mejora o superación.

En el propio funcionamiento de la naturaleza participan mecanismos de fricción, carga, compresión y desgaste que afectan a elementos físicos como el relieve, la vegetación el margen de vida de los animales etc. (Georges *et alii* 2004: 4). Por nuestra parte, prácticamente en todas las tareas cotidianas que realizamos y hemos realizado durante la historia de la humanidad, tienen lugar procesos tribológicos, p.ej., cuando se muele grano o cuando masticamos. Algunos de estos procesos tienen también consecuencias que pueden implicar el agotamiento de los instrumentos que mediatizan dichos mecanismos, como el molino, o pueden llegar a afectar gravemente el cuerpo humano, como es el caso de la artritis o el desgaste dentario agudo.

Desde el punto de vista de la ingeniería, se concibe el conocimiento sobre la tribología como herramienta empleada por el ser humano en su "lucha", desde antaño, por mejorar las condiciones de locomoción en los medios de transporte y en su propia especie (Halling 1975: fig. 1.1 y 1.2). El interés por reducir el esfuerzo requerido para vencer la fuerza de fricción en movimientos de traslación se hace patente con la introducción de la rueda hacia 3800-3500 a. C (Vosteen 2002). Otra aplicación similar que denota un conocimiento más complejo de los mecanismos tribológicos es el empleo de sustancias lubricantes (agua y grasa animal) en la construcción de pirámides y en el desplazamiento de grandes colosos en Egipto, tal y como lo ilustra un bajorrelieve en torno al 1900 a. C. (Davidson 1957; 1961, citado en Halling 1975: fig. 1.3). A partir de aquí y ya en época histórica, se han realizado estudios intencionados para comprender

los procesos de fricción en diferentes materiales[20], formular ecuaciones explicativas y enunciar teorías que den cuenta de los mismos, todo ello encaminado a diseñar y proponer soluciones para mejorar el rendimiento de los materiales en contacto (p.ej., lubricantes específicos).

Hoy en día, tras el desarrollo histórico de la propia ciencia de la tribología, los planteamientos se basan más que nunca en intereses económicos y en el aumento de la productividad. Todos los esfuerzos de los manuales de tribología van indudablemente encaminados a proponer soluciones para disminuir la fricción y el desgaste en los sistemas mecánicos. Así lo refleja una lista de las principales implicaciones relacionadas con un "mal conocimiento" de los procesos tribológicos confeccionada por Ludema (1996) en la parte introductoria a su trabajo: "Friction and wear usually cost money; friction and wear can decrease nacional productivity; friction and wear can affect national security; friction and wear can affect quality of life; wear causes accidents". La aplicación de la tribología se realiza pues principalmente en ámbitos de ingeniería y arquitectura y se preocupa del ahorro de las materias primas, el aumento de vida útil de la maquinaria y el ahorro de energía, en definitiva, el ahorro económico.

Sin embargo, y como veremos a lo largo de este trabajo, dependiendo de la finalidad a la que está destinado un medio de trabajo, puede resultar ventajoso aumentar la fricción entre dos cuerpos sólidos a efectos de eficacia del sistema operativo (p.ej., molienda de cereal). En efecto, en numerosos ejemplos tomados tanto del pasado como de la actualidad, han sido precisamente estos mecanismos los que han permitido llevar a cabo con éxito actividades específicas e importantes para la reproducción de la vida social. Un ejemplo podría ser el aprovechamiento, durante el Paleolítico, de las chispas que se generaban en procesos de fricción con diferentes materiales, para la obtención de fuego.

El tribosistema

La tribología observa y estudia sistemas tribológicos bajo condiciones mecánicas determinadas. Un sistema es un conjunto de elementos interconectados por su estructura y función. El más simple de los tribosistemas es el formado por un mínimo de dos elementos sólidos, un agente lubricante/abrasivo (en caso de que se requiera) y su entorno (Figura 2.1.2).

[20] El propio Leonardo da Vinci (1452-1519), fue quien habló por primera vez de un "coeficiente de fricción" (Blau 1996: fig. 1.2).

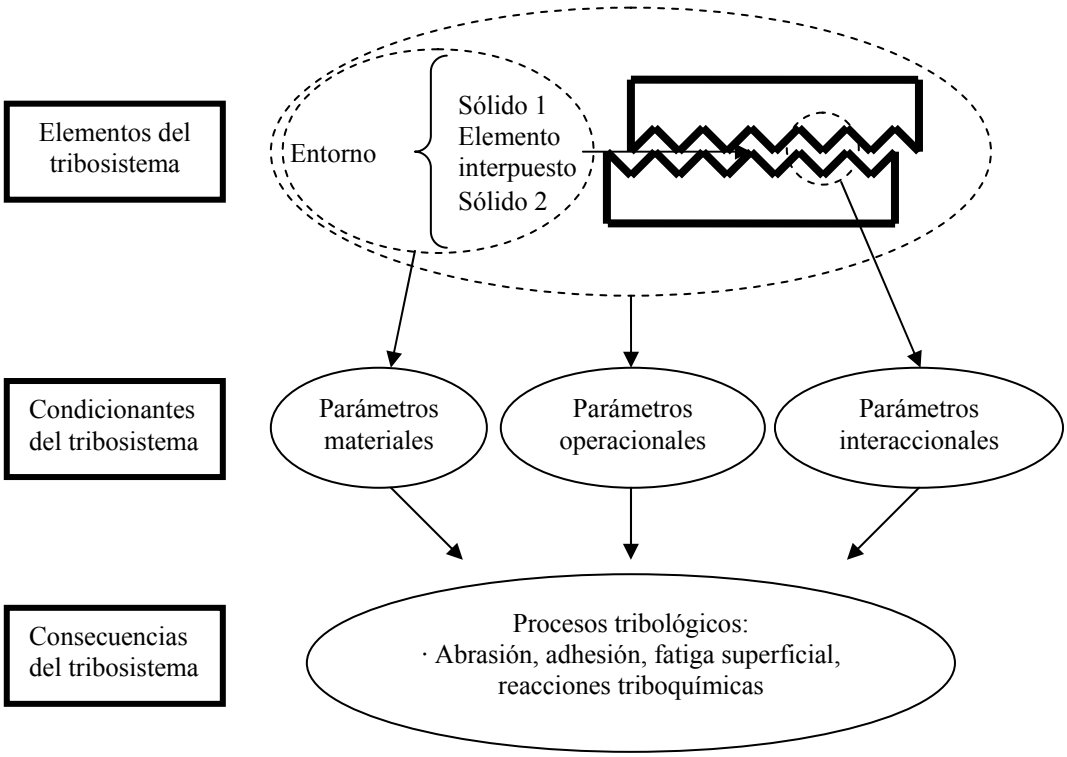


Figura 2.1.2: Estructura y contenido de un tribosistema.

Cuando dos cuerpos sólidos se encuentran en contacto por movimiento se desencadenan los siguientes efectos:

a) disipación de energía en forma de calor, debida a la resistencia a la moción que opone el cuerpo opuesto; se representa con el coeficiente de fricción,
b) las superficies cambian sus propiedades básicas (a más o menos rugosidad, a mayor o menor dureza…) y por consecuencia puede llegar a desprenderse material de alguna de ellas.

Estos resultados derivados del tribosistema se resumen en *fricción* y *desgaste*. La relación entre fricción y desgaste es compleja y no siempre directa, por lo que a un bajo valor de fricción o rozamiento no tiene por qué corresponderle un bajo valor de desgaste (Halling 1975: tab. 1.1). En muchos casos en los que la fricción disminuye al cabo de un tiempo de rodaje, esta reducción puede ir acompañada de un fuerte incremento del desgaste. Por poner un ejemplo, desde el punto de vista del comportamiento de las rocas que presentamos en este estudio, podríamos esperar la coexistencia de valores de rozamiento altos con valores de desgaste bajos, en el caso de materias duras y muy compactas.

La *fuerza de fricción* o de rozamiento es la "resistencia tangencial a la interfacies entre dos cuerpos cuando, bajo la acción de una fuerza exterior, un cuerpo se mueve relativamente al otro" (Blau 1996: 18). Esta fuerza resistiva o de resistencia genera retardo en el movimiento, es paralela a la dirección de la moción y tangencial a la

superficie sobre la cual actúa; si la fuerza es aplicada para iniciar el movimiento se llama "fuerza de fricción estática", si se aplica para mantener el movimiento, "fuerza de fricción cinética o dinámica". Estos términos fueron definidos por Euler a mediados del siglo XVIII a la vez que reconoció que la fricción dinámica tiene un valor más bajo que la estática. En nuestros experimentos observaremos los efectos de la fuerza de fricción dinámica.

La relación entre la resistencia tangencial y la fuerza normal o carga que presiona dos superficies, se denomina "coeficiente de fricción o de rozamiento" ($\left(fuerzadefricción / fuerzanormal\right)$; Figura 2.1.3; Blau 1996: 18). Este valor nunca se refiere a un solo cuerpo material, sino a una pareja de materiales, y disminuye cuanto mejor resbalen los cuerpos entre sí.

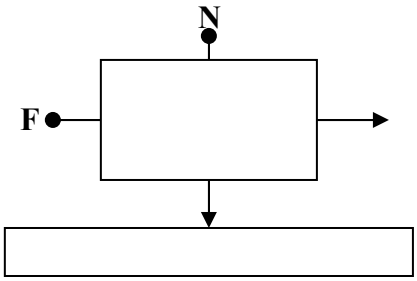


Figura 2.1.3: Factores que condicionan el coeficiente de fricción. N = Fuerza normal; F = fuerza de fricción.

Las dos primeras leyes de la fricción entre superficies planas fueron definidas por Guillaume Amontons en 1699, a raíz de los trabajos que realizaba en una tienda donde se llevaba a cabo el pulimento de lentes de cristal (Halling 1975: 6-7). La primera afirma que la fuerza de fricción es directamente proporcional a la carga, mientras que la segunda dice que la fuerza de fricción es independiente del área de contacto aparente (área nominal). Este hecho tiene que ver con dos escalas diversas de observación; mientras que las superficies de dos sólidos pueden corresponder totalmente a simple vista (área de contacto aparente), el área de contacto real, observada a mayores aumentos, será bastante más reducida (Figura 2.1.4). La fuerza de rozamiento entre dos cuerpos no depende, por lo tanto, del tamaño de la superficie de contacto entre ellos, pero sí de la naturaleza de las superficies en contacto, es decir, de su composición y rugosidad.

En 1779, C. Augustin Coulomb, ingeniero militar francés, definió la tercera ley de la fricción, según la cual ésta es independiente de la velocidad de movimiento (Halling 1975:6).

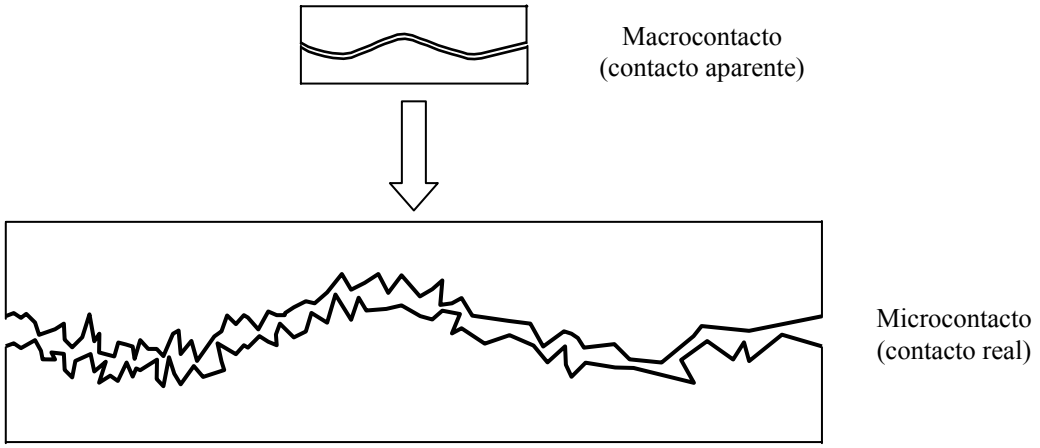


Figura 2.1.4: El macrocontacto o el contacto aparente dependerá de la morfometría de las superficies, mientras que el microcontacto dependerá de la distribución de las protuberancias y anfractuosidades, de su tamaño y de su forma.

En nuestro estudio, nos interesa la fricción como sistema tribológico en el que se forman constantemente estados y estadios diversos de *desgaste*. Desde el ámbito de la ingeniaría mecánica, este concepto se ha definido como la progresiva pérdida o remonición material que sufren las superficies cargadas en movimiento relativo durante una acción mecánica (Halling 1975: 94), y por Kragelski en 1965 como "the destruction of material produced as a result of repeated desturbances of the frictional bonds" (*ibidem*.).[21] En efecto, durante todo proceso tribológico hay partículas materiales que son desplazadas, alterándose las propiedades físicas de uno o de los dos sólidos. Sin embargo, desde el punto de vista del sistema tribológico, aunque estas partículas que se remueven de la superficie de origen pueden perderse como elemento errático y llegar a salir del sistema, también pueden transferirse a la otra superficie, sin abandonar el sistema. Tomando uno de los dos cuerpos sólidos como unidad de análisis, existen diferentes tipos de desgaste que pueden actuar individualmente o conjuntamente y se resumen de la siguiente manera, según Valencia (inédito):

Desgaste por adhesión: Cuando dos superficies se encuentran en contacto sin que se produzca movimiento, entran en la zona de atracción atómica generándose una unión o "soldadura" interfacial entre ellas. Al iniciarse el deslizamiento de alguna de las superficies, estas uniones se rompen por efecto de la fuerza tangencial dando lugar a una fuerza de rozamiento. Las fuerzas de rozamiento provocarán después la deformación y/o la pérdida de partículas mediante uno de los mecanismos de abrasión o fatiga (ver abajo; Halling 1975: 95). En este último caso, las partículas residuales pueden quedar sueltas entre ambas superficies o adherirse a una de ellas. [22]

[21] Más definiciones de *desgaste* han sido recogidas por Czichos (1978), Adams (1988: 310; 1993b: 63; 2002: 25) y Procopiou (2004).

[22] Los sentidos de las palabras "adhesión" y "adherencia" son diferentes. Blau define adhesión como "the molecular force of attraction in the area of contact between two unlike bodies that acts to hold them together" (1996: 108). De forma similar Ludema entiende bajo "adhesión" "bonding between dissimilar materials within the same bond classification" (1996: 37). Por tanto, la adhesión implica una unión química por transferencia de fuerza, mientras que la adherencia no requiere de vínculo molecular.

La teoría de la adhesión fue planteada por primera vez por Bowden y Tabor en 1964 y ha ido modificándose desde entonces con propuestas matizadoras al respecto. Las leyes que se derivan de este tipo de mecanismo de formación de desgaste afirman que:

- el desgaste es proporcional a la longitud de recorrido en el deslizamiento;
- el desgaste es proporcional a la carga, hasta llegar a cierto umbral de carga, a partir del cual el desgaste aumenta más rápidamente;
- el desgaste es inversamente proporcional al límite elástico o a la dureza del material (aunque también hay otros factores que influyen).

Por lo que se ha visto en la bibliografía consultada, aún no existe consenso acerca de la relación directa entre adhesión y desgaste: la historia de la investigación sobre el desgaste adhesivo se ha visto influenciada por un lado por aquellas publicaciones en las que se defiende que la adhesión influye en el desgaste y, por el otro, por aquéllas que niegan esta relación (Blau 1996: 114-115, tab. 4.3).

Desgaste por abrasión: Para darse este tipo de desgaste deben cumplirse dos condiciones a) que uno de los dos cuerpos sea más duro, b) que el más duro de los dos sea también el más rugoso (Halling 1975: 100). En mecanismos en los que no existe adhesión entre dos superficies, la única alternativa de interacción que da resistencia es aquella en la que el material más blando es deformado (es el caso de materiales sólidos) o desplazado (es el caso de material flexible) para acomodarse a su movimiento relativo. En este último caso, se suele aplicar el módulo de Young, a partir del cual, si un material puede deformarse elásticamente para dejar pasar la partícula abrasiva, no sufrirá desgaste alguno. En esta teoría, el parámetro que define el comportamiento no es la dureza sino el límite de deformación elástica, es decir, a mayor valor de este coeficiente, mayor resistencia al desgaste.

Teniendo en cuenta que los materiales que queremos caracterizar en el presente trabajo, tienen una elasticidad muy poco desarrollada, el mecanismo favorece el deslizamiento de las protuberancias de la superficie más rugosa y dura, generando extracción de materia del cuerpo más blando. Las partículas erráticas del entorno ruedan o se arrastran a continuación a lo largo de la interfacies. Aquí asumimos la hipótesis de la dureza como una de las características más relevantes en el comportamiento mecánico de una roca, por lo que tomaremos como diagnóstico el valor de carga mínima requerida para la deformación plástica de la muestra. No obstante, hacemos hincapié en que no puede tomarse únicamente la dureza inicial de una roca como variante determinante en la formación de desgaste por abrasión, dado que todo parece indicar que, durante estos procesos, la superficie del material adquiere una nueva dureza. Además, gracias a esta observación se explicarían algunos de los resultados experimentales observados, según los cuales, a medida que el tiempo de ensayo avanza, la resistencia al desgaste aumentaría (Halling 1975: 102). Este hecho nos conduce a dividir el programa de ensayos en diferentes intervalos temporales, en los que pueda observarse la misma muestra en temporalidades de desgaste diferentes.

Desgaste por fatiga: El sometimiento a fuerzas tangenciales (alta presión) hace superar el límite máximo de elasticidad del material de manera que las asperezas o protuberancias se deforman plásticamente (fractura) hasta que el área de contacto real

ha aumentado lo suficiente como para soportar nuevamente la carga. La fatiga puede actuar conjuntamente con cualquiera de los dos mecanismos de desgaste mencionados arriba. La abrasión puede llevar a la fractura por fatiga, de la misma manera que partículas adheridas pueden desprenderse por fatiga. En este caso no se determina el volumen de desgaste sino el momento en el que se inicia este mecanismo. Hasta la fecha no hay teorías cuantificadoras.

Desgaste triboquímico: Desde la arqueología Adams ha publicado varios estudios donde define los mecanismos de desgaste con la intención de implementarlos en la explicación del comportamiento mecánico de las rocas utilizadas por comunidades pasadas (Adams 1988:, 1989a, 1989b, 1993b, 2002: 27-41). Esta autora define el desgaste triboquímico como la formación sobre la/s superficie/s de contacto de productos de reacción procedentes de la interacción de mecanismos de adhesión, abrasión y fatiga.

Desgaste por corrosión: Se necesita presencia de agente corrosivo (líquido, gas) y efecto de rozamiento que elimina los productos de la corrosión. Ej. oxidación, capa de óxido evita contacto directo y disminuye los coeficientes de rozamiento y desgaste. Este tipo de desgaste no se contempla en este estudio, dado que no hemos encontrado evidencias de existir tal mecanismo.

Hasta aquí hemos descrito los mecanismos de formación de desgaste, tal y como se definen desde la tribología. Estas caracterizaciones cualitativas se tendrán en cuenta más a fondo en el apartado correspondiente a los tipos de desgaste observados en los experimentos replicativos, en contacto con materias específicas. Nos han servido aquí de referencia para dar a conocer brevemente los diversos contextos mecánicos en los que se desarrolla el desgaste de los cuerpos sólidos así como la posibilidad de acción sucesiva o simultánea en el tiempo de diversos mecanismos de desgaste que afectan a un solo tribosistema.

Sin embargo, el desencadenamiento de uno o varios mecanismos de desgaste así como el grado de intensidad de cada uno de ellos, vienen determinados por las condiciones materiales a las cuales se deben los cambios físicos que en ellos acontecen. El conocimiento sobre ellos y, por lo tanto, la atribución de un tipo de desgaste a uno u otro, pasa por explicitar en primer lugar las propiedades naturales de los materiales en contacto. El importante déficit de estudios de aplicación arqueológica que aborden el comportamiento físico de este tipo de materiales, hace necesaria, a nuestro modo de ver, una definición de los parámetros materiales que permitan caracterizar el comportamiento de una roca en determinados contextos mecánicos (Procopiou *et alii* 1996: 1183-1192; Georges *et alii* 2004: 4-7; Kapsa 2004: 8-9; Zahouani *et alii* 2004: 10-11; Procopiou 2004: 58-61; Lerner *et alii* 2006: 1-12). En este sentido, entendemos los aspectos cuantitativos del desgaste como elementos clave a la hora de asentar el punto de partida de un estudio con el cual se pretende explicitar las cualidades físicas de una roca. A falta de antecedentes al respecto, al menos, desde una perspectiva de aplicación preindustrial, dirigimos el contenido de este capítulo a proponer un sistema de caracterización, basado en parámetros exclusivamente cuantitativos que son relativos al desgaste de las materias líticas.

2.1.3 Los parámetros del tribosistema

Para la caracterización y comprensión correcta de un tribosistema, como escenario donde se da lugar a los procesos descritos en el apartado anterior, es necesario definir los parámetros materiales, operacionales e interaccionales del cual éste depende (fig. 2).

2.1.3.1 Parámetros materiales o estructurales

Los parámetros materiales son las variables o condiciones que introducen los elementos constituyentes del tribosistema, es decir, sus propiedades físicas, químicas y tecnológicas que son tales como composición, microestructura o geometría de los materiales.

En los ensayos que hemos realizado para el propósito que aquí nos mueve y que describimos más abajo, llamaremos *Elemento 1* a la roca que queremos testar y caracterizar. Las rocas, de diferente litología, entran en cualquiera de los sistemas mecánicos que hemos utilizado (tribosistema o sistema de flexión), en forma de probetas de dimensiones estandarizadas, lo que permitirá comparar la reacción de los diferentes litotipos durante los ciclos de desgaste. La presencia o no de un segundo cuerpo sólido (*Elemento 2*) dependerá del tipo de ensayo realizado y es, en cualquier caso, una variable constante. Lo mismo ocurre con el elemento interpuesto (*Elemento 3*) que, en caso de ser implementado en el ensayo, constituirá una variable repetida en cada uno de los ciclos experimentales.

Dada la importancia de comprender el peso de cada una de las variables que definen la naturaleza de las rocas sometidas al ensayo, a continuación nos detendremos a realizar una descripción pormenorizada del *Elemento 1*. Los elementos restantes se comentarán de manera somera, teniendo en cuenta que representan variables estáticas y constantes.

2.1.3.1.1 Primer cuerpo sólido (Elemento 1)

Una revisión somera de los estudios que abordan cuestiones relativas al desgaste material pone de manifiesto la escasez de parámetros descriptivos que caracterizan materias líticas frente a la abundancia y exactitud descriptiva otorgada a otros materiales más utilizados en la industria actual como son los metales, los plásticos, los polímeros etc. El estudio más completo que aborda específicamente una caracterización de las rocas, introduce datos experimentales que proceden de diversos ensayos mecánicos como son los de compresión, elasticidad, rigidez etc. destinados a solucionar problemas que se generan comúnmente en nuestros días en el ámbito de la minería, la perforación del sustrato para la construcción de túneles, la sísmica, es decir, problemáticas que tienen por objeto de estudio el sustrato de la tierra o con rocas de grandes dimensiones (Lama y Vutukuri 1978a: 318-4 53; Lama y Vutukuri 1978b: 326-375). Si bien en él se mencionan propiedades intrínsecas de las rocas, como son la porosidad o la densidad, son pocas las relaciones que establecen los autores entre éstas y los resultados de los experimentos mecánicos, con vistas a explicar satisfactoriamente el papel que juega cada una de las propiedades petrográficas en el comportamiento material. En el catálogo presentado en los trabajos citados se presentan rocas de

diversas regiones panplanetarias. Cada litotipo viene definido por su procedencia (p. ej. Tennessee sandstone, Indiana limestone) y una breve descripción de sus características litológicas, la cual ha resultado inútil a efectos de aplicación para este trabajo, vistas las grandes diferencias existentes entre las propiedades intrínsecas de las formaciones geológicas de cada región. Por otro lado, los propios autores reconocen que, a pesar de la importancia que tienen los aspectos estructurales de la roca en su comportamiento, se ha investigado poco en relación a las implicaciones de la geometría de los granos, su grado de interconexión, la matriz o la porosidad (Lama y Vutukuri 1978b: 262).

En términos generales, los parámetros materiales pueden separarse en propiedades cualitativas y cuantitativas (Avilés 2005: 71ss.). Ludema (1996: 145-146) presenta las diferencias existentes en las características de índole cualitativa entre materiales metálicos y la cerámica, la cual podemos comparar más estrechamente con algunos de los materiales líticos que analizamos aquí.[23] Estas diferencias podrían servirnos para explicitar las posibles propiedades relevantes en el comportamiento mecánico de los materiales líticos y son las que presentamos a continuación:

> *Comportamiento durante el deslizamiento:
> - el coeficiente de fricción de materiales cerámicos es significativamente más elevado que el de los metales, además la cerámica genera más vibraciones que el metal durante el deslizamiento.
> - el índice de desgaste aumenta abruptamente en el momento en el que hay un aumento en la velocidad de deslizamiento, probablemente debido a estrés térmico.
> - el índice de desgaste aumenta abruptamente en el momento en el que aumenta la presión de contacto.
>
> *Propiedades:
> - los granos son quebradizos, aunque se comportan de manera dúctil bajo estrés de compresión. Microscópicamente se comportan de manera quebradiza bajo experimentos de impacto y de tensión.
> - los granos abarcan propiedades que van desde muy dúctiles hasta muy quebradizos.
>
> *Estas propiedades tienen los siguientes efectos en aplicaciones tribológicas:
> - la textura anisótropa de la cerámica genera frecuentes mecanismos de fatiga en procesos tribológicos recurrentes o repetitivos y las fracturas se propagan rápidamente.

Teniendo en cuenta estas informaciones generales obtenidas de la bibliografía (Lama y Vutukuri 1978c: 206-225) así como la propuesta de clasificación de rocas sedimentarias de Gómez-Gras (1999) y el *Manual Prácticas de Laboratorio* diseñado por el departamento de Geología de la UAB para rocas ígneas y metamórficas[24], proponemos una lista de variables como parámetros definitorios de las propiedades materiales de las rocas a analizar. Éstas se diferencian de los materiales metálicos, a los que han ido

[23] Tanto la cerámica como las rocas sedimentarias detríticas están compuestas por inclusiones inmersas en una matriz.
[24] Se trata de un manual inédito y preparado por AAVV que lleva el título de *Petrología Endógena*, a cargo de la unidad de Petrología y Geoquímica del Departamento de Geología de la Universidad Autónoma de Barcelona.

dirigidos habitualmente los estudios tribológicos, sobre todo en su grado de homogeneidad. Las rocas están en la mayoría de los casos compuestas de partículas minerales de muy diversa índole, lo que nos lleva a realizar un análisis a dos niveles: uno relativo a los componentes minerales y otro, general, el cual contempla la roca como contexto físico que acoge dichos minerales (Figura 2.1.5).

	Mineral	**Roca**
Composición	Fórmulas químicas	Porcentaje de minerales
Textura	Maclas, exfoliación	Esquistosidad
Estructura	Forma y tamaño de minerales	Porcentajes de forma y tamaño de minerales

Figura 2.1.5: Las dos diversas escalas de caracterización de una roca de las cuales depende su grado de heterogeneidad.

Propiedades mineralógicas

La composición hace alusión a la naturaleza química de los componentes minerales presentes en la roca. Para ello registramos los *minerales dominantes,* el *porcentaje aproximado* con el que éstos están representados, así como los *minerales accesorios*, que en algún caso pudieran condicionar el comportamiento mecánico de la roca. Entre los minerales existentes en la naturaleza destacan algunos por ser química y mecánicamente estables (p.ej., cuarzo), lo que les confiere una mayor resistencia frente a cualquier tipo de alteración (Figura 2.1.6). Otros, como las micas, presentan condiciones de resistencia mecánica y química menores. En la problemática que aquí nos concierne nos interesa especialmente el grado de *homogeneidad composicional*, dado que ésta introduce una variable más, además de la mera composición mineral. Hemos asignado una homogeneidad composicional *alta* a aquellas rocas que contienen de 1 a 2 minerales, *media*, a las que presentan entre 3 ó 4 minerales y *alta*, a las que incluyen más de 4. En el caso de una roca formada por una sola mineralogía, se hablará de una homogeneidad composicional alta y podrá asumirse una reacción mecánica similar durante el proceso de desgaste de todos y cada uno de los componentes minerales. Por el contrario, si se trata de una roca composicionalmente heterogénea, la presencia de componentes minerales de diferente naturaleza, hará que estén representados múltiples grados de dureza y que, por consiguiente, se den reacciones de diversa índole frente a procesos de fricción.

Grados de resistencia	**Minerales**
Baja	Olivino, pyroxeno, hornblenda, plagioclasa cálcica, biotita, estaurolita, granate ferruginoso, melilita, epidota, feldespatoides
Intermedia	Plagioclasa sódica, ortoclasa, microclima, moscovita, silimanita, andalusita, quianita, granate de calcio-aluminio, granate pobre en hierro, clinozoisita
Alta	Cuarzo, magnetita, hematina, turmalina, circón, rutilo

Figura 2.1.6: Resistencia de las partículas minerales frente a agentes como el agua, el dióxido de carbono y el oxígeno que favorecen procesos de alteración química (disolución química) y mecánica (disgregación). (Modificado a partir de Lama y Vutukuri 1978c: tab. 37).

Propiedades físicas

Entre las propiedades físicas de una roca hemos considerado la *densidad* de la misma como una variable potencialmente condicionante en algunos de los procesos mecánicos a los que son sometidos los instrumentos líticos. La *densidad* es la cantidad de masa de un material determinado por unidad de volumen y equivale al peso específico. Para llevar a cabo los cálculos pertinentes, se realizó el siguiente procedimiento (Zoghlami 2003). Las rocas cortadas en forma de probetas de dimensiones determinadas se introducen en un recipiente conectado a una bomba de vacío (Figura 2.1.7). Allí se mantienen durante 24 horas a una presión constante de 0,001 mbares, mediante lo cual se elimina totalmente el aire contenido en los poros de la muestra. Posteriormente, a través de un conducto, se llena el recipiente lentamente con agua destilada, controlando el proceso, de modo que las probetas no queden totalmente sumergidas antes de 15 minutos. Con ello se facilita el acceso del agua líquida a las partes interiores de la probeta. Las probetas son extraídas del recipiente después de 24 horas de haber desconectado la bomba de vacío y se mantienen sumergidas en agua a presión atmosférica durante otras 24 horas. A continuación se obtiene el peso de las probetas saturadas de agua (Ms) en una báscula de precisión. Para registrar el peso en seco (Mo) se secan en un horno a 90Cº durante un día.

Figura 2.1.7: Bomba de vacío empleada en el experimento de medición de la densidad aparente, la densidad real y la porosidad abierta de los litotipos empleados en los ensayos tribológicos.

Con estos datos procedemos a definir la *densidad aparente* de cada roca (D_{ap}), la cual se refiere a la masa en reposo por unidad de volumen genérico de un material en su estado natural, incluyendo poros y todo tipo de espacios abiertos. Teniendo en cuenta que

$$Densidad\ aparente = \frac{masa}{volumen}$$

$$Peso\ específico = \frac{peso}{volumen} = \frac{masa \cdot fuerza\ de\ gravedad}{volumen}$$

y que la fuerza de gravedad es un valor constante, podemos equiparar la densidad de una roca a su peso específico, siendo el peso específico de una sustancia igual a su densidad por la aceleración de la gravedad. Las rocas analizadas constituían probetas con formas geométricas definidas, por lo que fue posible realizar el cálculo de manera directa. Por tanto,

$$D_{ap} = \frac{M_O\,[gr]}{v\,[cm^3]}$$

donde D_{ap} es la densidad aparente, M_o es el peso en seco y v es el volumen.

Sin embargo, la densidad aparente no define la cantidad de espacios vacíos que contiene una roca, para lo cual se hace necesario calcular la *porosidad abierta*, que es el volumen de huecos o conjunto de espacios libres (poros) que ésta posee en su interior. Este cálculo pasa por estimar la *densidad real* de la roca, según la cual,

$$D_{re} = \frac{M_O\,[gr]}{\{v\,[cm^3] - (M_S\,[gr] - M_O\,[gr])\}}$$

donde D_{re} es la densidad real, M_o es el peso en seco, v es el volumen y M_S es el peso en saturación.

La diferencia entre la *densidad aparente* y la *densidad real* expresa el porcentaje de *porosidad abierta* contenido en la roca. Así,

$$Porosidad\ abierta\ \% = \frac{(D_{re}/D_{ap})}{D_{re}}$$

Como dato referencial hemos añadido una estimación visual sobre lámina delgada del porcentaje de espacios vacíos, *porosidad %,* que puede servir de dato complementario para contrastar los resultados obtenidos mediante el procedimiento anterior. Ambos resultaron coincidentes, por lo que fue posible trabajar con tan sólo uno de los dos.

Los aspectos definidos se han manifestado experimentalmente como una variable destacada en la reacción mecánica de las rocas (Lama y Vutukuri 1978: tab. 12); en espacial la porosidad se comporta de manera inversamente proporcional a la resistencia frente a fuerzas de estiramiento (Lama y Vutukuri 1978: tab. 8, fig. 6-67).

Propiedades mecánicas

Una de las propiedades que caracteriza las rocas es la dureza, la cual puede estimarse de diversas maneras (Caubet 1971: 88-92). El valor que comúnmente se estima en el caso de los minerales, es la dureza Mohs (1822), definida como el poder de un mineral para rayar a otro, o lo que es lo mismo, su resistencia a ser rayado por otro mineral. En esta escala relativa del 1 al 10, el talco figura como mineral más blando y el diamante tiene

la puntuación más elevada. Esta escala se corresponde con los valores absolutos *Gpa* (Figura 2.1.8; Broz 2006: 135-142), los cuales han reaccionado de forma más sensible a los ensayos mecánicos que hemos realizado a efectos de este trabajo. Por esta razón, en los resultados que presentamos más adelante, hemos tenido en cuenta la escala de dureza absoluta.

Valores Mohs (escala relativa)	**Mineral**	**Mineral microhardness (*Gpa*, escala absoluta)**
0	Poro	0
1	Talco	0,14
2	Yeso	0,61
3	Calcita	1,49
4	Fluorita	2
5	Apatito	5,43
6	Ortosa	6,87
7	Cuarzo	12,2
8	Topacio	17,6
9	Corindón	19,6
10	Diamante	¿?

Figura 2.1.8: Escalas relativa (Mohs 1822) y absoluta de dureza mineral (Broz 2006).

Tal y como hemos dicho arriba, los materiales líticos que se describen en este trabajo constituyen agregados de minerales, los cuales pueden presentar grados de dureza muy diversos. Con el fin de conseguir un valor aproximativo de la dureza de una roca, en este estudio hemos calculado la *dureza media* mineralógica, que se obtiene a partir la media ponderada de las durezas representadas en cada una de las mineralogías presentes. Por tanto,

$$D = \frac{(da \cdot \%a) + (db \cdot \%b) + (dc \cdot \%c) + (dd \cdot \%d)}{100}$$

donde, *D* es la dureza media, *a, b, c, d* son los minerales que componen la roca, *%a, %b, %c, %d* son los porcentajes de cada mineral en la roca y *da, db, dc, dd* son los valores absolutos de microdureza de la escala *Gpa*.

Este dato sólo tiene en cuenta la dureza mineralógica del material, la cual no es suficiente para caracterizar su dureza real. En teoría, podríamos encontrar un material arenoso compuesto mayoritariamente de granos de cuarzo, hecho que resultaría en una elevada dureza media. Sin embargo, desde un punto de vista tribológico, la resistencia que puede oponer tal material a la fricción es muy escasa, en tanto que los granos de cuarzo mantienen en su caso una cohesión muy baja, favoreciendo la disgregación total del cuerpo sólido. Por ello resulta de suma importancia registrar también el grado de *cohesión*, que hace referencia al grado de soldadura intergranular. El grado de cohesión será muy alto, cuando los minerales estén mantenidos en cristalizaciones de cuarzo o de filosilicatos y, muy bajo, en el caso de rocas carbonatadas.

Propiedades geométricas

Entre las propiedades geométricas de los componentes minerales hemos registrado la *granulometría máxima* así como la *granulometría mínima* en micras. Una variable adicional que da cuenta de la distribución de las frecuencias granulométricas hace alusión al grado de *homogeneidad granulométrica* (Lama y Vutukuri 1978c: 393-398; fig. 12-48). De esta manera, diferenciaremos entre las distribuciones equigranular, inequigranular, bimodal y seriada (Figura 2.1.9).

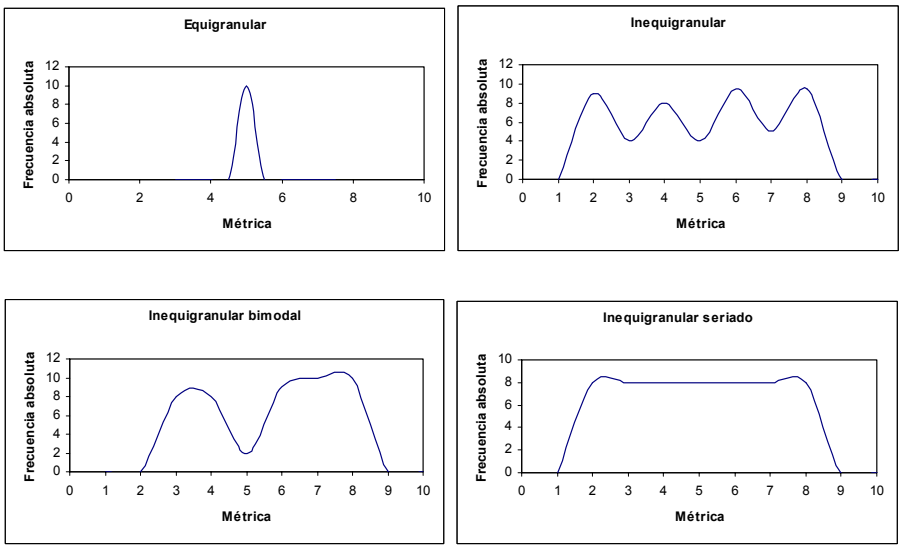


Figura 2.1.9: Posibles distribuciones de frecuencias en la métrica de los minerales contenidos en las rocas. Equigranular: todos los minerales poseen dimensiones del mismo orden de magnitud. Inequigranular: existen varios órdenes de magnitud que están representados en la misma proporción. Inequigranular bimodal: los órdenes de magnitud más frecuentes se acumulan en dos grupos diferenciados. Inequigranular seriado: existe una gradación completa entre tamaños de distintos órdenes de magnitud.

Tras distribuciones granulométricas idénticas pueden encontrarse minerales cuya morfología difiere considerablemente. Para poder reconocer estos casos hemos tenido en cuenta el grado de *angulosidad*, variable que hace alusión a la presencia o ausencia de vértices en un grano o cristal, distinguiendo entre angulosidad baja (ausencia prácticamente total de vértices), media (vértices romos) y alta (vértices agudos).

Una de las variables que hemos considerado de mayor incidencia en la formación de desgaste sobre rocas, es la textura, la cual se refiere a la ordenación espacial de sus componentes minerales (*Textura A*) y, más concretamente, a su disposición en relación a la superficie de desgaste (*Textura B*). Las texturas difieren en términos generales en función del origen metamórfico, ígneo o sedimentario de las rocas, aunque dentro de cada una de estas familias se dan igualmente matices y subdivisiones. Entre las texturas que se conocen para las diversas litologías existentes en la naturaleza, vemos representadas en nuestro material las siguientes:

Esquistosa lepidoblástica: Es aquella textura caracterizada por una orientación preferente debida a la disposición paralela o sub-paralela de componentes minerales de

hábito aplanado o elongado, idio- o sub-idioblásticos. Los minerales que más frecuentemente aparecen en las rocas esquistosas son los filosilicatos, si bien, no siempre son los más abundantes dentro de un litotipo.

Esquistosa poiquiloblástica: Microestructura que se caracteriza por la presencia de poiquiloblastos en una matriz esquistosa. Los poiquiloblastos son cristales metamórficos que destacan por su tamaño y por la abundancia de pequeñas inclusiones de otras fases minerales. Las inclusiones pueden presentar diversas disposiciones bien relacionadas con la microestructura anterior al crecimiento o adquirida durante su crecimiento, pero también pueden estar relacionadas con la estructura cristalográfica del poiquiloblasto huésped. Dicho tipo de microestructura puede calificarse igualmente como "poiquilo-porfidoblástica". Un término utilizado para describir este tipo de microestructura es el de "microestructura en criba" o "cribosa".

Milonítica, foliada gnéisica: Las texturas gnéisicas foliadas, generalmente de forma irregular e imperfecta, pueden presentar minerales con orientación dimensional preferente o minerales elongados o aplanados. Su tamaño de grano suele ser de medio a grueso. Los cuarzos y feldespatos, como minerales más frecuentes, aparecen a menudo ordenados en cintas, en forma de bandeado.

Dependiendo de la proporción de la matriz frente a las inclusiones de porfidoclastos, se habla de textura protomilonítica (10-50%), milonítica (50-90%), ultramilonítica (90-100%). Los porfidoclastos son cristales relícticos que destacan sobre una matriz constituída por cristales menores neoformados o recristalizados. Esta matriz ha sido originada por una disminución selectiva cuando la roca ha sido sometida a un metamorfismo con deformación. La forma de los porfidoclastos puede ser angulosa, ovalada o lenticular.

En el caso observado por nosotros, se trata de una textura compuesta por una matriz foliada cuyos planos de foliación rodean y se adaptan a porfidoclastos, que presentan formas generalmente ovaladas. También aquí convergen dos texturas, una porfidoclástica y otra tipomórfica compleja (la gnéisica).

Cristalina xeno-granoblástica: textura propia de rocas metamórficas isótropas, cuyos minerales cristalinos son aproximadamente equidimensionales.

Vitrofídica, afanítica, porfídica: Una textura porfídica es aquélla que presenta fenocristales, minerales de grandes dimensiones envueltos por una matriz de cristales de grano muy fino, mocrolitos o vídrio. Esta textura es típica de rocas volcánicas que han sufrido dos etapas de cristalización. En el caso observado, la matriz es vítrea y los criastales no pueden reconocerse a simple vista, por lo que la denominamos „afanítica". Dado que no tienen caras equidimensionales, los hemos calificado como inequigranulares.

Fanerítica, panidiomorfa: fanerítica porque sus minerales se distinguen a simple vista, idiomorfa porque tiene caras bien definidas.

Clástica: Es aquélla textura compuesta principalmente de fragmentos de rocas o minerales preexistentes que han sido sedimentados y posteriormente litificados por un proceso de diagénesis.

Desde el punto de vista mecánico, la existencia de orientación o planos de anisotropía en los componentes minerales de las rocas tiene implicaciones en su capacidad de actuar sobre otro cuerpo sólido. Gracias al estudio de inventarios macrolíticos sabemos que en aquéllas rocas con textura orientada y utilizadas como instrumentos, habitualmente se emplean superficies en las que los minerales se disponen paralelamente a la misma. Esta propiedad de anisotropía que presentan algunas rocas se genera, en el caso de las metamórficas, por foliación en procesos geológicos de compresión, y en el caso de las sedimentarias, por laminación, durante la deposición de los sedimentos (Figura 2.1.10). Esta característica ha sido registrada bajo la variable *Textura B* y ha constituido un aspecto importante a la hora de preparar las probetas con ayuda de la sierra mecánica, en tanto que los cortes para acondicionar las superficies que iban a ser posteriormente desgastadas, se realizaron en favor de dicha orientación.

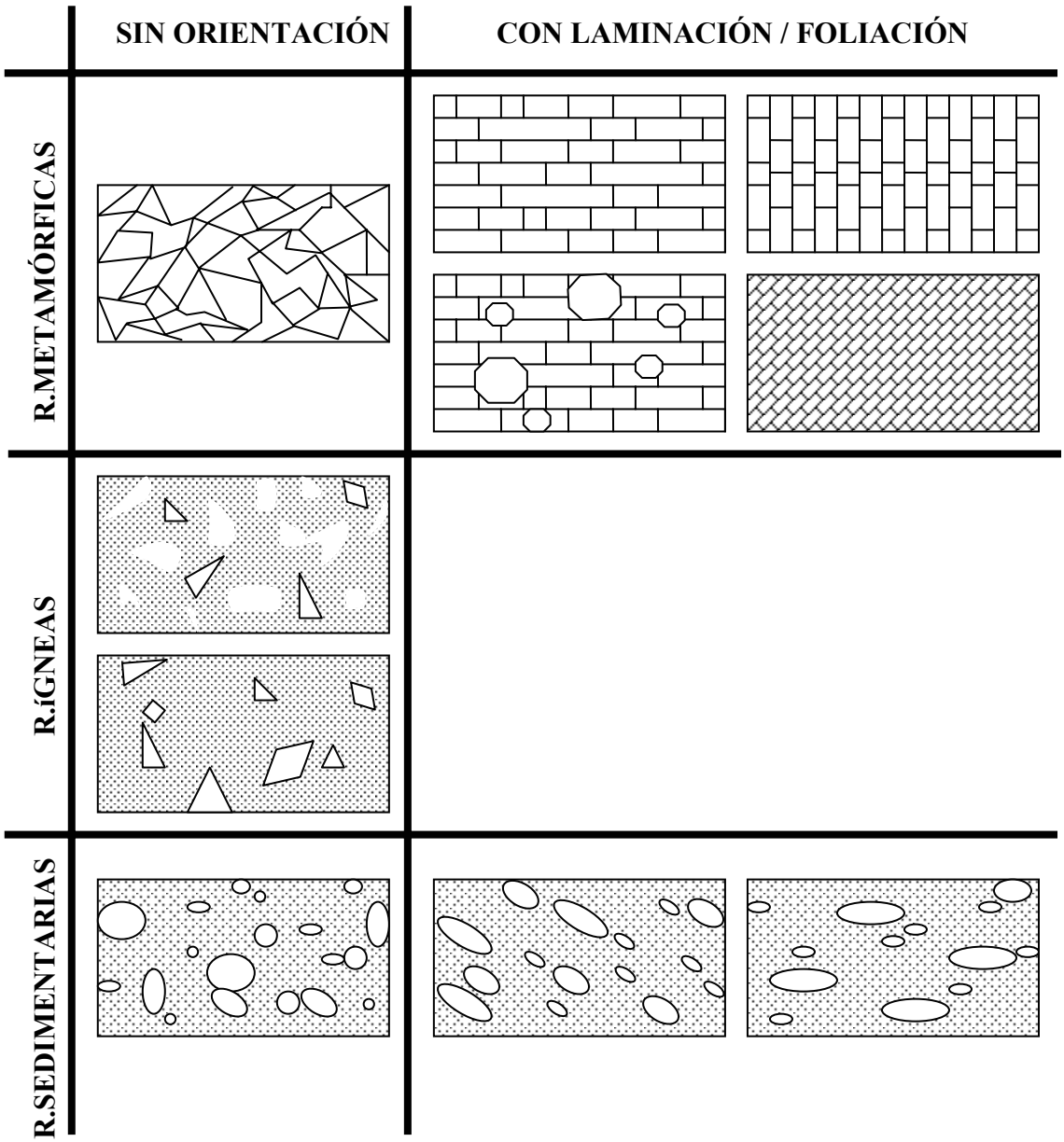


Figura 2.1.10: Rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas con las texturas más frecuentes, diferenciando entre texturas orientadas y no orientadas.

Algunas rocas presentan una fracción fina que forma una masa en la que quedan englobados los cristales, granos o clastos de mayor tamaño. Llamamos *matriz* a esta propiedad y puede estar formada por diversas mineralogías como elementos detríticos, cemento, micas, vidrio volcánico, dependiendo de la naturaleza sedimentaria, ígnea o metamórfica de la roca.

Por último, algunas rocas han sufrido cambios en su composición mineralógica debido a procesos físicos o químicos, lo cual es un factor a tener en cuenta en el comportamiento mecánico puesto que puede disminuir la resistencia del material en contextos de desgaste específicos. Para registrar posibles evidencias de alteración en la roca se ha generado la variable *alteración*, si bien los materiales analizados en este estudio no presentan procesos de alteración significativos.[25]

2.1.3.1.2 Segundo cuerpo sólido (Elemento 2)

Teniendo en cuenta que el elemento 2 representa el cuerpo sólido que actúa recíprocamente con el elemento 1, pueden emplearse las mismas variables a efectos de su descripción o variables semejantes, en caso de que se trate de un material que no es lítico (p.ej., metálico). En los ensayos de fricción en los que interviene un elemento de este tipo, únicamente se ha anotado el material del que está compuesto, dado que venía definido por la propia infraestructura de la máquina y que no interesaba documentar los efectos del proceso de desgaste en su superficie[26].

2.1.3.1.3 Entorno y elemento interpuesto (Elemento 3)

Desde el punto de vista de los ensayos de caracterización de materiales industriales, los aspectos definitorios del entorno y del elemento interpuesto (lubricante o abrasivo), pueden ser, químicos (composición, contenido de aditivos, acidez), mecánicos (grado de viscosidad) y relativos a las características de elementos añadidos accidentalmente (polvo, humedad, suciedad, vibraciones). Blau (1996: 230) menciona las propiedades del lubricante que pueden influenciar el desgaste: su estructura y su composición, el grosor de la capa, la forma en que el lubricante es resuministrado sobre la superficie cada vez que se remueve por rodamiento o deslizamiento.

En nuestros experimentos se han utilizado exclusivamente materiales abrasivos. Éstos vuelven a ser constantes en todos los experimentos de un tipo determinado, por lo que sus características, las cuales se registran en la ficha, son de carácter referencial y no tienen más que un propósito informativo. Por tanto, siempre que se hace uso de un material abrasivo se anotan sus características composicionales (*Composición*), físicas

[25] Aunque no se trata de alteración en sentido estricto, podemos adelantar aquí que hemos registrado la presencia de retrogradación, como proceso de transformación de la roca relacionado exclusivamente con las corneanas. Se trata de la alteración parcial de la cordierita a filosilicatos, lo cual conduce, en este caso, a un fuerte intercrecimiento de los mismos.

[26] Algo muy diferente ocurre en un "tribosistema prehistórico", dado que a menudo el elemento 2 también está constituido por un material lítico. En estos casos, interesa observar los efectos del desgaste sobre ambas superficies y, por lo tanto, describir previamente sus propiedades.

(*Forma* y *Métrica*) y cuantitativas (*Cantidad* en gramos o mililitros). Los materiales abrasivos compuestos se desglosan por cada elemento composicional[27].

Aunque nosotros hemos contemplado el cuerpo abrasivo como variable estática, de cara a un análisis detallado de cualquier proceso tribológico en el que éstos intervienen, sería también necesario seguir el desarrollo de su propio desgaste ya que los diversos estados en los que éste se encuentra pueden afectar de forma diferenciada a la formación desgaste. Los abrasivos, como p.ej., la arena, se desgastan hasta el punto de que, en un caso hipotético, los vértices de los granos quedan totalmente embotados o hasta que el propio grano se fractura. Por esta razón, pasado un tiempo de uso de los abrasivos en los ensayos industriales de resistencia, éstos se desechan. De la misma manera, una fractura total del abrasivo puede implicar una "renovación" en las propiedades del tribosistema que se vería afectado por la nueva geometría de las partículas abrasivas, ahora con vértices más abruptos, hasta que vuelven a desgastarse. Este proceso cíclico que influye en las cualidades mecánicas del abrasivo, no ha sido contemplado en los experimentos realizados, dado que las partículas que componen el tercer cuerpo son de metal extraduro y/o de mineral pulverizado, de manera que la medición de su desgaste se mueve en medidas tan ínfimas que exceden nuestro interés.

2.1.3.2 Parámetros operacionales

Los parámetros operacionales son igualmente variables que condicionan el proceso tribológico pero, en su caso, están determinados por agentes externos al mismo. La *cinemática*, que procede del griego *kinema* (movimiento) es uno de ellos y define el tipo de movimiento que se realiza entre los elementos 1 y 2, (tracción, rotación, deslizamiento, rodadura, impacto, compresión, torsión, perforación), así como su periodicidad (continua, inversa, intermitente, oscilante).

La *carga* en kilogramos incluye el peso que actúa perpendicular al área de contacto e influye directamente en el proceso de formación de desgaste de los elementos sometidos a ensayo.

Estos parámetros operacionales tendrán un mayor o menor efecto sobre los elementos del tribosistema, dependiendo de la temporalidad a través de la cual actúan sobre los mismos. La duración de los ciclos experimentales puede medirse en calidad de *tiempo* de experimentación en minutos o en calidad de r*evoluciones* que realiza la máquina de ensayo por minuto.

Los materiales pueden someterse a unas condiciones experimentales determinadas hasta que se obtenga un grado de desgaste específico, siendo en este caso la variable *tiempo* la que se mide y se obtiene como resultado. Sin embargo, esto conlleva la condición de que se sepa, en todo momento de la progresión experimental, el grado de desgaste en el que se encuentra la roca. Otra manera de proceder es someterla a unas condiciones experimentales determinadas durante un tiempo específico, obteniendo como resultado el grado de desgaste del material. En este trabajo, hemos optado por la segunda

[27] Los "tribosistemas prehistóricos" incluyen a menudo elementos interpuestos que facilitan el procesado de algunos materiales a tratar; es el caso del tratamiento de la piel las propiedades antisépticas del ocre o los sesos contribuyen a detener el proceso de descomposición de la misma.

modalidad, utilizando el tiempo (o, lo que es lo mismo, las rpm) como variable predeterminada y adecuada para reconocer variaciones en los "ritmos de desgaste".

Durante el funcionamiento de un tribosistema se suceden ciclos de comportamiento material que dependen de los "ritmos de desgaste". Tomando un aumento progresivo y lineal del desgaste, los cambios de ritmo se intercalan en forma de "rupturas o discontinuidades" que desembocan en una aceleración o una desaceleración en el mismo. Dicha variabilidad puede deberse a cambios externos, introducidos por discontinuidad en los parámetros operacionales o generarse en el propio tribosistema, como reacción a la acumulación gradual y constante de los efectos de los parámetros operacionales. Todos estos cambios conllevan "transiciones tribológicas", es decir, cambios en el desgaste que hacen que éste no sea lineal. A efectos de captar las irregularidades que pueden acontecer en los ritmos de desgaste, se ha optado por desglosar el tiempo de experimentación en cinco ciclos de idéntica duración, salvo alguna excepción.

Además de los parámetros mencionados arriba, los ensayos industriales contemplan a menudo la temperatura inicial de los elementos y la inducida por la fricción, que se estima calculando el calor de fricción. Esta medición se realiza bajo el supuesto de que, sobre todo en el caso de los materiales metálicos, durante el ensayo se suceden intervalos de calentamiento, lo cual modifica estructuralmente las propiedades de la superficie y reduce normalmente la dureza del material. Además de ésta también se llegan a tener en cuenta otras condiciones que operan e influyen en el tribosistema como son las vibraciones o las radiaciones.

Al igual que las propiedades de los elementos 2 y 3, los parámetros operacionales constituyen variables controladas que se aplican de manera constante a cada uno de los materiales a testar.

2.1.3.3 Parámetros interaccionales

Los parámetros interaccionales caracterizan la acción de los parámetros operacionales sobre los componentes estructurales del sistema y definen sus modos de contacto. Todos ellos actúan a escala microscópica e incluyen la fuerza y la energía de interconexión entre los materiales en contacto, las cuales causan una resistencia al movimiento de fricción que es necesario superar para destruir los enlaces. El modo de deformación por contacto depende igualmente de la forma real de las superficies (disconforme / conforme) así como del índice de plasticidad, elasticidad y dureza.

Los parámetros alistados en este apartado exceden con creces las expectativas planteadas para nuestros experimentos, tanto por la imposibilidad técnica de medir algunos de ellos como por el grado de detalle que implican, por lo que, de momento no se tendrán en cuenta.

2.1.4 ¿Cómo cuantificar el desgaste?

Después de haber definido las condiciones materiales que potencialmente pueden intervenir en el comportamiento mecánico de los cuerpos sólidos durante un ensayo tribológico (variables intrínsecas) y haber fijado las que se introducen de manera controlada en el mismo (variables controladas), cabe preguntarse cómo pueden medirse los efectos que tienen dichas variables sobre las rocas (variables de control). Para establecer la naturaleza de las variables de control que permitan medir los efectos del tribosistema sobre nuestras rocas, debemos preguntarnos en primer lugar qué es lo que media entre fricción y desgaste.

De los apartados anteriores se desprende el papel que juega la fricción en la formación de desgaste. Sin embargo, lo que media entre el proceso de fricción y el de desgaste resultante es la capacidad abrasiva de los cuerpos sólidos en contacto. Entendemos bajo "capacidad abrasiva" aquella propiedad de cualquier material sólido para desgastar un segundo cuerpo sólido por mecanismos de fricción. Al mismo tiempo se entiende que una capacidad abrasiva mayor revertirá positivamente en la capacidad de resistir el desgaste, pero no viceversa. Es decir, la resistencia al desgaste en un cuerpo no tiene por qué ser directamente proporcional a la capacidad abrasiva, dado que ésta última está igualmente relacionada con una segunda propiedad que es el grado de rugosidad superficial. La *capacidad abrasiva* de cada uno de estos materiales depende, a efectos del presente trabajo, de la *resistencia del material a la fricción* y del *grado de rugosidad* de su superficie.

La resistencia de materiales, en general, se refiere al comportamiento de las estructuras sólidas sometidas a la acción de fuerzas mecánicas mientras que, concretamente la resistencia mecánica es la capacidad de un material para soportar, sin romperse, distintos tipos de esfuerzos, como, p.ej., impactos, compresión, tracción etc., y, en este caso, fricción. En este trabajo nos referimos a "resistencia a la fricción" cuando hablamos de aquel comportamiento mecánico determinado por las propiedades intrínsecas del material sólido que hacen que soporte mejor o peor cualquier contacto de fricción con otro material sólido. Que un material sea resistente a la fricción implica que es capaz de soportar la fricción contra otro material sin alteración físico-mecánica; sin embargo no implica, que tenga una capacidad abrasiva alta. Sería el caso de un microgabro que resiste la abrasión de otra roca, debido a sus condiciones mineralógicas específicas las cuales, por lo contrario, no le confieren capacidad suficiente para extraer una alta proporción de materia de otra roca mediante movimientos de fricción.

Ello depende de la "rugosidad" superficial, es decir, de la capacidad de la roca de generar una superficie compuesta por numerosas protuberancias y anfractuosidades angulosas. Esta cualidad se limita a un estado determinado de la superficie, que puede cambiar con el paso del tiempo, como resultado de un proceso de desgaste. Algunas características intrínsecas de las rocas que *a priori* podrían favorecer superficies rugosas, son una homogeneidad composicional y granulométrica bajas. Estas propiedades podrían incluir componentes suficientemente heterogéneos como para reaccionar de forma diferenciada a las mismas condiciones de fricción, generando abundantes protuberancias y anfractuosidades. Asimismo la porosidad puede aportar buenas condiciones para el desarrollo de la rugosidad, en tanto que también representa una heterogeneidad en las superficies que disponen de ella.

Establecer la relevancia de las propiedades petrográficas concretas en el comportamiento de las rocas es el propósito del presente capítulo, sin embargo, los ejemplos de los que disponemos hasta el momento ponen de manifiesto que las variables que condicionan la resistencia a la fricción y la rugosidad de una roca pueden ser independientes. En este sentido, una pumita reúne los requisitos suficientes para desarrollar un alto grado de rugosidad en cualquier momento de desgaste, carece sin embargo, de las propiedades necesarias para hacer de ella una roca resistente a la fricción.

Desde un punto de vista arqueológico, de la independencia causal mencionada entre resistencia a la fricción y rugosidad se deriva el hecho de que una superficie pueda haber alcanzado un grado de rugosidad 0 en ausencia total de desniveles, se considere, por lo tanto, agotada, sin que el artefacto haya alcanzado niveles de desgaste que lo hagan inoperativo. En tal caso, es posible prolongar la vida de uso de un artefacto mediante tratamientos de mantenimiento de la superficie activa (p.ej., reavivado). En un caso en el que el artefacto está morfológicamente tan alterado y desgastado que no puede operar como tal porque se fractura, diremos que está agotado.

Dentro de los límites marcados por las actividades productivas llevadas a cabo por fricción, encontramos requerimientos de muy diverso orden en torno a la capacidad abrasiva de las rocas. Un material con una "alta capacidad abrasiva" sería aquél que reuniera las propiedades suficientes para desarrollar una superficie altamente rugosa, pero que presentara una resistencia a la fricción moderada. Sólo de esta manera se evitaría el agotamiento de la superficie de trabajo, favoreciendo su constante autorrenovación, sin que esto suponga un agotamiento rápido del artefacto. Mientras a la hora de fabricar un molino resultaría más apropiado un material lítico con una moderada resistencia a la fricción y una capacidad alta de desarrollar rugosidad (Schoumacker 1993), las propiedades ideales para la producción de un bruñidor de cerámica pasarían por una alta resistencia a la fricción y una capacidad, a poder ser, nula de desarrollar rugosidad.

En cualquier caso, la caracterización de la capacidad abrasiva de un material debe tener en cuenta ambos parámetros mencionados arriba, es decir, la resistencia a la fricción y la capacidad de generar rugosidad. A efectos de este análisis, se han utilizado dos tipos de mediciones comúnmente empleadas en los programas de ensayos industriales, en las que hemos considerado, se manifiesta el comportamiento mecánico de las rocas en ambientes de fricción: el v*olumen* perdido y la r*ugosidad*. Estas mediciones se realizan al inicio de cada uno de los cinco ciclos experimentales de los que hemos hablado arriba y son, a nuestro modo de ver las que conjuntamente permitirán caracterizar el desgaste por fricción. El volumen perdido se estima directamente a partir de la densidad real de la roca y la disminución del peso[28] de la probeta a lo largo del ciclo experimental ($v = M_o / Dre$), presentándose en cm^3. En oposición a ello, la forma de cuantificar la rugosidad requiere de la aplicación de técnicas algo más complejas que explicaremos a continuación.

[28] Dado que la densidad real de los materiales hace que un cm^3 pueda presentar valores de peso muy diferentes (p. ej., entre plomo y paja), conviene tomar el volumen, y no el peso, como medida representativa de la resistencia a la fricción.

La caracterización de la microtopografía de la superficie es un aspecto frecuentemente tratado en ámbitos de la ingeniería de diversa aplicación[29]. Sin embargo, constituye un método de análisis experimental que apenas se ha tenido en cuenta desde el estudio de materiales arqueológicos. Algunas contribuciones recientes incluyen interesantes propuestas de trabajo para el estudio y la cuantificación del desgaste de superficies sólidas a través de la rugosimetría (Procopiou *et alii* 1996: 1183-1192; Zahouani *et alii* 2004: 10-11; Procopiou 2004: 58-61). La rugosimetría mide el grado de rugosidad de una superficie sólida a una escala microscópica. Para ello se parte de la idea de que toda microtopografía está compuesta por la yuxtaposición de protuberancias y anfractuosidades. La rugosidad es la propiedad de la superficie establecida por la relación entre protuberancias y espacios intersticiales situados entre estas últimas. Estas "fluctuaciones" superficiales pueden ser descritas en función de la cantidad específica de asperezas/intersticios, distancia longitudinal y vertical entre las mismas, su medida y su forma. Aunque menos empleada, una propiedad adicional de la superficie puede ser la direccionalidad de las asperezas ("rugosidad orientada"), frecuente en el caso de las superficies afectadas por abrasión, p.ej., molienda (Halling 1975: 18) o corte (Ludema 1996: fig. 4.1). Dicha direccionalidad se describe como la propiedad que hace alusión a una forma asimétrica recurrente de las protuberancias, debida a una dirección determinada en la fricción (Figura 2.1.11)[30].

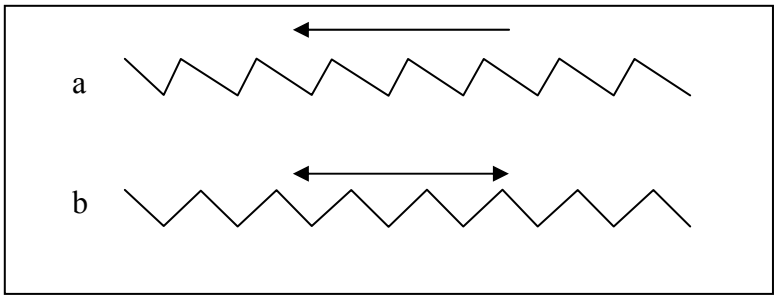


Figura 2.1.11: Ejemplo de "rugosidad orientada" (a) y de "rugosidad no orientada" (b).

Una mejor o peor caracterización de la rugosidad depende de la calidad de los datos destinados a reproducir las propiedades microtopográficas mencionadas arriba. Ello viene directamente determinado por a) el método de medición empleado, es decir, la precisión vertical en sentido vertical, b) los parámetros cuantitativos seleccionados para tal fin y c) la amplitud de los intervalos de medición a lo largo de la superficie o la precisión horizontal.

En cuanto a los métodos de medición, existen básicamente dos tipos, uno táctil y otro óptico, los cuales ofrecen una lectura amplificada de la microtopografía. Los rugosímetros táctiles o los comparadores ofrecen diversos grados de exactitud,

[29] Por poner sólo un ejemplo, citamos aquí la tesis de Aparicio Bádenas 2005, realizada en el ámbito de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica con una propuesta de aplicación en implantes dentales.
[30] Es importante, por lo tanto, explicitar en qué dirección con respecto al movimiento de fricción se realiza la medición de la rugosidad.

dependiendo del tipo de palpador implementado. Los relojes comparadores, también llamados relojes de cuadrante, permiten aproximaciones de hasta 0,01 mm, llegando la resolución de los comparadores de amplificación micrométrica hasta 0,001 mm (Lasheras 1997: 1194-1199). Mientras que el límite de medición de los comparadores se establece allá donde la anchura de su palpador supera la distancia horizontal existente entre las protuberancias de la superficie, los palpadores de rugosímetros más sensibles son incapaces de captar desniveles que superan su propia altura (Figura 2.1.12). En este sentido, los relojes comparadores presentan la ventaja de disponer de palpadores intercambiables de diversas longitudes y grosores, ofreciendo un margen más amplio para adecuarse a los requerimientos del relieve superficial.

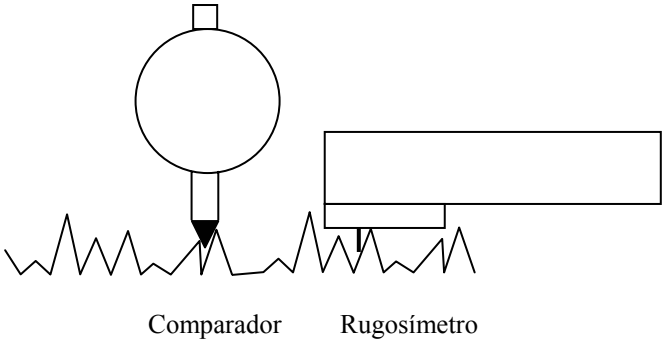
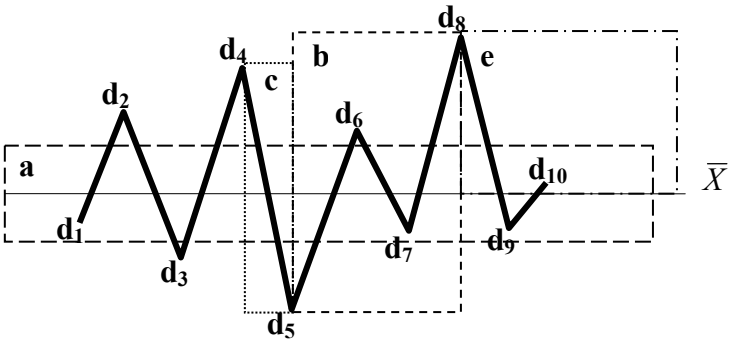


Figura 2.1.12: Posibles situaciones durante la medición de una superficie en las que se muestran los límites de las técnicas táctiles de rugosimetría.

Frente a las técnicas táctiles, los métodos ópticos ofrecen una mayor exactitud (centésimas de micra o cienmilésima de milímetro), aunque resultan mucho más caros. Se trata de rugosímetros de precisión en los que va incorporado un haz de láser o uno de electrones, lo cual supone una disminución del diámetro del elemento medidor y, por consiguiente, una mayor resolución lateral. No obstante, también entre ellos se dan diferencias en la calidad de las mediciones (Aparicio Bádenas 2005, fig: 2.36).

A pesar de las críticas que se realizan desde la ingeniería al uso de los rugosímetros táctiles de cara a las mediciones de la rugosidad sobre materiales metálicos, nosotros hemos tenido en cuenta la naturaleza de nuestras rocas, a menudo mineralógicamente heterogéneas y compuestas por cristales o granos de gran tamaño, muy diferentes, por lo tanto, a los materiales metálicos. Teniendo en cuenta su textura, es previsible un desarrollo de superficies con grandes desniveles a lo largo del programa de ensayos. Por esta razón, al margen de las dificultades para acceder a un instrumento óptico y sofisticado que midiese la rugosidad de las superficies, consideramos la opción del comparador como la mejor solución para realizar las mediciones que nos interesaban.

En cuanto a los parámetros cuantitativos, las medidas comúnmente utilizadas en ingeniería industrial son las siguientes (Figura 2.1.13; Halling 1975: 22):



a) el valor *Ra* mide la desviación estándar sobre la media aritmética en torno a la línea central para una longitud *L* determinada

b) el desnivel total de la rugosidad mide el desnivel entre el punto más alto y el más bajo para la misma longitud *L*

c) el desnivel máximo de la rugosidad mide el mayor desnivel existente entre un punto alto y su correspondiente bajo

d) el valor *Rz* es la altura media de la rugosidad y se calcula midiéndo la distancia media entre los cinco puntos más altos y los cinco más bajos para la longitud *L*

e) el valor *Rp* es la profundidad de alisado que se calcula midiéndo la distancia entre el pico más alto y la media para la longitud *L*.

Figura 2.1.13: Medidas empleadas en la caracterización cuantitativa de la rugosidad superficial.

Dependiendo de las distancias horizontales a las que se realizan estas mediciones, y concretamente, si los intervalos en los que se "descompone" un perfil son demasiado amplios, al trasladar los valores tomados al perfilómetro, puede confundirse una "loma" real por un "pico" (Figura 2.1.14). Por consiguiente, en estos casos, superficies de rugosidades sumamente diferentes podrían coincidir en algunos de los parámetros de rugosidad mencionados.

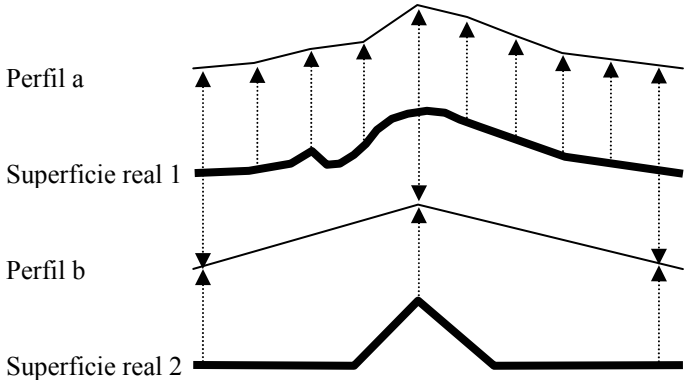


Figura 2.1.14: Efectos de la frecuencia diferencial de medidas a lo largo de una superficie. La superficie 1 ha sido representada con 10 medidas en el perfil a, mientras que el perfil b, compuesto por tres medias ofrece un aspecto de la superficie erróneo. El carácter simplificado del perfil b no permite diferenciar entre dos superficies cualitativamente diferentes (superficies 1 y 2).

En nuestro caso, las superficies a medir parten de materiales de granulometría alta. Teniendo en cuenta las dimensiones del palpador que entra en contacto con ellas, consideramos que la consecución de medidas tomadas cada 1 milímetros, establece condiciones de medición suficientemente precisas para nuestro fin.

De la misma manera que una forma de medir errónea o insuficientemente precisa puede llevar a resultados incorrectos, el propio procesamiento de datos es determinante de cara a una valoración de la superficie ajustada a la realidad. Con el uso de un solo parámetro de rugosidad para caracterizar una superficie específica, p.ej., el valor *Ra*, se puede incurrir en un error de caracterización, ya que dicho valor obvia algunos de los parámetros igualmente definitorios de la rugosidad (p.ej., distancia intersticial), haciendo coincidir perfiles cualitativamente diferentes.

Por lo tanto, como mínimo, es necesaria la conjunción de varios de los parámetros que hemos alistado arriba, de cara a una documentación correcta de la microtopografía y sus irregularidades. En nuestro estudio contemplamos algunos de los parámetros clásicos de la rugosimetría mencionados y añadimos algunos nuevos apoyándonos en otras sugerencias que ya han llegado a proponerse desde la arqueología (Zahouani *et al.* 2004: 11). Por ello, más abajo dedicamos un apartado a la explicación del procesamiento de datos rugosimétricos.

Tras haber definido la forma en la que se miden las dos variables representativas del desgaste de las rocas en procesos de frotamiento, resta ahora por explicitar la relación existente entre ellas y el sentido de tratarlas conjuntamente en la valoración del comportamiento mecánico. Una superficie altamente rugosa sometida a fricción desarrollará, o no, topografías romas (obtusas) dependiendo de su naturaleza material, de la misma manera que una superficie pulida bajo las mismas condiciones puede, o no, desarrollar mayor rugosidad. En el primer caso las asperezas pueden quedar truncadas si permanecen el suficiente tiempo expuestas en la superficie, dando lugar a una microtopografía roma, o bien pueden desprenderse de la matriz rocosa y dar lugar a nuevas asperezas en la superficie (autorrenovación de la superficie). Si las asperezas

iniciales se deforman pero no se separan íntegramente de la matriz rocosa, el desgaste siempre será cuantitativamente menor. Por su lado, una superficie pulida en un material compacto y fuertemente cohesionado, podrá seguir acentuando su condición inicial y no desarrollar rugosidad. Para conseguir valores numéricos de desgaste que se correspondan con la realidad, insistimos, por tanto, en la necesidad de tener en cuenta el volumen de materia perdida durante el ensayo, una vez habiendo sido sometida a la experimentación (Figura 2.1.15). Parámetros numéricos únicos no son suficientes para cuantificar el desgaste, de forma que la observación exclusiva de la superficie, al margen del total de materia perdida, también implicaría una distorsión importante del valor de desgaste.

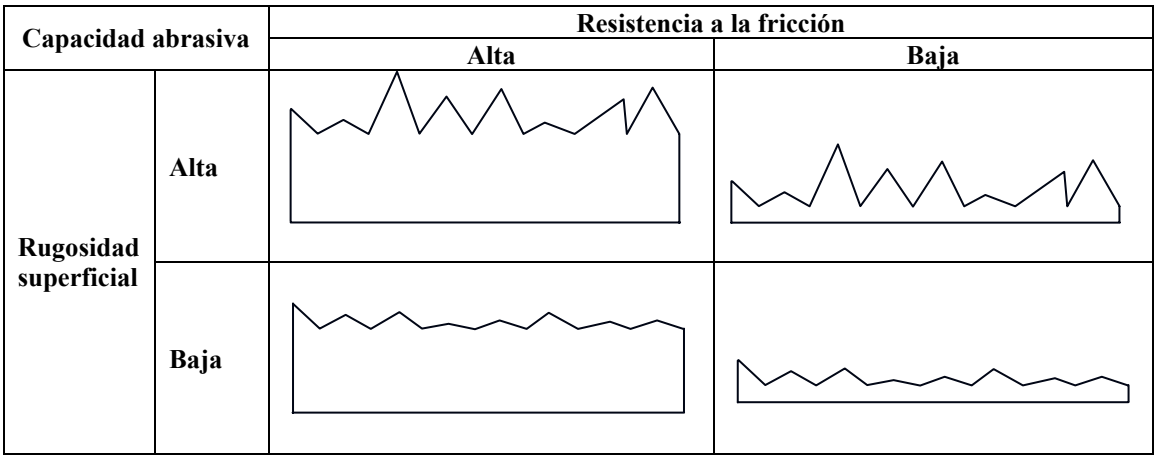


Figura 2.1.15: Ejemplo de la relación entre la deformación plástica de la superficie y la pérdida de materia en una probeta lítica.

Por estas razones, es importante contextualizar la propiedad de la rugosidad en un marco más amplio de análisis, contemplando la rugosidad de la superficie así como el grosor y el peso de la probeta. Es aquí, por tanto, donde se hace posible medir la *capacidad abrasiva* de un material que, como indicábamos arriba, se fundamenta en la relación existente entre la rugosidad y la resistencia al desgaste. Para observar el comportamiento de cada roca a lo largo de los ciclos experimentales y posibilitar una comparación entre ellas, es necesario conocer el punto de partida de cada una de ellas. Esto sugiere la medición de las variables definidas tanto al inicio como al término de cada ensayo con el fin de "controlar" la progresión del desgaste sobre las probetas.

2.1.5 Resistencia a la flexión

Los artefactos prehistóricos, además de participar en tribosistemas, se incorporan a menudo a otro tipo de sistemas mecánicos, como son los percusivos. En el funcionamiento de rocas solicitadas para trabajos de percusión, la demanda de las propiedades petrográficas es diferente. Al igual que en los tribosistemas, la rugosidad puede o no interesar, en función del tipo de superficies que se quieran obtener por percusión. Por ejemplo, para elaborar una superficie abujardada se requerirá de un frente de percusión compuesto de abundantes dientes, mientras que para laminar una chapa de cobre la superficie del frente del martillo deberá carecer de rugosidad. Sin embargo, todas ellas tienen en común la imprescindibilidad de una alta resistencia a la

percusión, si se quiere evitar la alteración morfológica del frente por pérdida de materia o fractura total del artefacto.

La dureza de los materiales es una característica física que comúnmente se relaciona con su resistencia mecánica en procesos compresivos (Lama y Vutukuri 1978a: 318-4 53; 1978b: 281). Esta propiedad puede definirse en dos escalas diferentes (Caubet 1971: 88-92). La primera hace alusión al poder de un mineral de rayar otro material o de no ser rayado por él. Esta propiedad ha sido contemplada entre las variables intrínsecas de la roca, estimando un valor *Gpa* medio ponderado que incluye las durezas de todas las mineralogías presentes en la roca (ver arriba). La segunda es relativa a la "microdureza mecánica", la cual indica el poder del material de oponerse a la penetración de un cuerpo sólido en su superficie, bajo diversas condiciones mecánicas de incidencia. Son varios los métodos que sirven para estimar experimentalmente esta propiedad, en función de los cuales los resultados se especifican en valores Brinell, Vickers, Rockwell, Knoop etc.[31] Ambos tipos de mediciones tienen por objeto la dureza de una fracción mínima de la roca, sea ésta un componente mineral o una zona determinada de la superficie de la misma.

Teniendo en cuenta que los artefactos macrolíticos percusivos analizados en los inventarios prehistóricos fueron sometidos a impactos más o menos violentos que conducían a menudo a la pérdida masiva de volumen o a la fractura total del soporte, consideramos más adecuado aplicar técnicas orientadas a caracterizar el comportamiento mecánico de la roca a nivel global, de forma que también puedan ponerse a prueba otras características petrográficas además de la dureza. Se trata de los ensayos de compresión y de flexión (Vutukuri *et alii* 1974; Lama y Vutukuri 1978a; Lama y Vutukuri 1978b; Lama y Vutukuri 1978c; Zoghlami 2003).

Los resultados obtenidos a raíz de los ensayos de compresión indican que no es necesariamente la dureza la que determina la resistencia de las rocas y que otras características petrográficas como la textura o la granulometría pueden condicionar igualmente su comportamiento. Así, entre las litologías más resistentes se mencionan cuarcitas, basaltos, rocas ofíticas y areniscas silíceas (Deere y Miller 1966: 275; Lama y Vutukuri 1978c: 223). En un segundo grupo se incluyen la mayoría de las rocas ígneas de grano grueso (granitos, granodioritas), las rocas metamórficas más resistentes y algunas areniscas, calcáreas y dolomías igualmente resistentes. Les siguen las areniscas y las calcáreas de resistencia media junto con las rocas metamórficas de textura esquistosa, tales como esquistos con clorita, esquistos con moscovita y esquistos con talco. En último lugar, figuran materiales que oponen muy poca resistencia a la compresión, esto es, carbón, limonitas, talco, sales y arcillas. Por su lado, el conglomerado tampoco resulta un material resistente, a excepción de encontrarse bien cementado. Las rocas resistentes a la compresión son las que generalmente presentan un mayor módulo de deformación. La mayoría de las rocas ígneas se caracterizan por un módulo medio y lo mismo ocurre en la mayoría de las rocas sedimentarias y metamórficas, si bien las arcillas tienden a un módulo de deformación bajo y los mármoles a un módulo alto (Deere y Miller 1966: 279). Los experimentos de compresión con rocas naturales también destacan la porosidad abierta como una

[31] Existen tablas de conversión de escalas de microdureza mecánica que permiten calibrar un valor determinado a su correspondiente en otras escalas. Algunas de estas tablas de conversión pueden consultarse en : http://www.inoxidable.com/tablas_utiles.htm; http://www.peu.net/dureza.html

característica que va en detrimento de la resistencia (Lama y Vutukuri 1978c: figs. 12-15 y 12-16).

Las pruebas realizadas a efectos de este trabajo se han concentrado en el ensayo de flexión, modalidad que también incorpora procesos de deformación de la roca, previos a su fractura. Partiendo del presupuesto de que las rocas son cuerpos sólidos que presentan una plasticidad y elasticidad [32] muy bajas pero variables según las características petrográficas, proponemos la medición de su *carga de rotura* como un parámetro que ayuda a explicitar sus propiedades mecánicas frente a una sobrecarga que presiona sobre ella de manera continuada y acumulativa. Dicho parámetro es en sí mismo un resultado del programa experimental (variable de control) por ensayos mecánicos que presentamos más abajo y se mide en kilogramos. Las variables intrínsecas que hemos puesto a prueba en este tipo de ensayo coinciden plenamente con las descritas arriba (elemento 1).

2.1.6 Resumen

Vistos el alto nivel de heterogeneidad petrográfica que introducen los materiales macrolíticos explotados durante la prehistoria y la escasez de precedentes en estudios funcionales correspondientes, se hace necesario avanzar en un análisis orientado a destacar el nexo existente entre la naturaleza litológica y el comportamiento mecánico de estos materiales. En el actual estado de la cuestión los ensayos diseñados así como los parámetros analíticos desarrollados en ingeniería industrial para el mayor conocimiento de los mecanismos de desgaste, nos ofrecen la posibilidad de estudiar el comportamiento material de los litotipos a través de sistemas mecanizados. Dichos programas experimentales están muy lejos de reproducir los propios procesos de trabajo prehistóricos, por consiguiente, no nos puede interesar documentar el desarrollo cualitativo del desgaste que afecta al material, en cuanto que las condiciones de experimentación poco tienen que ver con los procesos productivos reales llevados a cabo por las comunidades prehistóricas. El potencial informativo que nos brindan los experimentos de resistencia de materiales radica mucho más en la posibilidad de cuantificar las reacciones de dichos materiales frente a condicionantes externos comunes (tiempo, carga, velocidad, etc.). Someter una muestra de los litotipos representados en el depósito arqueológico a condiciones idénticas de experimentación mecánica, puede facilitarnos una base fundamental a partir de la cual poder describir y comprender mejor la relevancia de cada propiedad mecánica del material en la formación del desgaste.

En experimentos replicativos de tareas de producción prehistóricas es muy difícil controlar cualquier cambio en la mayoría de los parámetros operacionales. Dentro de los límites que establece una sola acción de tipo determinado llevada a cabo por un agente humano pueden darse cambios en las siguientes propiedades del tribosistema (Blau 1996: 253):

- velocidad de movimiento de percusión o de abrasión
- temperatura de fricción
- lubricante o abrasivo (por pérdida o adición)

[32] La *plasticidad* alude a la capacidad de deformarse sin romper; la *elasticidad* es la propiedad de un cuerpo sólido de recuperar su forma original.

- producción de nuevas partículas erráticas debidas a fatiga durante experimento
- fuerza del operador
- plano de inclinación de alguna superficie o dirección de deslizamiento
- carga

Frente a ello los experimentos mecánicos realizados en el laboratorio permiten evitar o, en el caso en que se den, documentar los cambios que acontecen en el transcurso del mismo.

A través de la tribología pretendemos

a) cuantificar el desgaste de diversas rocas representadas en nuestros inventarios arqueológicos,
b) poner a prueba la relevancia (naturaleza condicionante) de las variables definitorias de cada litotipo en la resistencia de éstos a la flexión y a la fricción,

Para aplicar de manera coherente y eficaz dicho análisis se requiere de la siguiente metodología:

a) caracterización, a través de una descripción estandarizada por lámina delgada y su correspondiente ficha descriptiva, de las propiedades petrográficas (variables intrínsecas) de los litotipos representados en la muestra;
b) sometimiento de los litotipos en forma de probeta a los experimentos de resistencia de materiales, aplicando de una serie de parámetros operacionales (variables controladas) y realizando una lectura sobre las variables de control que se obtendrán al término de cada experimento;
c) contrastación de los resultados mediante experimentación con réplicas (artefactos experimentales), dirigiendo el análisis de huellas de desgaste hacia las variables que han destacado como significativas en la formación de las mismas durante los experimentos con las probetas. Este último apartado, el de la experimentación, constituye un campo metodológico en sí mismo, por lo que se presenta en este trabajo como capítulo aparte.

A continuación resumimos las variables intrínsecas, controladas y de control que hemos tratado en este capítulo y que pasan a formar parte de la ficha técnica que caracterizará cada litotipo. Las propiedades intrínsecas y las variables de control, se consideran relevantes para realizar una aproximación al comportamiento mecánico de los litotipos que aquí estudiamos (Figura 2.1.16). Cada una de estas características se refiere a niveles de análisis diferentes, por lo que se han obtenido mediante diversas técnicas analíticas (macroscópica o microscópica) y en momentos distintos del análisis (antes, durante y/o después del ensayo). Como ya hemos especificado anteriormente, todas las variables petrográficas (variables intrínsecas) entran en el análisis como variables potencialmente condicionantes del desgaste, poniéndose a prueba su implicación en el mismo. El resto son variables de control las cuales siendo en sí mismas el resultado que se obtiene al término de cada experimento, permiten cuantificar el desgaste a través del peso, el grosor y la rugosidad superficial.

Variables	Probeta	Lámina delgada	Antes del experimento	Durante el experimento	Después del experimento
Densidad aparente*	x		x		
Densidad real*	x		x		
Porosidad abierta*	x		x		
Homogeneidad composicional*		x	x		
Dureza mineralógica media*		x	x		
Porosidad*		x	x		
Homogeneidad granulométrica*		x	x		
Textura A*		x	x		
Textura B*		x	x		
Angulosidad*		x	x		
Orientación*		x	x		
Cohesión*		x	x		
Matriz*		x	x		
Peso·	x		x	x	x
Grosor·	x		x	x	x
Rugosidad·	x		x	x	x
Carga de rotura·	x				x

Figura 2.1.16: Características que definen la naturaleza de las rocas y los minerales contenidos en ellas. * : variables intrínsecas; · : variables de control. Se indica también la forma en la que se obtiene cada información (a través de lámina delgada o del a propia probeta) así como el momento en el que tiene lugar la observación.

2.1.7 Descripción de las máquinas de ensayo

Una vez se ha definido la estructura de la información de la que se dispone para realizar una lectura del desgaste mecánico sobre rocas, dedicamos el presente capítulo al funcionamiento de las máquinas utilizadas para generar el desgaste sobre las mismas.

En relación al tipo de acción o movimiento, hemos procurado utilizar máquinas que dispusiesen los materiales en relación motriz semejante a la conocida para los artefactos macrolíticos. Durante las tareas productivas de la prehistoria se realizaron toda una serie de acciones como horadar, perforar, moler, cortar, raer, percutir, alisar etc. Mientras que muchas de estas acciones se llevaron a cabo con ayuda de artefactos líticos tallados o artefactos de metal, para otras se utilizó material macrolítico, como es en el caso de alisar, moler o percutir. En este sentido, los ensayos de caracterización mecánica de las rocas se centran en dos aspectos que caracterizan a una roca: la capacidad abrasiva y la resistencia a la flexión. En el primer caso, se implementaron dos máquinas de ensayo, cualitativamente diferentes, el PEI (*Porcelain Enamel Institute*, USA) y la pista Dorry; en el segundo caso las rocas se sometieron a una máquina uniaxial de fuerza. Las variables de control que se obtienen al término de cada ciclo experimental dependen del tipo de máquina de ensayo (Figura 2.1.17):

Máquina de ensayo	Valor medido
Prensa (resistencia a la flexión)	Carga de rotura (valor mínimo de la fuerza por unidad de superficie que rompe la pieza)
Pista Dorry (capacidad abrasiva)	Índice de rugosidad y volumen perdido por unidad de tiempo
PEI (capacidad abrasiva)	Índice de rugosidad y volumen perdido por unidad de tiempo

Figura 2.1.17: Tipo de medidas obtenidas en cada máquina de ensayo.

Prácticamente todos los litotipos fueron sometidos a cada uno de los tres tipos de ensayo para lo cual las rocas tuvieron que ser conformadas como probetas de medidas y formas geométricas estandarizadas. A continuación se describen brevemente las tres máquinas de ensayo que fueron puestas a disposición de este trabajo de investigación por la empresa Applus-Certification Technological Centre[33], deteniéndonos en su morfología y en las piezas accesorias de las mismas, el tipo y las condiciones del movimiento, la métrica de las probetas requeridas en cada una de ellas y, por último, las variables medidas al término de cada ciclo experimental. Otras informaciones referentes a la marca, el modelo etc., pueden consultarse en las normas que se indican igualmente en los apartados correspondientes.

1) Pista Dorry

Norma: UNE-22-173-85 (IRAM 1539; 1522).

Morfología y accesorios (Figura 2.1.18): El experimento realizado con esta máquina de ensayo según la norma, se implementa para medir la resistencia al desgaste por rozamiento de azulejos. Para ello se someten unas probetas de determinadas dimensiones a ciclos de rozamiento mediante una pista de acero giratoria conectada a un motorreproductor de 2 cv de potencia. Dicha pista está provista de un bastidor situado, en paralelo y diametralmente sobre ella, el cual presenta un portaprobetas en cada extremo, sujeto a la parte inferior de un eje que atraviesa el bastidor perpendicularmente. Ambos ejes están unidos a un sistema de pesas, que en nuestro caso suman 20 kg de carga, la cual actúa sobre la probeta durante el ensayo[34]. Adicionalmente se encuentran varios dispositivos para almacenar el material abrasivo y el agua, con llaves que permiten su regulación. En nuestro caso, a lo largo del ciclo experimental no hicimos uso de agua y el abrasivo que empleamos en forma de 25 gramos de corindón en fracción fina, se aplicó manualmente.

[33] Agradecemos a Juan Martínez por haber puesto a nuestra disposición la maquinaria necesaria para realizar los ensayos.

[34] Con ayuda de una báscula hemos podido comprobar que la carga que aplica una persona adulta de rodillas, en posición de molienda, sobre la superficie de trabajo es de aproximadamente 20 kg. Este valor de carga se mantuvo los ensayos tribológicos.

Figura 2.1.18: La pista Dorry empleada en los ensayos de fricción.

Una vez fijada la probeta en el plato y posicionarla, nivelada con la superficie de la pista, se fija el número de vueltas deseadas, tras las cuales la máquina se para automáticamente.

La pista que empleamos permitía la fijación de una sola probeta en cada accionamiento de la máquina, por lo que los ciclos tuvieron que realizarse individualmente. Las probetas sometidas a desgaste son las siguientes: CGL-1, MEG-1, ARE-1, ACAf-1, GAB-1, CORm-1, CORf-1, GNE-1, MAR-1, BAS-1.

Tipo y condiciones del movimiento: La pista realiza giros a 30 rpm. Durante este movimiento, la probeta, posada sobre ella, bien puede quedar fija o bien puede girar sobre su propio eje. Cada probeta se somete a cinco ciclos de rozamiento de idéntica duración (15 vueltas), bajo carga constante (20 kg) y añadiendo en cada ciclo una cantidad de abrasivo similar (25 gramos). En el primer ciclo únicamente se acciona la pista, quedando la probeta inmóvil, mientras que en el resto de los ciclos son ambas, pista y probeta, que giran (Figura 2.1.19).

Momento	Total revoluciones	Condiciones cinemáticas
0	-	-
1	15	Girando sólo la pista
2	30	Girando la pista y la probeta (sobre su eje)
3	45	
4	60	
5	75	

Figura 2.1.19: Parámetros operacionales que condicionan los cinco ciclos experimentales realizados con la pista Dorry sobre cada litotipo.

Métrica requerida de las probetas: 70x70x30 mm (Figura 2.1.20).

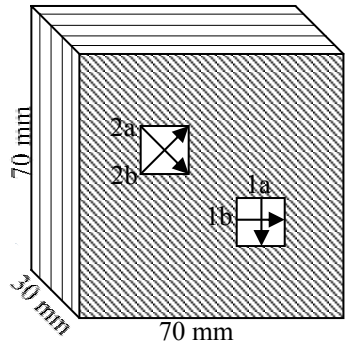


Figura 2.1.20: Ilustración de la probeta conformada para la pista Dorry. Las líneas laterales indican la disposición de la orientación de los minerales en las rocas, en aquellos casos en los que ésta existe. El área tramada representa la zona de desgaste que se muestrea mediante dos cm^2 a través de los cuales se realiza la rugosimetría en diversas direcciones, obteniéndose un total de cuatro perfiles.

Variables de control: Al inicio de cada ciclo se miden las siguientes variables representativas del momento anterior al mismo: el grosor en mm y el peso en gramos de la probeta, y se calcula el índice de rugosidad de su superficie. Para ello la probeta es limpiada previamente bajo agua y secada en un horno de cocina a unos 90ºC.

Cada una de las variables de control se mide mediante diversos instrumentos. El peso se obtiene en una báscula que indica los gramos con una precisión en términos de centésimas, mientras que el grosor de las probetas se mide con un calibre digital. Para realizar las mediciones rugosimétricas se acondiciona un comparador de cuadrante[35], que indica igualmente centésimas de milímetro, fijado a un eje horizontal, a través del cual se desplaza horizontalmente[36] (Figura 2.1.20). Ambos, eje horizontal y superficie de la probeta, se nivelan con ayuda de un nivel de agua. A continuación, se sitúa sobre la probeta una plantilla de plástico, previamente cortada, que ayuda a ubicar sistemáticamente las áreas de muestreo a lo largo de la superficie desgastada, coincidiendo éstas en todos los ciclos. Las áreas de muestreo que hemos tenido en el tipo de probeta correspondiente a la pista Dorry son dos, con un área de 1 cm^2 por unidad (Figura 2.1.21). En cada una de ellas se realizan dos perfiles a través de la topografía. En el área 1 los perfiles se disponen verticalmente (A) y horizontalmente (B), mientras que en el área 2 los perfiles trazan diagonales a partir del extremo superior izquierdo (a) y a partir del extremo inferior izquierdo (b). Teniendo en cuenta que tomamos una medida vertical con el comparador a cada milímetro de progresión horizontal sobre el perfil, en el área 1 obtenemos dos perfiles (1A, 1B) de 10 valores cada uno, mientras que en el área 2 obtenemos dos perfiles (2a, 2b) de 14 valores cada uno. Al inicio de cada perfil el comparador se calibra a cero obteniéndose a partir de ahí cotas absolutas en relación al mismo.

[35] El comparador, de la marca Borletti, se obtuvo gracias a la amabilidad de Francisco Cuervas, Personal de Administració i Serveis del Departamento de Mecánica de la UPC – Campus Terrassa, quien lo donó a efectos de este trabajo.

[36] Consideramos el orden de magnitud de 0,01 mm de precisión suficiente para realizar mediciones rugosimétricas sobre las rocas analizadas. Por un lado, los altos desniveles que se han obtenido en algunas de ellas escapan a las posibilidades que brindan rugosímetros de alta precisión, habitualmente empleados en la medición de superficies metálicas o pulidas como es el caso de las lentes.

Figura 2.1.21: Comparador utilizado en las mediciones rugosimétricas.

2) PEI (Porcelain Enamel Institute) o MCC (Método Centro Cerámico)

Norma: UNE-EN-ISO 10545-7

Morfología y accesorios (Figura 2.1.22): Se trata de una máquina comúnmente empleada en la observación cualitativa del desgaste de baldosas cerámicas esmaltadas de cara a la resistencia que oponen a la fricción. Su carcasa cilíndrica alberga un motor eléctrico que acciona un soporte horizontal sobre el cual se dispone un máximo de 9 probetas. Sobre cada probeta se coloca una cazoleta metálica provista de juntas de goma que se ajusta a dos tornillos unidos al soporte horizontal de la máquina. Dichas cazoletas dejan un espacio cilíndrico de 83 mm de diámetro y 25,5 mm de altura sobre la zona central de la probeta. Es este espacio el que acogerá la materia abrasiva a través de una abertura en su parte superior, que cubrirá un área aproximada de 54 cm^2 de la superficie lítica.

El material abrasivo vertido sobre cada probeta se compone de 300 gramos de bolas de acero de 5 mm de diámetro, 6 gramos de corindón (fracción fina) y 15 ml de agua desonizada.

Figura 2.1.22: El PEI empleado en los ensayos de fricción.

Una vez fijadas las probetas y dispuestos los aditivos abrasivos, la máquina se cubre con una tapa, se predetermina el número de revoluciones deseadas para el ciclo experimental y se activa el mecanismo. Tras completar el ciclo la máquina se para automáticamente.

Dada capacidad de la máquina de acoger un total de 9 probetas, cada uno de los ciclos pudo hacerse para todas las probetas a la vez, ya que constábamos de 9 litotipos preparados para este experimento: CGL-2, MEG-2, ARE-2, ACAf-2, GAB-2, CORm-2, CORf-2, GNE-2, MAR-2.

Tipo y condiciones del movimiento: El soporte con las probetas fijadas por las abrazaderas gira a 300 rpm una excentricidad de 22,5 mm. De esta manera, cada probeta describe un movimiento circular de 45 mm de diámetro mientras que la carga abrasiva rueda sobre la superficie de la probeta, aleaoriamente.

Se aplica un total de cinco ciclos con una carga abrasiva constante y un número de revoluciones añadido en cada ciclo también de manera constante, a excepción del primer ciclo que es más corto que el resto (Figura 2.1.23):

Momento	Tiempo total (minutos)	Total revoluciones	Condiciones cinemáticas
0	-	-	-
1	5	1500	La mezcla abrasiva rueda aleatoriamente sobre las probetas
2	15	4500	
3	25	7500	
4	35	10500	
5	45	13500	

Figura 2.1.23: Parámetros operacionales que condicionan los cinco ciclos experimentales realizados con el PEI sobre cada litotipo.

Métrica requerida en las probetas: 100x100x10 mm

Variables de control: Como en el caso de la pista Dorry, al inicio de cada ciclo la probeta es limpiada bajo agua corriente y a continuación secada para medir posteriormente el grosor, el peso y el índice de rugosidad. En este caso, el grosor de las probetas no pudo medirse con un calibre debido a que la zona desgastada se sitúa en el centro de la probeta, quedando los bordes de la misma intactos. Por lo tanto, se implementó un craneómetro o compás de exteriores, cuyo uso es muy habitual en la obtención de la métrica craneal en antropología física y está indicado también para nuestro caso.

Con respecto a la rugosimetría, se tomaron dos perfiles en cuatro cm^2 (Figura 2.1.24) En el punto central los perfiles se orientan longitudinal y horizontalmente (1A, 1B); en los puntos más periféricos de la zona desgatada los perfiles se disponen diagonalmente (2a, 2b, 3a, 3b, 4a, 4b). Con ello se obtiene un total de ocho perfiles, dos compuestos por diez mediciones a intervalos de 1 mm y seis compuestos por 14 mediciones a intervalos idénticos.

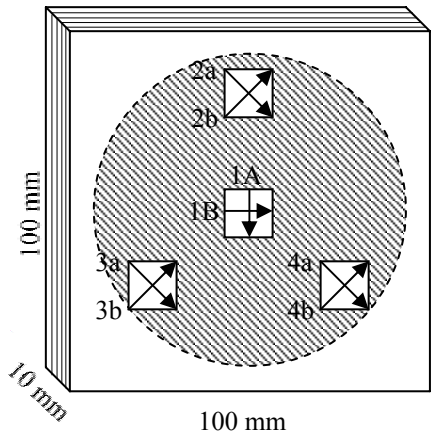


Figura 2.1.24: Ilustración de la probeta conformada para el PEI. Las líneas laterales indican la disposición de la orientación de los minerales en las rocas, en aquellos casos en los que ésta existe. El área tramada representa la zona de desgaste que se muestrea mediante cuatro cm^2 a través de los cuales se realiza la rugosimetría en diversas direcciones, obteniéndose un total de ocho perfiles.

3) 105321 – Prensa o Máquina uniaxial de fuerza

Norma: UNE-EN 12372, UNE-EN 7500-1 y UNE-EN 12390-4

Morfología y accesorios (Figura 2.1.25): El equipo de ensayo consta de una prensa capaz de ejercer un máximo carga de 2000 kg sobre la muestra y es normalmente utilizado para realizar ensayos de compresión. La prensa va conectada a un dispositivo de control de fuerza, el cual permite aplicar una carga determinada en intervalos temporales de diversa amplitud, comprendiendo los límites de 0,1 kg/seg. a 500 kg/seg. Al tratase en el caso de las rocas de un material de elasticidad y plasticidad prácticamente nulas, resulta más adecuado hacer uso de velocidades muy bajas de adición de carga, por lo que fijamos una dosis de 5 kg/seg. La máquina dispone adicionalmente de un segundo control para medir posibles deformaciones del material

durante el ensayo, mediante el desplazamiento de un comparador conectado a la superficie de la probeta. El margen de medición de dicho dispositivo es de 01 mm/min. a 100 mm/min. Todo ello va vinculado a un programa informático del entorno Windows que permite generar gráficos de progresión a lo largo del experimento.

Para poder realizar el ensayo de flexión es necesario instalar una serie de útiles opcionales que ofrece la máquina. El dispositivo de flexión se compone de una mesa de flexión de 600x10000 mm, dos rodillos inferiores y un rodillo superior vinculado a la prensa.

Figura 2.1.25: La prensa empleada en los ensayos de flexión.

Las probetas sometidas a desgaste son las siguientes: CGL-3, MEG-3, ARE-3, ACAf-3, CORm-3, CORf-3, GNE-3, MAR-3, BAS-3.

Tipo y condiciones de movimiento: La probeta se sitúa sobre los dos rodillos inferiores, los cuales están a una luz de 8 cm (Figura 2.1.26). A continuación se acerca el rodillo conectado al brazo de carga y se estabiliza sobre la superficie superior de la probeta, de manera que éste quede totalmente posado sobre ella. Una vez establecidas estas condiciones se inicia la sobrecarga en sentido perpendicular a la superficie, hasta que se supera el límite de flexión de la probeta y ésta rompe.
Especialmente en este ensayo es de suma importancia el posicionamiento de la probeta. Las rocas que constan de una orientación preferente de sus componentes minerales, deben mantener la misma disposición en relación a la carga, si han de ser comparadas entre sí. La fuerza puede aplicarse perpendicularmente, paralelamente o perpendicularmente al canto de los planos de anisotropía. En nuestro caso se optó por la primera opción en todos los casos con orientación preferente, ello requiere que las probetas hayan sido cortadas previamente de forma correcta, tal y como se ilustra en la figura 27.[37]

[37] Durante el trabajo realizado en Applus supimos de la existencia de un segundo tipo de ensayo de caracterización de la resistencia a la carga puntal o *Point Load Test* (Norma Franklin NLT-252/91), que resulta apropiado para rocas naturales como las que nos interesan en este caso. Consiste en una máquina provista de dos puntas cónicas que inciden, sobre el mismo eje, por el anverso y el reverso de una probeta hasta que ésta se fractura. Este ensayo permite la utilización de diversas formas, dimensiones y

Métrica requerida en las probetas: 100x40x40 mm

Variables de control: carga de rotura en kg.

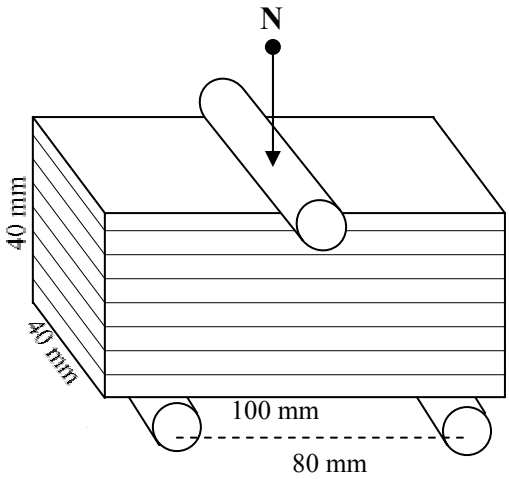


Figura 2.1.26: Disposición perpendicular de los planos de anisotropía en relación a la aplicación de la carga.

2.1.8 Resultados de los ensayos

Todos los resultados se recogen en dos tipos diferentes de fichas técnicas que se complementan entre sí (Figura 2.1.27). La primera ficha tiene carácter general y en ella se recogen las variables intrínsecas de nuestras rocas, que son los datos petrográficos, así como los resultados tribológicos genéricos, como resumen de los ensayos realizados con cada litotipo. La segunda ficha es específica de cada experimento y cada probeta, incluyéndose en ella la definición de los parámetros del tribosistema y los resultados desglosados en ciclos experimentales (anexo 1). Dado que el resultado del ensayo de resistencia a la flexión se reduce a un solo dato (carga de rotura), éste se anota directamente en la ficha general, sin que sea necesario el uso de una ficha específica. En el caso de algunas rocas, las exigencias métricas de las probetas no hicieron posible su representación en uno de los experimentos. En consecuencia, cada litotipo consta de una ficha general y una o dos fichas específicas.

---

disposiciones de las probetas, dependiendo de las cuales el ensayo será diametral, axial, de bloque o sobre un fragmento irregular de roca. Y lo que es más importante, a través de él podemos caracterizar la capacidad de la roca de soportar cargas específicas en múltiples puntos, sin tener que desechar la probeta, al término de la primera fractura. Ello facilita en gran medida el reaprovechamiento de probetas fracturadas eligiendo diversas zonas de carga a lo largo de la misma superficie, así como la aplicación de la carga en varias direcciones en relación a la orientación de los minerales contenidos en la roca. Aunque por razones de tiempo, este ensayo no pudo realizarse con nuestros materiales líticos, las prestaciones y ventajas que el mismo ofrece nos llevan a considerarlo para trabajos futuros.

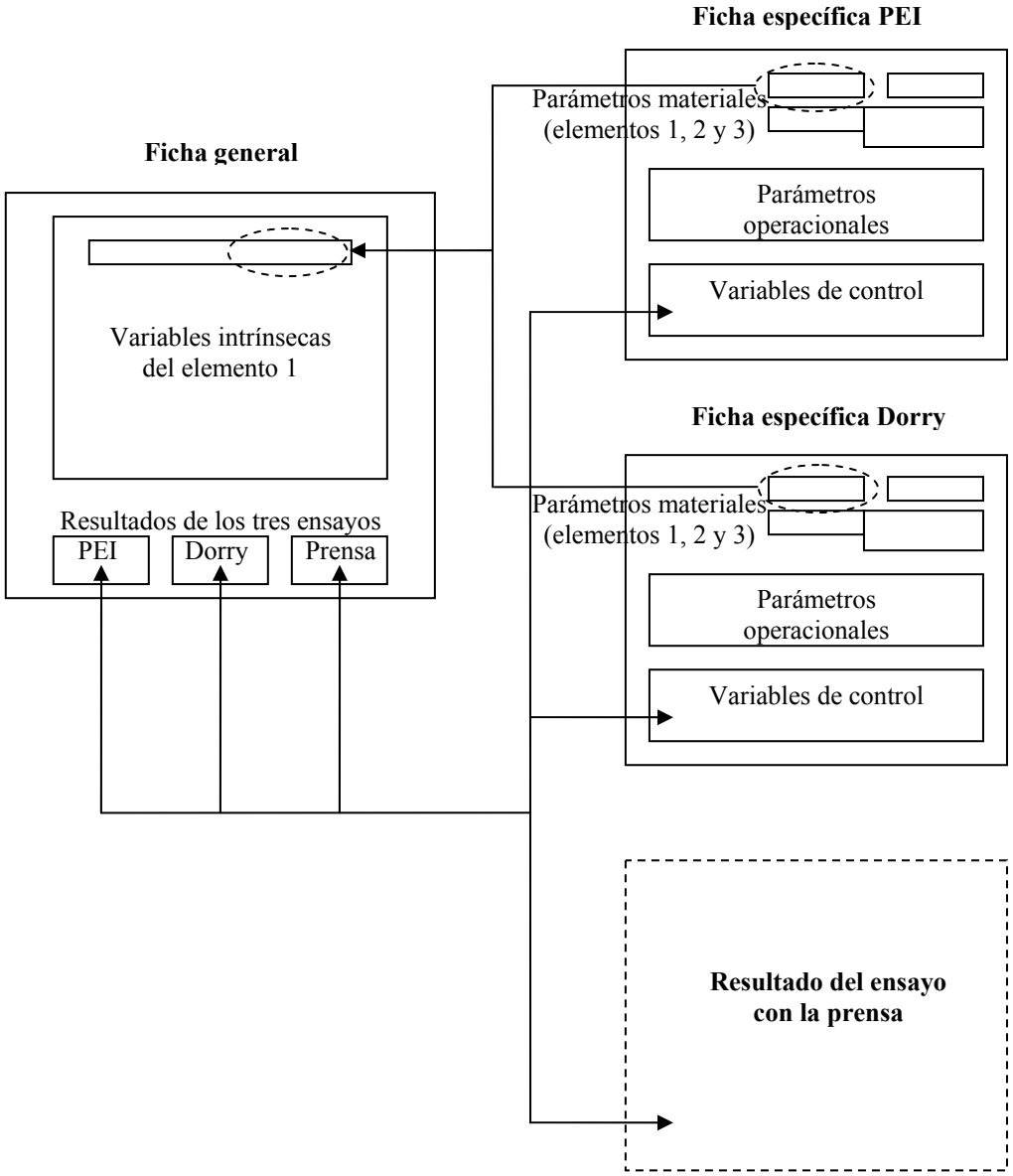


Figura 2.1.27: Esquema de los dos tipos de fichas técnicas (general y específica) y su relación complementaria.

Antes de pasar a exponer el contenido de las fichas y los resultados obtenidos, presentamos a continuación una relación del número de fichas generadas por cada experimento y cada litotipo (Figura 2.1.28). En el capítulo que sigue describimos detenidamente los diez litotipos considerados en los experimentos.

Nombre genérico de las rocas	Máquinas de ensayo			
	Dorry	PEI	Prensa	Total ensayos
Conglomerado (CGL)	x	x	x	3
Micaesquisto granatífero (MEG)	x	x	x	3
Mármol (MAR)	x	x	x	3
Arenisca (ARE)	x	x	x	3
Corneana de grano medio (MORm)	x	x	x	3
Corneana de grano fino (CORf)	x	x	x	3
Gneis (GNE)	x	x	x	3
Calcarenita de grano fino (ACA)	x	x	x	3
Gabro (GAB)	x	x		2
Basalto vesicular (BAS)	x		x	2
Total	10	9	9	28

Figura 2.1.28: Relación de fichas obtenidas por cada litotipo y cada experimento.

2.1.8.1 Resultados del análisis petrográfico y presentación de los litotipos: variables intrínsecas

Entre los litotipos incluídos en la muestra están representadas rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas que fueron seleccionadas por su importancia en los inventarios arqueológicos del SE peninsular y las islas baleares. Con el fin de acceder al material necesario para conformar las probetas, hemos recurrido principalmente a objetos arqueológicos procedentes de yacimientos almerienses y murcianos que por su condición descontextualizada o fragmentada se prestaban a estos efectos. Con ello se pretende experimentar directamente sobre materiales que en algún momento han consituido instrumentos prehistóricos de producción. Éste es el caso del conglomerado, el micaesquisto granatífero, la arenisca y el gneis.

La recogida de material apto para los ensayos en inmediaciones de yacimientos arqueológicos ha acontecido en el caso de la calcarenita, la cual se encuentra en abundancia en la llanura mallorquina, cerca del yacimiento de Son Fornés. Algo similar ha ocurrido con el mármol, para cuya obtención se acudió a una marmolería del Vallès, en la que hemos podido acceder a mármol de Macael. En esta zona almeriense hoy día sigue explotándose material para fines industriales pero muy probablemente constituyó una de las principales fuentes de abastecimiento en época prehistórica, ya que una parte importante de los materiales de este afloramiento se distribuye a lo largo de la cuenca del Almanzora, llegando a las inmediaciones de yacimientos de la prehistoria reciente, y representando en ellos uno de los litotipos más abundantes.

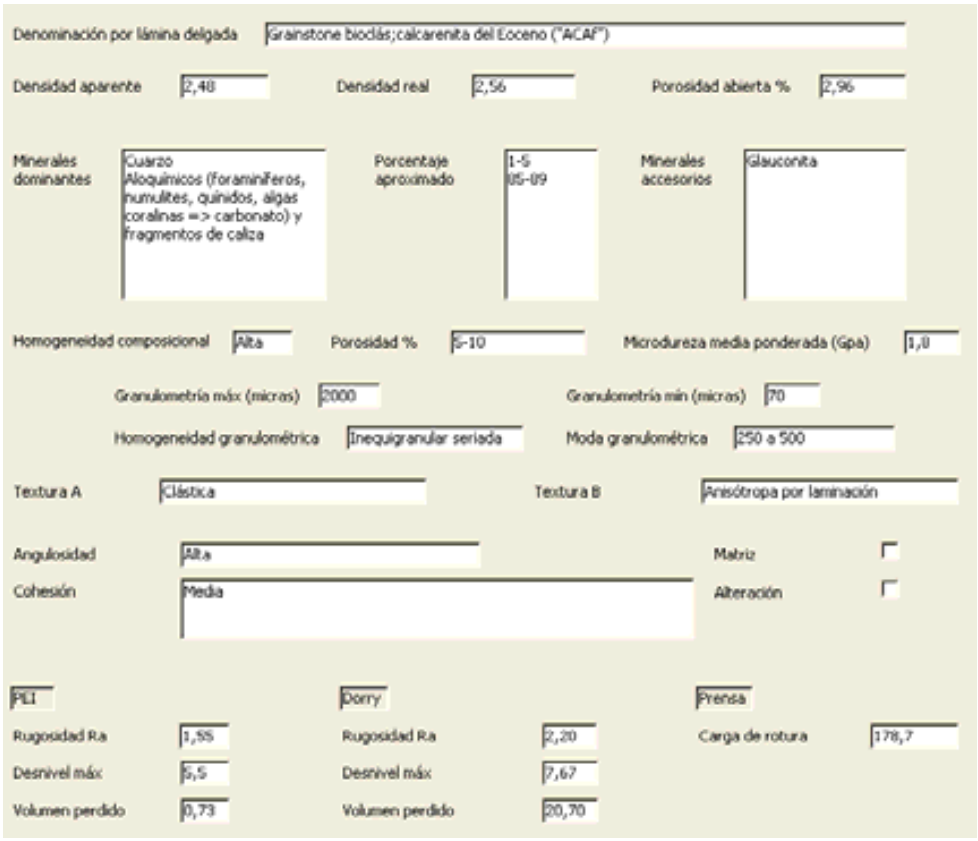
Para obtener muestras de las rocas ígneas, el gabro y el basalto vesicular, nos encontramos ante la dificultad de cumplir con las exigencias métricas de las probetas. Los cantos rodados recogidos en los lechos de los ríos del SE no eran suficientemente grandes para ello, por lo que decidimos buscar litotipos petrográficamente análogos en otros lugares de la geografía. La naturaleza básica de las lavas así como el tipo de volcanismo de la zona de la Garrotxa, han formado materiales extrusivos muy similares a los que encontramos en las regiones de Cartagena y el Cabo de Gata, en el SE peninsular. En dicha zona del volcanismo catalán pudimos obtener un bloque suficientemente grande para conformar probetas de basalto vesicular. En cuanto a la

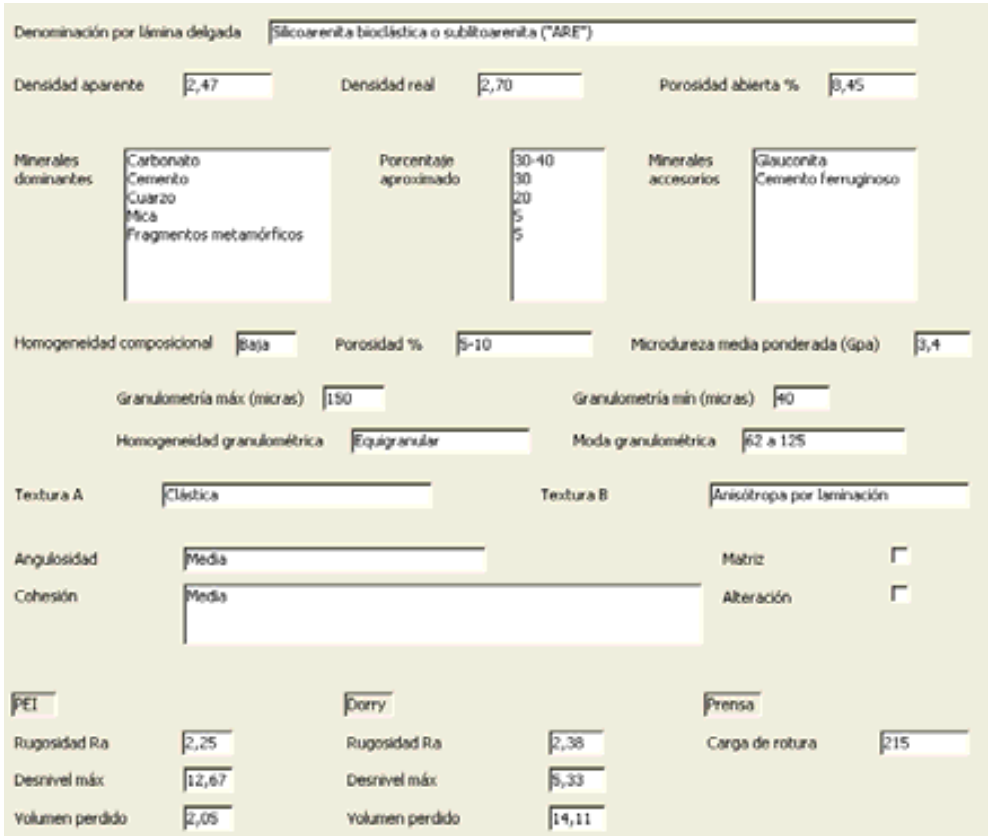
segunda roca ígnea del repertorio experimental que presentamos en este capítulo, el gabro, hemos incluido el tipo "negro Sudáfrica", tal como se conoce en el mercado, dado que las características composicionales y granulométricas son muy similares a las rocas empleadas en el SE peninsular.

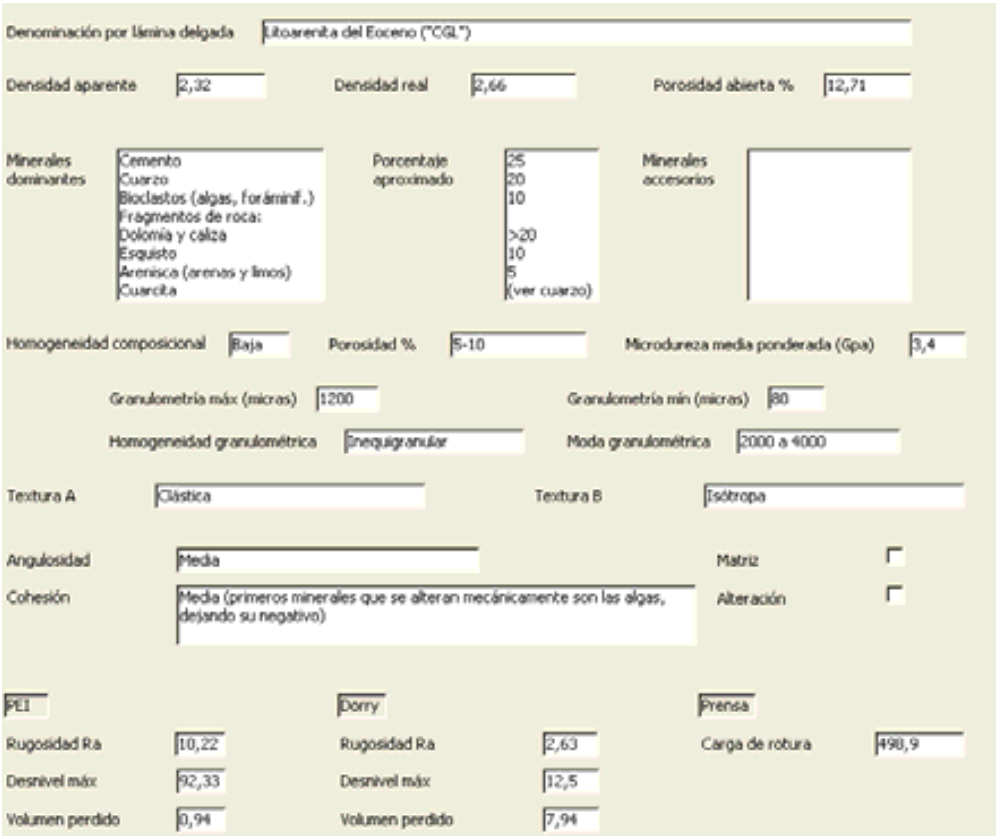
En último lugar, hemos añadido dos rocas más, de condición metamórfica, que no pueden ser relacionadas con inventarios prehistóricos del SE pero que sí forman parte importante de la materia prima destinada a la producción de artefactos biselados durante la prehistoria del noroeste peninsular. Se trata de dos corneanas procedentes del macizo de Prades (Lérida), el cual constituye uno de los puntos clave en términos de abastecimiento de materia prima para la producción de hachas durante el Neolítico de la zona. Con ellas hemos completado el grupo de litotipos destinados al programa de experimentación tribológica y hemos conseguido un material que sirve de contrastación para aquellas rocas metamórficas que presentan un grado de esquistosidad diferente (micaesquisto granatífero y gneis).

A continuación se presentan las fichas que recogen la información obtenida a propósito del análisis por lámina delgada, ordenadas en función de su naturaleza sedimentaria, metamórfica e ígnea.

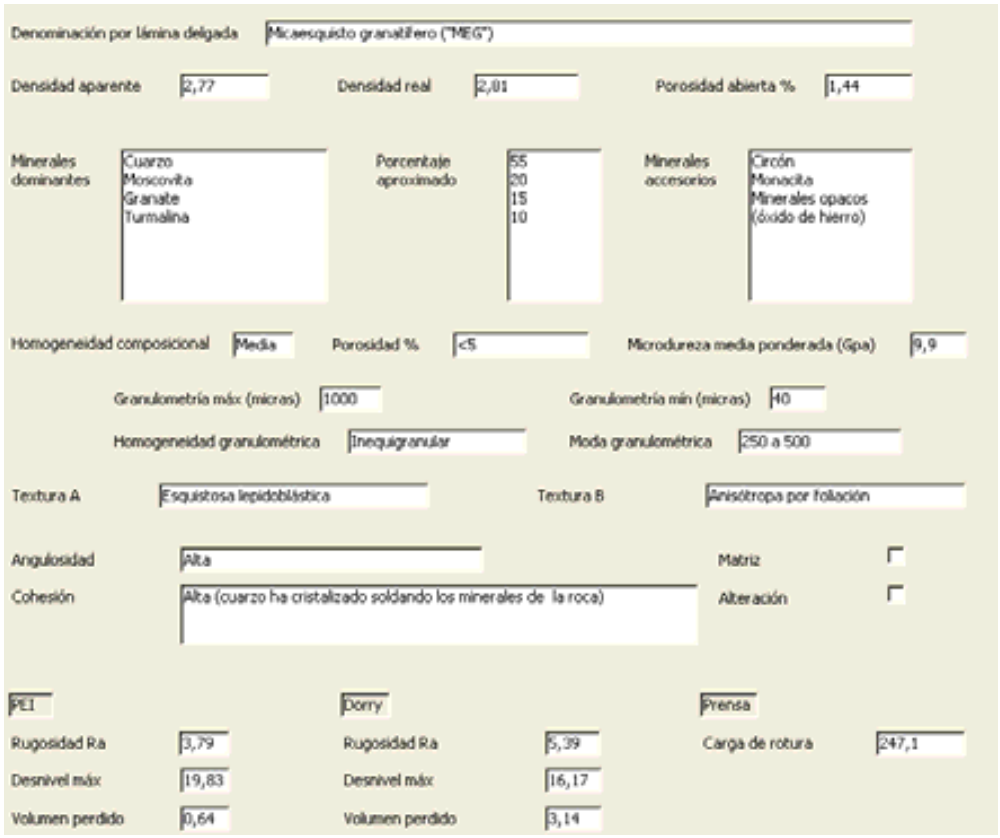
Rocas sedimentarias

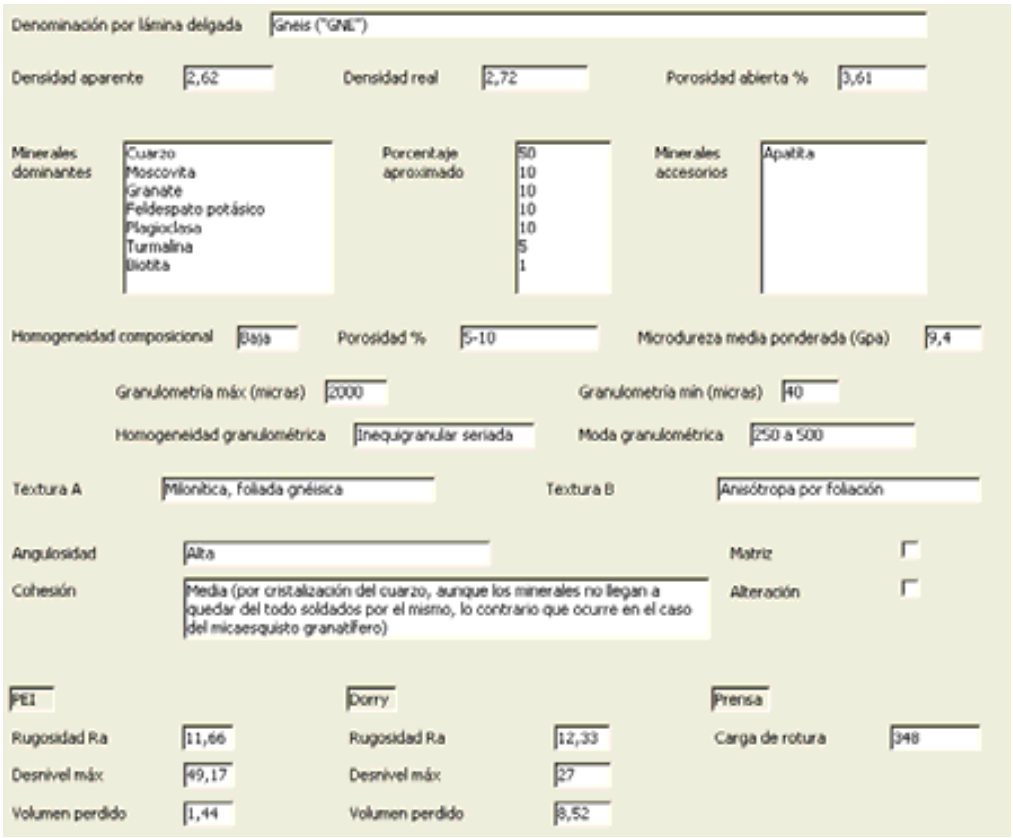


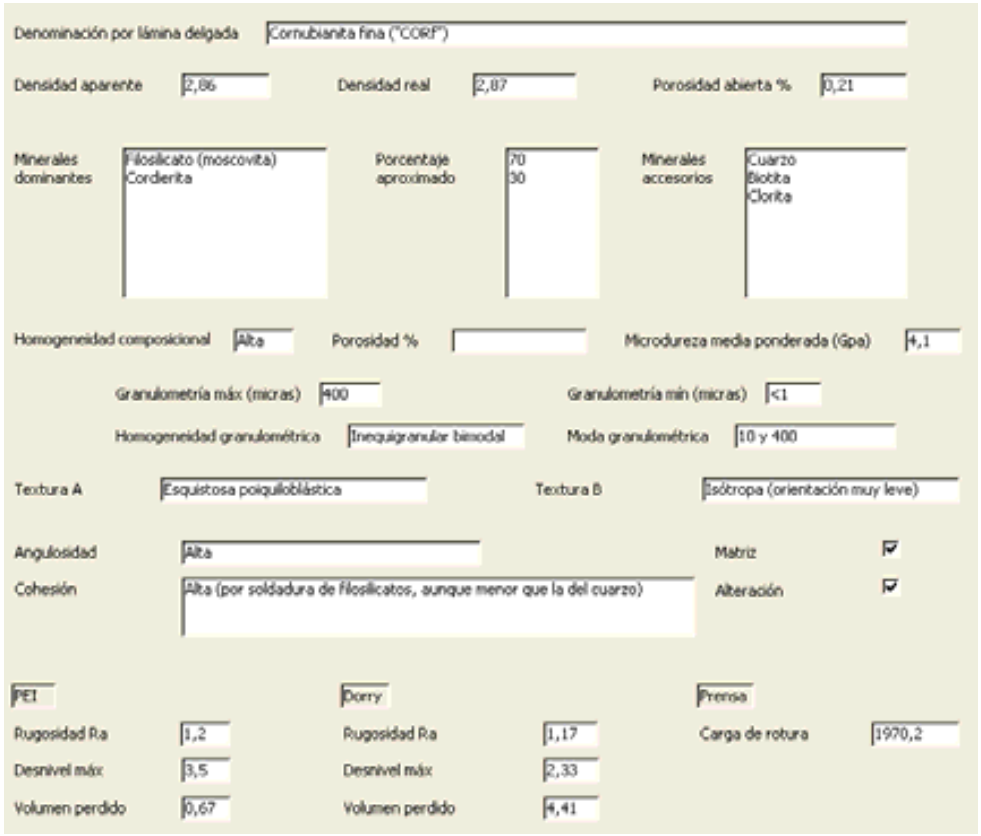

Denominación por lámina delgada
Silicoarenita bioclástica o sublitoarenita ("ARE")
Densidad aparente
2,47
Densidad real
2,70
Porosidad abierta %
8,45
Minerales dominantes
Carbonato
Cemento
Cuarzo
Mica
Fragmentos metamórficos
Porcentaje aproximado
30-40
30
20
5
5
Minerales accesorios
Glauconita
Cemento ferruginoso
Homogeneidad composicional
Baja
Porosidad %
5-10
Microdureza media ponderada (Gpa)
3,4
Granulometría máx (micras)
150
Granulometría mín (micras)
40
Homogeneidad granulométrica
Equigranular
Moda granulométrica
62 a 125
Textura A
Clástica
Textura B
Anisótropa por laminación
Angulosidad
Media
Matriz
Cohesión
Media
Alteración
PEI
Dorry
Prensa
Rugosidad Ra
2,25
Rugosidad Ra
2,38
Carga de rotura
215
Desnivel máx
12,67
Desnivel máx
8,33
Volumen perdido
2,05
Volumen perdido
14,11

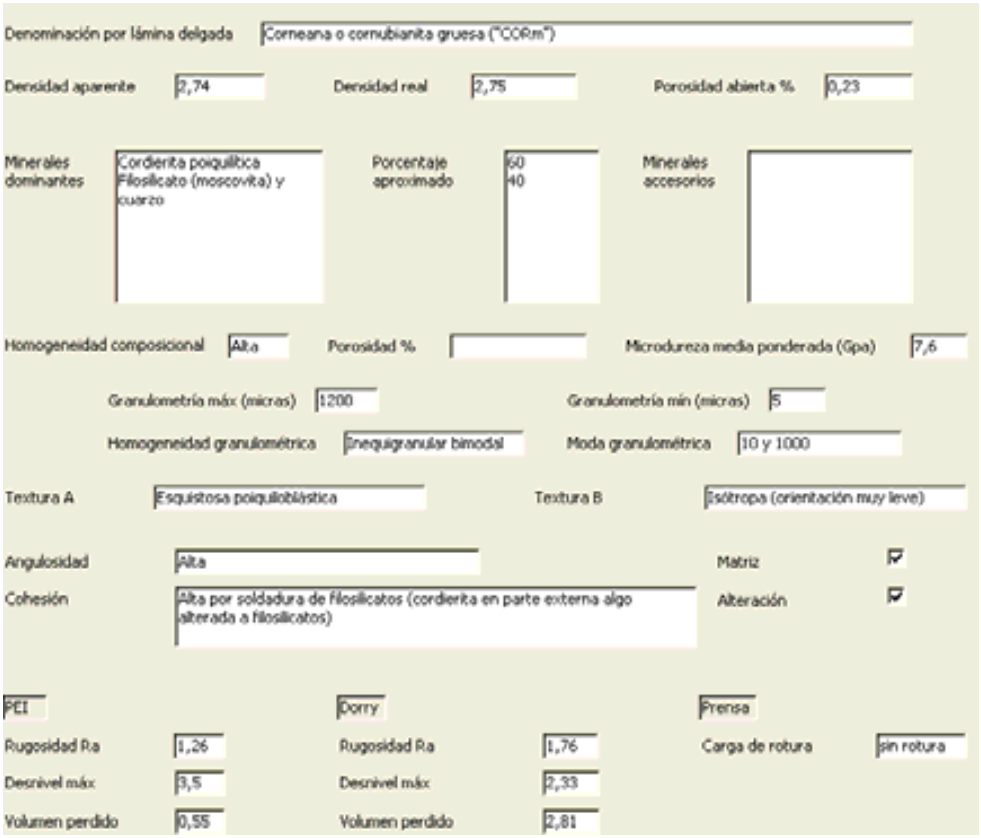

Denominación por lámina delgada
Litoarenita del Eoceno ("CGL")
Densidad aparente
2,32
Densidad real
2,66
Porosidad abierta %
12,71
Minerales dominantes
Cemento
Cuarzo
Bioclastos (algas, foraminif.)
Fragmentos de roca:
Dolomía y caliza
Esquisto
Arenisca (arenas y limos)
Cuarcita
Porcentaje aproximado
25
20
10
>20
10
5
(ver cuarzo)
Minerales accesorios
Homogeneidad composicional
Baja
Porosidad %
5-10
Microdureza media ponderada (Gpa)
3,4
Granulometría máx (micras)
1200
Granulometría mín (micras)
80
Homogeneidad granulométrica
Inequigranular
Moda granulométrica
2000 a 4000
Textura A
Clástica
Textura B
Isótropa
Angulosidad
Media
Matriz
Cohesión
Media (primeros minerales que se alteran mecánicamente son las algas, dejando su negativo)
Alteración
PEI
Dorry
Prensa
Rugosidad Ra
10,22
Rugosidad Ra
2,63
Carga de rotura
498,9
Desnivel máx
92,33
Desnivel máx
12,5
Volumen perdido
0,94
Volumen perdido
7,94

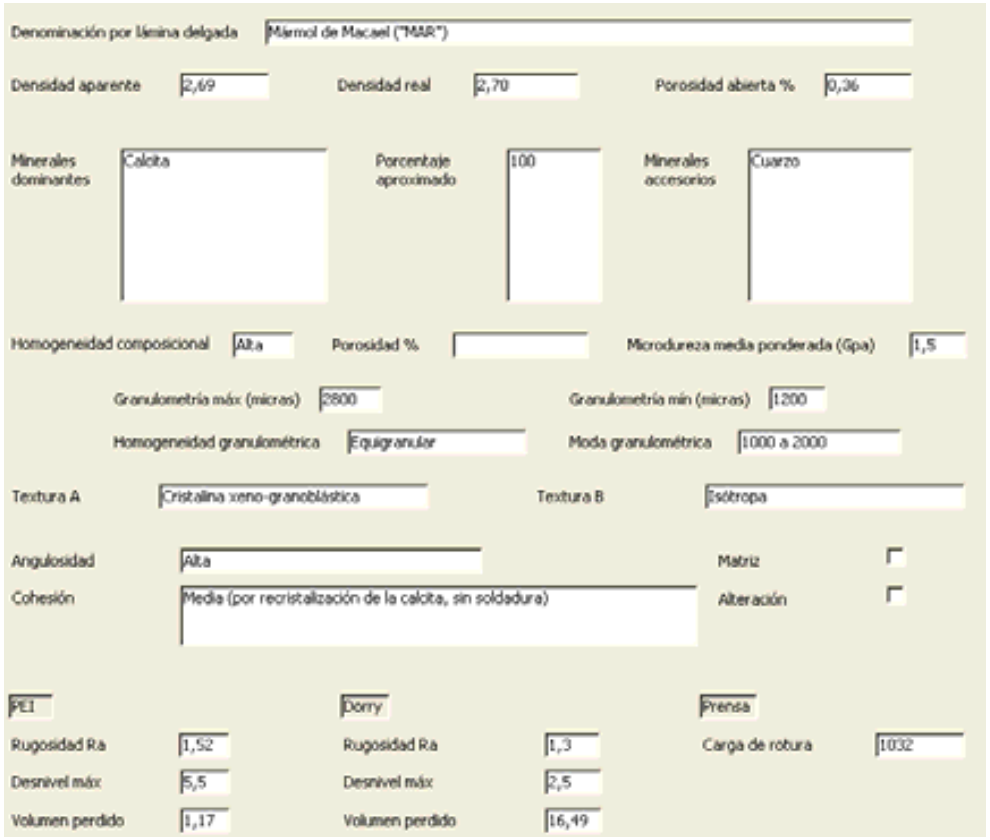
Rocas metamórficas



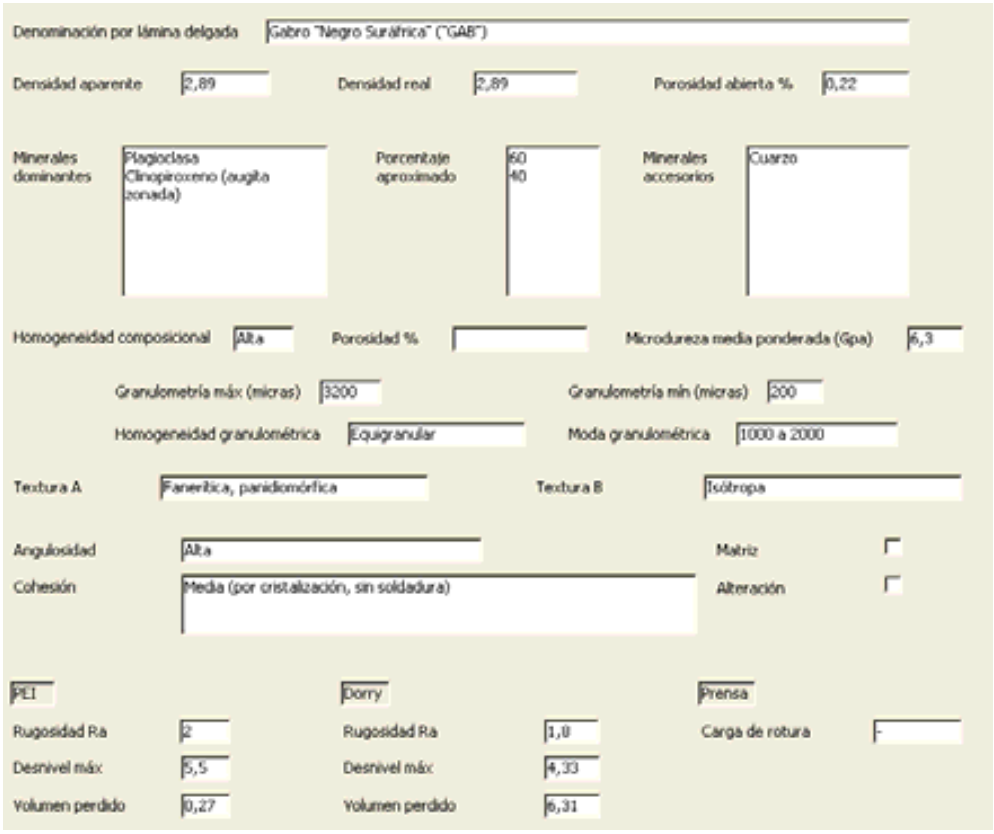


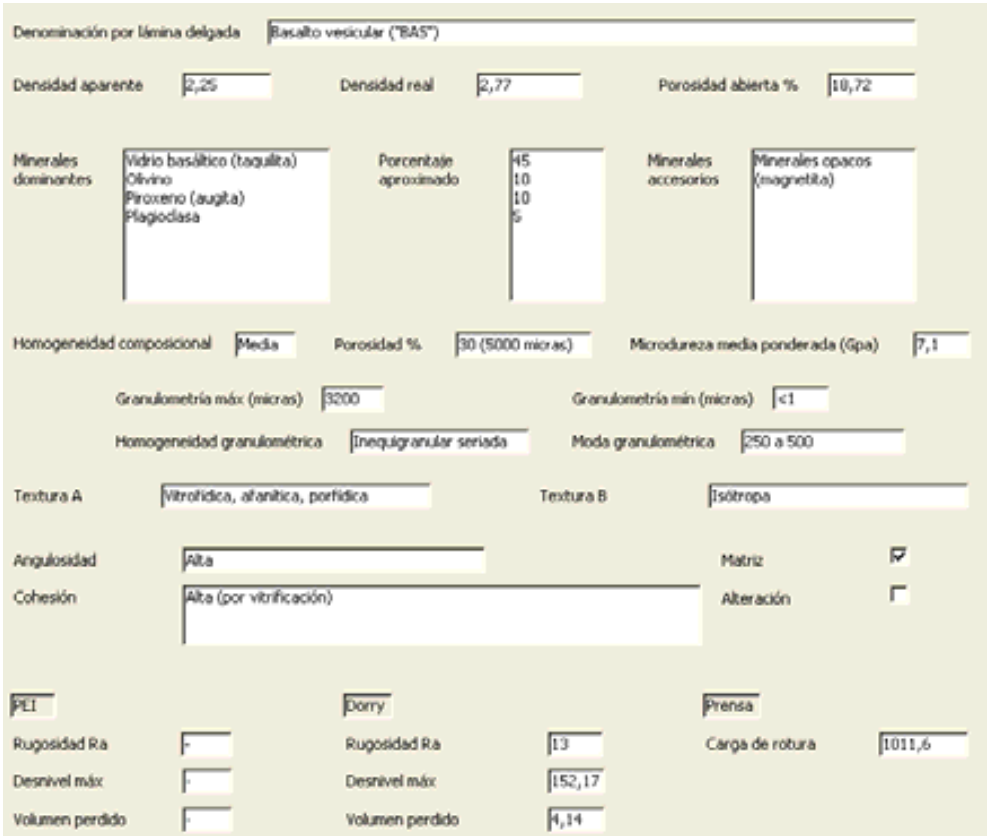

Denominación por lámina delgada
Cornubianita fina ("CORF")
Densidad aparente
2,86
Densidad real
2,87
Porosidad abierta %
0,21
Minerales dominantes
Filosilicato (moscovita)
Cordierita
Porcentaje aproximado
70
30
Minerales accesorios
Cuarzo
Biotita
Clorita
Homogeneidad composicional
Alta
Porosidad %
Microdureza media ponderada (Gpa)
4,1
Granulometría máx (micras)
400
Granulometría mín (micras)
<1
Homogeneidad granulométrica
Inequigranular bimodal
Moda granulométrica
10 y 400
Textura A
Esquistosa poiquiloblástica
Textura B
Isótropa (orientación muy leve)
Angulosidad
Alta
Matriz
Cohesión
Alta (por soldadura de filosilicatos, aunque menor que la del cuarzo)
Alteración
PEI
Dorry
Prensa
Rugosidad Ra
1,2
Rugosidad Ra
1,17
Carga de rotura
1970,2
Desnivel máx
3,5
Desnivel máx
2,33
Volumen perdido
0,67
Volumen perdido
4,41


Denominación por lámina delgada
Corneana o cornubianita gruesa ("CORm")
Densidad aparente
2,74
Densidad real
2,75
Porosidad abierta %
0,23
Minerales dominantes
Cordierita poiquilítica
Filosilicato (moscovita) y cuarzo
Porcentaje aproximado
60
40
Minerales accesorios
Homogeneidad composicional
Alta
Porosidad %
Microdureza media ponderada (Gpa)
7,6
Granulometría máx (micras)
1200
Granulometría mín (micras)
5
Homogeneidad granulométrica
Inequigranular bimodal
Moda granulométrica
10 y 1000
Textura A
Esquistosa poiquiloblástica
Textura B
Isótropa (orientación muy leve)
Angulosidad
Alta
Matriz
Cohesión
Alta por soldadura de filosilicatos (cordierita en parte externa algo alterada a filosilicatos)
Alteración
PEI
Dorry
Prensa
Rugosidad Ra
1,26
Rugosidad Ra
1,76
Carga de rotura
sin rotura
Desnivel máx
3,5
Desnivel máx
2,33
Volumen perdido
0,55
Volumen perdido
2,81



Rocas ígneas





2.1.8.2 Caracterización del desgaste mecánico mediante ensayos de resistencia: relación entre las variables intrínsecas y las variables de control

Hasta el momento se han tratado los aspectos técnicos referentes a las mediciones de control *rugosidad, volumen* y *carga de rotura* que se toman al término de cada ciclo experimental, describiendo los instrumentos utilizados para ello y resumiendo los datos obtenidos en las fichas generales expuestas en el apartado anterior. El tratamiento de las dos primeras variables ce control no presenta dificultad alguna, puesto que son medidas que entran directamente en la valoración de los datos. Sin embargo, los datos rugosimétricos han requerido de una preparación relativamente compleja, por lo que, antes de presentar los resultados, es necesario dedicar un apartado a explicitar el procesamiento de los mismos.

Procesamiento de datos rugosimétricos

La medición de la rugosidad inicial (momento 0) consiste en una medida de control para asegurar el sentido de la medición rugosimétrica. Las superficies de las probetas han sido cortadas con un potente disco provisto de dientes de diamante, lo que nos permite asumir una rugosidad comparable [38]. Este es el caso de la mayoría de las probetas, a excepción del mármol de Macael y del gabro Negro Sudáfrica, las cuales proceden de

[38] Agradecemos a Jaume Gordon y Lluís Ques, del Laboratorio de Láminas Delgadas de la Universidad Autónoma de Barcelona, por habernos ayudado a conformar las probetas para los ensayos.

marmolerías donde fueron acondicionadas con la ayuda de otro tipo de máquinas que, dadas sus características mecánicas, dejaban superficies algo más rugosas. La documentación de las propiedades superficiales iniciales permite tener en cuenta situaciones de partida diferentes que pueden condicionar las superficies de desgaste posteriores.

La forma en la que se tomaron las medidas rugosimétricas absolutas ha determinado el posterior procesamiento de datos. Cada vez que se iniciaba la medición de un perfil, el comparador era calibrado a "0" sobre el punto inicial, a partir del cual se realizaba el resto de las mediciones pertenecientes al perfil, que eran positivas siempre que los puntos se situaban a mayor cota que "0" y negativas si lo hacían por debajo (Figura 2.1.29). Esto lleva a que cada uno de los perfiles correspondientes a la misma superficie comience por cero, siendo que, muy probablemente, no haya coincidencia entre las cotas absolutas de uno y de otro punto "0". Para "calibrar" los perfiles y hacerlos comparables entre sí, se han implementado procedimientos diferentes, dependiendo del parámetro a calcular, los cuales especificamos en este capítulo. Dichos procedimientos y cálculos de datos se han realizado con ayuda del programa Excel, implementando macros en los casos que así lo requerían.

N mediciones / N perfiles	1r	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a	9a	10a	11a	12a	13a	14a
1a	0	6	6	3	3	-6	-9	-4	3	3				
1b	0	2	-2	1	3	-1	-2	-4	-3	0				
2a	0	1	1	-1	1	3	3	1	0	3	-8	-12	-9	2
2b	0	12	8	11	11	15	15	13	12	9	11	11	9	6
3a	0	7	9	12	6	13	4	5	-6	3	8	12	12	12
3b	0	-1	2	4	2	6	0	1	-8	-21	-20	-19	-15	-6
4a	0	3	-4	3	-1	2	2	0	-1	3	2	0	-1	-2
4b	0	-4	-47	-67	-23	-3	-2	-1	-1	-6	-2	-3	-4	-15

Figura 2.1.29: Ejemplo que ilustra el momento inicial del procesamiento de datos absolutos, tal y como han sido obtenidos de la medición con el comparador sobre la superficie correspondiente al momento 1 de la probeta de conglomerado. Teniendo en cuenta que la resolución vertical a la que se trabaja es de 0,01 mm, un valor absoluto de 6 equivale a 0,06 mm o, lo que es lo mismo, 60 micras.

Basándonos en la asunción de que cualquier superficie natural altamente rugosa presenta una distribución normal o gaussiana de las alturas de sus asperezas, en la que encontraríamos muchas asperezas de mediana altura y pocas de alta y baja altura (Blau 1996: 103; 260ss.), los procedimientos más directos y sencillos para valorar su grado de rugosidad son aquéllos calculados a partir de los valores absolutos. En nuestro caso, éstos son la media aritmética de la rugosidad ($\overline{X}$) y la media aritmética de las desviaciones que se dan en las superficies medidas (R_a). La primera indica la superficie media o nominal, en la que las crestas situadas por encima de ella tienen el mismo volumen que los surcos situados por debajo, y da una idea sobre la altura promedio del perfil. Por su parte, la media de las desviaciones da cuenta de la variación que hay entre los puntos medidos de un perfil con respecto a la media.

Para calcular ambos parámetros se ha seguido una serie de pasos a la hora de procesar los datos, que especificamos a continuación en orden de aplicación:

a) Identificación en cada perfil de los valores absolutos más bajos.

M.1-CGL	Valores mínimos
1a	-9
1b	-4
2a	-12
2b	0
3a	-6
3b	-21
4a	-4
4b	-67

b) Obtención de datos absolutos positivos. Los valores mínimos de cada perfil se sustituyen por un "0" a partir del cual los valores correspondientes restantes son transformados en valores positivos, a fin de posibilitar el cálculo de los promedios.

M.1-CGL	1r	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a	9a	10a	11a	12a	13a	14a
1a	9	15	15	12	12	3	0	5	12	12				
1b	4	6	2	5	7	3	2	0	1	4				
2a	12	13	13	11	13	15	15	13	12	15	4	0	3	14
2b	0	12	8	11	11	15	15	13	12	9	11	11	9	6
3a	6	13	15	18	12	19	10	11	0	9	14	18	18	18
3b	21	20	23	25	23	27	21	22	13	0	1	2	6	15
4a	4	7	0	7	3	6	6	4	3	7	6	4	3	2
4b	67	63	20	0	44	64	65	66	66	61	65	64	63	52

c) Cálculo de $\overline{X}$ y R_a para cada perfil. Cada uno de los ocho perfiles es tratado inicialmente de forma individual. En este nivel de procesamiento de datos se calculan tanto la media aritmética como la media de las desviaciones, obteniéndose un valor por perfil en cada caso.

M.1-CGL	1r	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a	9a	10a	11a	12a	13a	14a	$\overline{X}$	R_a
1ª	9	15	15	12	12	3	0	5	12	12					**9,5**	**4,2**
1b	4	6	2	5	7	3	2	0	1	4					**3,4**	**1,8**
2ª	12	13	13	11	13	15	15	13	12	15	4	0	3	14	**10,9**	**3,68**
2b	0	12	8	11	11	15	15	13	12	9	11	11	9	6	**10,2**	**2,73**
3ª	6	13	15	18	12	19	10	11	0	9	14	18	18	18	**12,9**	**4,23**
3b	21	20	23	25	23	27	21	22	13	0	1	2	6	15	**15,6**	**8,13**
4ª	4	7	0	7	3	6	6	4	3	7	6	4	3	2	**4,4**	**1,78**
4b	67	63	20	0	44	64	65	66	66	61	65	64	63	52	**54,3**	**14,45**

d) Cálculo del promedio entre los perfiles para $\overline{X}$ y R_a. De esta manera se obtiene un solo valor que representa a cada momento de desgaste: $\overline{\overline{X}}$ y $\overline{R_a}$.

M.1-CGL	$\overline{X}$	$\overline{\overline{X}}$	R_a	$\overline{R_a}$
1a	**9,5**		**4,2**	
1b	**3,4**		**1,8**	
2a	**10,9**		**3,68**	
2b	**10,2**	**15,17**	**2,73**	**5,12**
3a	**12,9**		**4,23**	
3b	**15,6**		**8,13**	
4a	**4,4**		**1,78**	
4b	**54,3**		**14,45**	

Dado que contamos con ocho perfiles para cada superficie desgastada (1a, 1b, 2a, 2b, 3a, 3b, 4a, 4b) y que los números absolutos únicamente son reales dentro del límite establecido por cada perfil, ha sido necesario trabajar con los desniveles existentes entre los puntos medidos, en calidad de valores relativos. De esta manera se hace posible unificar los valores de los ocho perfiles con el fin de representar un índice de rugosidad genérico para cada litología. Basándonos en los valores relativos hemos calculado primeramente el promedio de los desniveles máximos ($\overline{X}$ *desn. máx*.) para cada momento.

e) Cálculo de los desniveles existentes entre puntos adyacentes. En cada perfil se realizan las restas entre los puntos adyacentes para obtener las diferencias entre las cotas absolutas, que serán los desniveles existentes entre ellos.

M.1-CGL	1ra	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a	9a	10a	11a	12a	13a	14a
Desn1a		6	0	3	0	9	3	5	7	0				
Desn1b		2	4	3	2	4	1	2	1	3				
Desn2a		1	0	2	2	2	0	2	1	3	11	4	3	11
Desn2b		12	4	3	0	4	0	2	1	3	2	0	2	3
Desn3a		7	2	3	6	7	9	1	11	9	5	4	0	0
Desn3b		1	3	2	2	4	6	1	9	13	1	1	4	9
Desn4a		3	7	7	4	3	0	2	1	4	1	2	1	1
Desn4b		4	43	20	**44**	20	1	1	0	5	4	1	1	11

f) Como los valores han pasado a representar distancias verticales entre puntos adyacentes, es decir, son relativos, a partir de ahora pueden ser incluidos con el resto de los desniveles máximos (momentos 0 y 2-5) en el cálculo de los promedios. Se extrae, por lo tanto, el desnivel máximo de cada momento (no de cada perfil) y se estima el promedio de desniveles máximos para cada litotipo.

Momentos	CGL
M.0-CGL	2
M.1-CGL	44
M.2-CGL	150
M.3-CGL	153
M.4-CGL	172
M.5-CGL	33
$\overline{\overline{X}}$ ***desn.máx.***	92,33

Una vez habiéndonos hecho una idea de los aspectos relativos a la verticalidad del microrelieve de las superficies obtenidas en los ensayos (la altura, la variabilidad y los desniveles máximos de los diversos momentos de desgaste para cada litotipo), hemos considerado necesario introducir adicionalmente un aspecto cualitativo y dos cuantitativos, los cuales permiten avanzar en la caracterización de la rugosidad superficial:

a) El carácter positivo (ascenso), negativo (descenso) o neutro (plató) de las fracciones en las que se desglosa la superficie

b) El grado de pendiente o, lo que es lo mismo, la inclinación de las rampas

c) La dimensión horizontal del relieve, es decir, la longitud a lo largo de la cual se desarrolla cada una de las fracciones del relieve.

Para ello partimos de los valores relativos obtenidos en el paso anterior y seguimos el siguiente procedimiento:

a) Obtención de desniveles con signo. Tomamos como referencia la tabla en la que se han realizado las restas para obtener los desniveles entre puntos adyacentes (ver arriba punto e), con la diferencia de que, en este caso, mantenemos los signos positivos (ascenso) y negativos (descenso).

M.1-CGL	1r	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a	9a	10a	11a	12a	13a	14a
1a		6	0	-3	0	-9	-3	5	7	0				
1b		2	-4	3	2	-4	-1	-2	1	3				
2a		1	0	-2	2	2	0	-2	-1	3	-11	-4	3	11
2b		12	-4	3	0	4	0	-2	-1	-3	2	0	-2	-3
3a		7	2	3	-6	7	-9	1	-11	9	5	4	0	0
3b		-1	3	2	-2	4	-6	1	-9	-13	1	1	4	9
4a		3	-7	7	-4	3	0	-2	-1	4	-1	-2	-1	-1
4b		-4	-43	-20	44	20	1	1	0	-5	4	-1	-1	-11

b) Individualización de las rampas en cada perfil. Asumiendo que dos valores adyacentes con el mismo signo forman parte de una sola rampa de ascenso o descenso (-9;-3), se procede a la suma de desniveles adyacentes positivos y negativos, manteniendo sus respectivos signos (-12). El resultado de la operación se registra siempre en lugar del valor situado en el extremo derecho de la secuencia sumatoria. Las celdas restantes, localizadas siempre a la izquierda del resultado, son sustituidas por el signo positivo o negativo que correspondía a su valor (- ; -12). Los requisitos que deben cumplir los valores con el fin de entrar en la suma, consisten en presentar el mismo signo y ser adyacentes.

Los ceros forman una excepción porque se comportan de manera "neutra" en operaciones de suma, por lo que este tipo de cálculo no tiene sentido y se mantienen separados (0; 0). Somos conscientes de que cuanto mayor es la yuxtaposición de desniveles "0", más largo es el plató compuesto por ellos, sin embargo, su valoración se abordará, más adelante, mediante otro parámetro.

Al mismo tiempo, bajo cada perfil se genera una segunda fila en la que se registra el número de valores (celdas) que han pasado a formar parte de cada suma. El total se inserta bajo el resultado real de la suma de valores, situado en la fila superior, en el extremo derecho de la secuencia. Las celdas restantes quedan vacías (-/ ; -12/2).

M.1-CGL	1r	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a	9a	10a	11a	12a	13a	14a
1a		6	0	-3	0	-	-12	+	12	0				
		1	1	1	1		2		2	1				
1b		2	-4	+	5	-	-	-7	+	4				
		1	1		2			3		2				
2a		1	0	-2	+	4	0	-	-3	3	-	-15	+	14
		1	1	1		2	1		2	1		2		2
2b		12	-4	3	0	4	0	-	-	-6	2	0	-	-5
		1	1	1	1	1	1			3	1	1		2
3a		+	+	12	-6	7	-9	1	-11	+	+	18	0	0
				3	1	1	1	1	1			3	1	1
3b		-1	+	5	-2	4	-6	1	-	-22	+	+	+	15
		1		2	1	1	1	1		2				4
4a		3	-7	7	-4	3	0	-	-3	4	-	-	-	-5
		1	1	1	1	1	1		2	1				4
4b		-	-	-67	+	+	+	66	0	-5	4	-	-	-13
				3				4	1	1	1			3

c) Recuento y promedio de desniveles por perfiles. Se realiza la suma de los valores positivos, por un lado, y negativos, por el otro, dividiendo cada resultado por el número de celdas en que estos valores aparecen, para estimar el promedio. En el caso de los ceros se realiza un recuento y se anota la frecuencia absoluta de los mismos.

M.1-CGL	Suma "+"	Suma celdas	Promedio "+"	Suma "-"	Suma celdas	Promedio "-"	Suma ceros
Desn1a	18	2	9,0	15	2	7,5	3
Desn1b	11	3	3,7	11	2	5,5	0
Desn2a	22	4	5,5	20	3	6,7	2
Desn2b	21	4	5,3	15	3	5,0	3
Desn3a	38	4	9,5	26	3	8,7	2
Desn3b	25	4	6,3	31	4	7,8	0
Desn4a	17	4	4,3	19	4	4,8	1
Desn4b	70	2	35,0	85	3	28,3	1

d) Cálculo de longitudes. Para obtener la representación de la longitud que ocupan los valores positivos, negativos y neutros a lo largo del perfil, se obtiene la frecuencia absoluta de celdas que éstos ocupan. El resultado se divide entre el total de celdas de cada perfil.

M-1-CGL	Suma celdas "+"	Total celdas	% "+"	Suma celdas "-"	Total celdas	% "-"	Suma "0"	Total celdas	% "0"
Long1a	3	9	0,3	3	9	0,3	3	9	0,3
Long1b	5	9	0,6	4	9	0,4	0	9	0,0
Long2a	6	13	0,5	5	13	0,4	2	13	0,2
Long2b	4	13	0,3	6	13	0,5	3	13	0,2

Long3a	8	13	0,6	3	13	0,2	2	13	0,2
Long3b	8	13	0,6	5	13	0,4	0	13	0,0
Long4a	4	13	0,3	8	13	0,6	1	13	0,1
Long4b	5	13	0,4	7	13	0,5	1	13	0,1

e) Cálculo de pendientes. La inclinación de cada una de las fracciones positivas o negativas de un perfil se obtiene dividiendo el desnivel que tiene cada una de las fracciones por la longitud que éste ocupa (número de celdas). Dado que un perfil puede componerse p. ej., de varias pendientes positivas separadas entre sí, se calcula el promedio de la inclinación de pendientes, dividiendo su suma por el número de pendientes existentes.

M.1-CGL	**Suma "+"**		**Suma celdas**	**Promedio "+"**	**Suma "-"**		**Suma celdas**	**Promedio "-"**
Pend1a	6/1+12/2	12	2	**6,0**	3/1+12/2	9,0	2	**-4,5**
Pend1b	2/1+5/2+4/2	6,5	3	**2,2**	4/1+7/3	6,3	2	**-3,2**
Pend2a	1/1+4/2+3/1+14/2	13	4	**3,3**	2/1+3/2+15/2	11,0	3	**-3,7**
Pend2b	12/1+3/1+4/1+2/1	21	4	**5,3**	4/1+6/3+5/2	8,5	3	**-2,8**
Pend3a	12/3+7/1+1/1+18/3	18	4	**4,5**	6/1+9/1+11/1	26,0	3	**-8,7**
Pend3b	5/2+4/1+1/1+15/4	11,25	4	**2,8**	1/1+2/1+6/1+22/2	20,0	4	**-5,0**
Pend4a	3/1+7/1+3/1+4/1	17	4	**4,3**	7/1+4/1+3/2+5/4	13,8	4	**-3,4**
Pend4b	66/4+4/1	20,5	2	**10,3**	67/3+5/1+13/3	31,7	3	**-10,6**

f) Finalmente obtenemos una tabla con la representación de cada desnivel, longitud y pendiente para cada perfil.

M.1-CGL		**Promedios "+"**	**Promedios "-"**	**Suma "0"**
1a	**Desnivel** *X*	9,0	7,5	
	Longitud %	0,3	0,3	0,3
	Pendiente *X*	6,0	-4,5	
1b	**Desnivel** *X*	3,7	5,5	
	Longitud %	0,6	0,4	0,0
	Pendiente *X*	2,2	-3,2	
2a	**Desnivel** *X*	5,5	6,7	
	Longitud %	0,5	0,4	0,2
	Pendiente *X*	3,3	-3,7	
2b	**Desnivel** *X*	5,3	5,0	
	Longitud %	0,3	0,5	0,2
	Pendiente *X*	5,3	-2,8	
3a	**Desnivel** *X*	9,5	8,7	
	Longitud %	0,6	0,2	0,2
	Pendiente *X*	4,5	-8,7	
3b	**Desnivel** *X*	6,3	7,8	
	Longitud %	0,6	0,4	0,0
	Pendiente *X*	2,8	-5,0	
4a	**Desnivel** *X*	4,3	4,8	
	Longitud %	0,3	0,6	0,1
	Pendiente *X*	4,3	-3,4	
4b	**Desnivel** *X*	35,0	28,3	
	Longitud %	0,4	0,5	0,1
	Pendiente *X*	10,3	-10,6	

Con estos tres parámetros obtenemos gráficos de dispersión que permiten comparar:

- los perfiles entre sí, dentro del marco que establece un momento de desgaste determinado,
- los momentos entre sí, dentro del marco que establece un litotipo,
- y, por último, los litotipos entre sí

A partir de cinco perfiles ideales hemos simulado el proceso descrito arriba con el fin de ilustrar hasta qué punto este método es capaz de discernir entre superficies cualitativamente diferentes. Los resultados se proyectan en la Figura 2.1.30, mediante dos gráficos que contemplan los *desniveles*, las *longitudes* y las *pendientes*[39] a lo largo de las cuales se desarrollan estos últimos. Ambos gráficos de dispersión tienen carácter complementario, ya que recogen informaciones necesarias para caracterizar correctamente cada perfil.

[39] Los desniveles se expresan en centésimas de milímetro, las longitudes en milímetros y las pendientes se estiman a partir de la relación entre desniveles y longitudes.

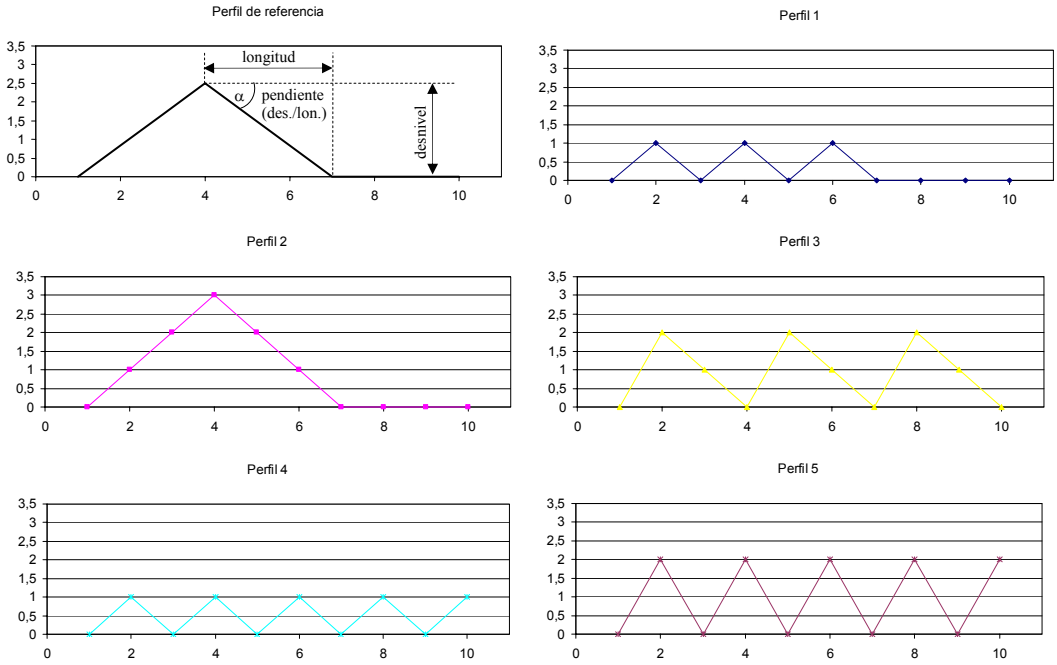


Gráfico 1: **Total perfiles**

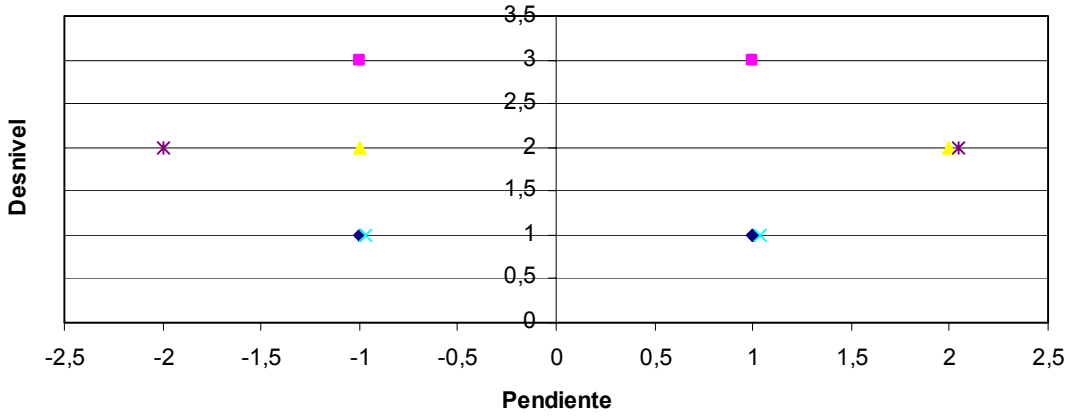


Gráfico 2: **Total perfiles**

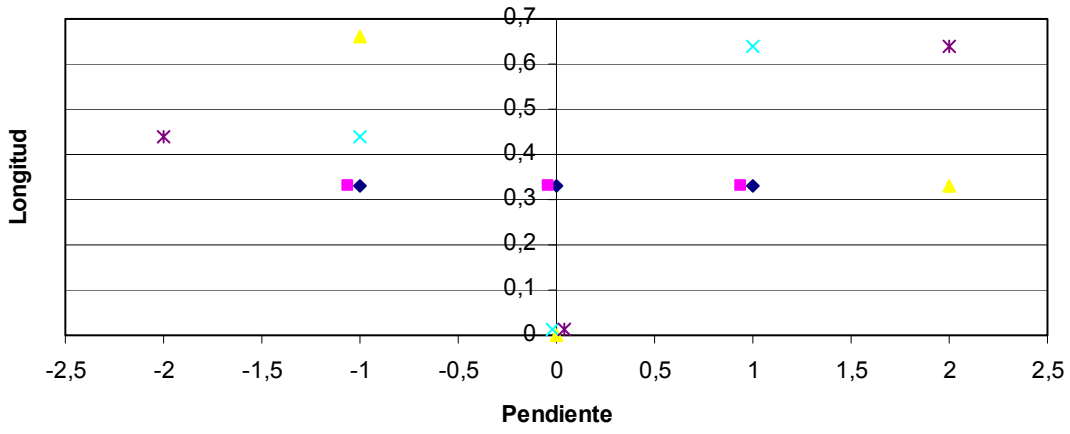


Figura 2.1.30: Ejemplo del proceso utilizado para valorar perfiles cualitativamente diferentes.

De los resultados que contemplan las pendientes y los desniveles se desprenden las siguientes observaciones (Figura 2.1.30, gráfico 1):

- El comportamiento que tienen los perfiles 1 y 4 es idéntico, porque tanto la inclinación de sus rampas como el desnivel que abarcan las mismas es el mismo. Únicamente se diferencian en función de la frecuencia de sus rampas, la cual en el perfil 1 es menor debido a la existencia de un plató. Esta diferencia no se contempla en el gráfico 1 pero sí en el 2.
- Los perfiles 4 y 5 aparecen totalmente disociados porque difieren tanto en el rango de desnivel como en la inclinación de sus rampas, que es mayor en el perfil 5.
- El perfil 3 presenta una asimetría a favor de las pendientes positivas, más acusadas. Éste sería un ejemplo de desgaste direccional.
- El grado de las pendientes del perfil no se diferencia de los perfiles 1, 2 y 4 dado que el ángulo de inclinación de sus rampas es idéntico. Sin embargo, el desnivel alcanzado en el perfil 2 es mayor.

El gráfico de dispersión que tiene en cuenta las pendientes y las longitudes (Figura 2.1.30, gráfico 2) da una idea de la representación de ascensos y descensos así como de los platós existentes a lo largo del perfil:

- Los perfiles 1 y 2 no se diferencian dado que los ascensos, los descensos y los platós están representados en la misma proporción.
- En el perfil 3 vuelve a demarcarse la asimetría a favor de las rampas de ascenso que son más pronunciadas, pero, en este caso, se prolongan a lo largo de una longitud menor que las rampas de descenso. Este hecho conduce a una asimetría en ambos ejes. El total del perfil está ocupado por rampas positivas o negativas, con ausencia total de platós.
- Los perfiles 4 y 5 presentan, en cada caso, pendientes ascendentes y descendentes igualmente inclinadas, pero la representación de ascensos es mayor. En ninguno de los dos perfiles existen platós. Sin embargo, ambos se diferencian, como decíamos anteriormente, en el grado de inclinación de sus rampas y en los desniveles que desarrollan las mismas.

Basándonos en los dos tipos de gráficos podemos establecer una tabla comparativa en la que se registran las relaciones de semejanza y/o diferencia que mantienen los perfiles entre sí (Figura 2.1.31). Bien es cierto que el método descrito consiste en realidad en una caracterización cualitativa de la microtopografía pero, en cualquier caso, permite situar los perfiles en una escala relativa y reconocer cuáles son los parámetros que tienen en común y cuales son divergentes. Con el uso conjunto de los tres parámetros es posible discernir entre perfiles que, si bien pueden coincidir en alguno de ellos, siempre se disocian en algún otro.

		Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5
Perfil 1	**Pendientes**	-	x		x	
	Desniveles				x	
	Longitudes		x			
Perfil 2	**Pendientes**	-	-		x	
	Desniveles					
	Longitudes					
Perfil 3	**Pendientes**	-	-	-		
	Desniveles					x
	Longitudes					
Perfil 4	**Pendientes**	-	-	-	-	
	Desniveles					
	Longitudes					
Perfil 5	**Pendientes**	-	-	-	-	-
	Desniveles					
	Longitudes					

Figura 2.1.31: Tabla que ilustra los tres parámetros en función de los cuales se diferencian los cinco perfiles ideales presentados en la Figura 2.2.30. La x indica los casos en los que se da una coincidencia en el parámetro entre dos perfiles, mientras que las celdas en blanco representan disociaciones.

Resultados de los experimentos: Pista Dorry

1) Peso y volumen

El proceso de reducción del peso de las probetas a lo largo del ciclo experimental es lineal en mayor o menor grado, pero dicha linealidad parece ser independiente de la resistencia que opone la roca a la pérdida de materia. De esta manera, encontramos litologías de muy diversa naturaleza que mantienen valores de linealidad semejantes, p.ej., en torno a R^2 = 0,99-0,97 (Figura 2.1.32; corneana de grano medio, el micaesquisto granatífero y el mármol) pero que oponen resistencias muy diversas al desgaste (ver pérdida de volumen abajo). Por tanto, la mayor o menor constancia en la pérdida de peso es un comportamiento que no depende de la naturaleza petrográfica de las probetas.

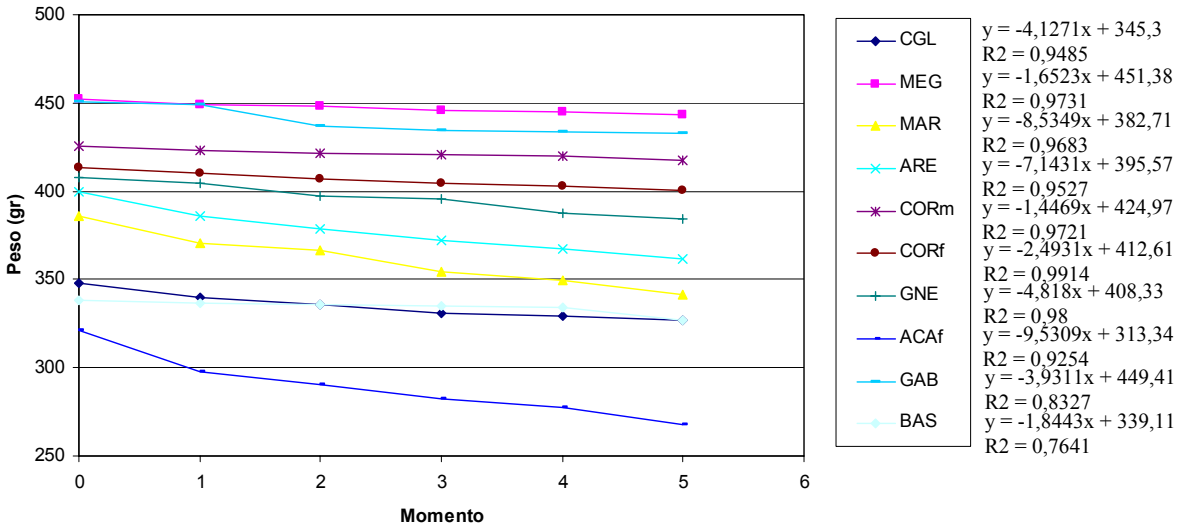


Figura 2.1.32: Pérdida de peso de las probetas a lo largo del ciclo experimental.

Como medida representativa de la resistencia a la fricción hemos tenido en cuenta el volumen total perdido por cada probeta, calculado a partir de los valores de peso y la densidad real de las rocas. Las cuatro rocas que mejor resisten la fricción en la pista Dorry son la corneana de grano medio (2,81 cm^3), el micaesquisto granatífero (3,14 cm^3), el basalto vesicular (4,14 cm^3) y la corneana de grano fino (4,41 cm^3). Entre ellas se encuentran también las únicas litologías de las que no han llegado a desprenderse esquirlas a lo largo de los ciclos experimentales. El resto de las rocas pierden más de 6 cm^3 al término del ensayo. Entre las variables intrínsecas que caracterizan a las rocas sometidas a la pista Dorry, la microdureza y la cohesión son las que condicionan de forma más significativa la pérdida de materia (Figura 2.1.33). En este sentido, cuanto mayor sea de microdureza media de la roca y su cohesión intergranular, más resistente resultará ésta frente a los procesos de fricción. Por otro lado, la densidad aparente presenta un índice de correlación negativo, relativamente alto, lo cual apunta a que también esta propiedad impide, en cierta medida, un desgaste acelerado de la roca.

Variable de control / Variables intrínsecas	Volumen perdido
Homogeneidad composicional	0,028
Contenido en cuarzo	-0,469
Angulosidad	-0,147
Granulometría máxima	0,265
Granulometría mínima	0,435
Densidad aparente	-0,524
Porosidad abierta	0,190
Microdureza media	-0,735
Cohesión	-0,703

Figura 2.1.33: Análisis de correlación entre las variables intrínsecas de las rocas y la pérdida de volumen.

2) Rugosidad

Como se verá más adelante, los resultados obtenidos a raíz de la caracterización de la rugosidad en la pista Dorry y en el PEI son relativamente divergentes. Esto se explica por las diversas condiciones tribológicas de cada uno de los mecanismos de ensayo. En la pista Dorry el cuerpo que fricciona sobre la superficie de la probeta es una plancha giratoria rígida a la que se le añade el abrasivo. Sobre ella se coloca la probeta con una carga de 20 kg, lo cual ha propiciado en algunos casos el desprendimiento de esquirlas del cuerpo de la probeta. En momentos específicos del curso experimental ciertos minerales pueden llegar a ofrecer resistencia mientras que otros son desintegrados o arrancados, propiciando un incremento puntual de irregularidades superficiales. Sin embargo, y al margen de estas oscilaciones cíclicas de la rugosidad, que ascienden y descienden aleatoriamente, se observa una tendencia generalizada a la uniformidad de la rugosidad superficial, a medida que avanzan los ciclos experimentales (Figura 2.1.34). Por lo que se ha podido observar, el gneis, el micaesquisto y el basalto vesicular constituyen las litologías que mayores índices de rugosidad desarrollan. Se trata en estos casos, de rocas con una composición relativamente heterogénea (baja o media) gracias a la cual se consigue un comportamiento suficientemente diferenciado de los minerales. Además estas litologías incluyen porcentajes elevados de cuarzo, el cual ha podido propiciar la formación de protuberancias en la superficie. Estas condiciones mineralógicas diversas dentro de un litotipo, en el que convergen durezas múltiples conllevan una reacción diferencial de cada uno de los elementos constituyentes de la roca, conduciendo a algunos a su desintegración y a otros a permanecer durante más tiempo expuestos en la superficie.

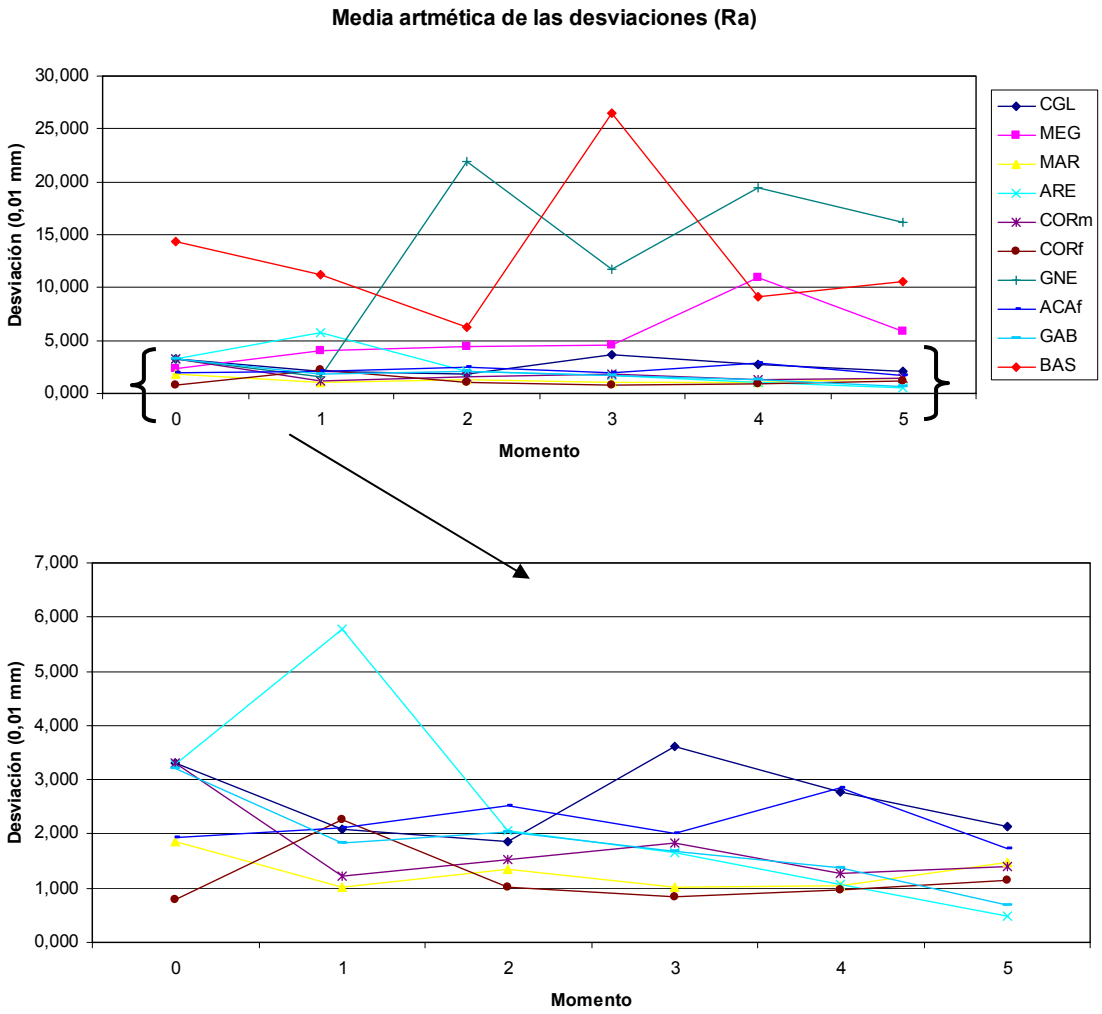
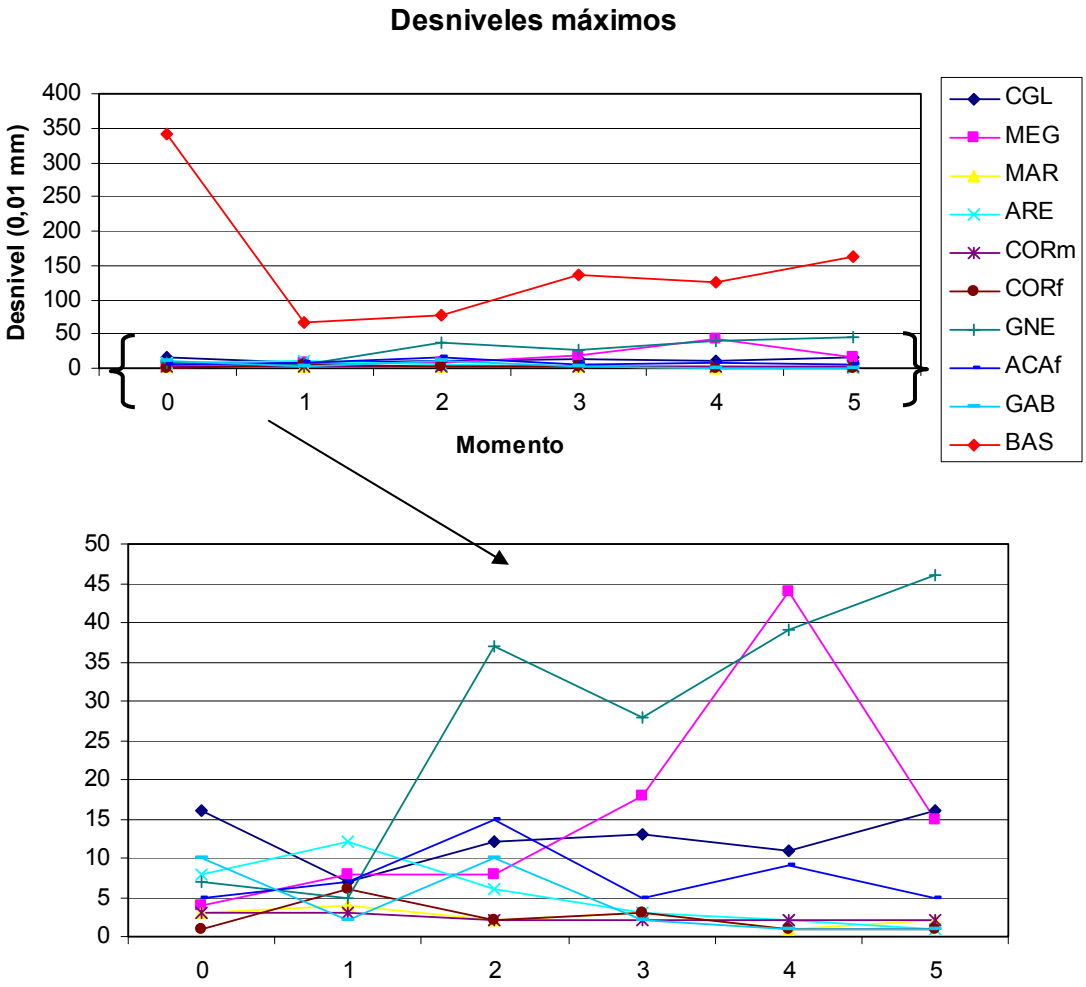


Figura 2.1.34: Media aritmética de las desviaciones (*Ra*) a lo largo de los seis momentos de desgaste por los que pasa cada litotipo en la pista Dorry. El gráfico inferior es una ampliación de la fracción más baja del gráfico superior.

Los valores relativos que consideran los *desniveles máximos* representados en cada momento de desgaste indican una tendencia similar a la obtenida con el valor *Ra*, esto es, un desarrollo de microtopografías más irregulares en rocas composicionalmente heterogéneas, frente a una disminución de desniveles en el resto (Figura 2.1.35). El basalto vesicular representa un caso extremo en la dimensión de los desniveles máximos ya que en ellos van incluidas las vacuolas que constituyen en sí mismas grandes espacios vacíos, es decir, irregularidades en la microtopografía.

Los desniveles se han podido formar tanto por extracción de minerales enteros como por fractura y posterior extracción de partes constituyentes de los mismos, sin llegar a una extracción total. Las dimensiones medias de los desniveles son a menudo menores que la métrica inferior de los componentes minerales, tal y como se puede observar en el mármol, las corneanas y el gabro (Figura 2.1.35). En estos casos, hemos de concluir que los desniveles se han generado mediante la fractura y el desprendimiento de fracciones de minerales preexistentes y no por la extracción de minerales enteros. En el resto de las rocas los desniveles coinciden con la métrica de los minerales más pequeños, por lo que es probable que aquí converjan ambos tipos de pérdida, sin llegar en caso

alguno a la extracción total de los mayores minerales, a juzgar por la dimensión de los desniveles, que nunca llega a tales extremos métricos. Según estas observaciones, el desarrollo de la rugosidad no parece depender directamente de aspectos individuales como la granulometría máxima y la mínima.



Momentos	CGL	MEG	MAR	ARE	CORm	CORf	GNE	ACAf	GAB	BAS
0	16	4	3	8	3	1	7	5	10	341
1	7	8	4	12	3	6	5	7	2	68
2	12	8	2	6	2	2	37	15	10	78
3	13	18	3	3	2	3	28	5	2	137
4	11	44	1	2	2	1	39	9	1	125
5	16	15	2	1	2	1	46	5	1	164
Promedio (µm)	12,50 (125)	16,17 (161,7)	2,50 (25)	5,33 (53,3)	2,33 (23,3)	2,33 (23,3)	27,00 (270)	7,67 (76,7)	4,33 (43,3)	152,17 (1521,7)
Granul. máx-mín (µm)	1200-80	1000-40	2800-1200	150-40	1200-1200	400-400	2000-40	2000-70	3200-200	3200-<1

Figura 2.1.35: Desniveles máximos observados en cada uno de los momentos de desgaste en la pista Dorry (gráfico); promedios de los desniveles máximos y rangos granulométricos (tabla).

Con todo, el análisis de correlación entre las variables intrínsecas de las rocas y las variables de control obtenidas al término de los ensayos indica que, en efecto, las propiedades litológicas más relevantes en el desarrollo de la rugosidad superficial son la homogeneidad composicional y el contenido en cuarzo, y por consiguiente, también la microdureza (Figura 2.1.36). En definitiva, la presencia de mineralogías diversas con presencia importante de cuarzo favorece la formación de desniveles en la superficie de desgaste de las rocas.

Variables de control / Variables intrínsecas	Rugosidad Ra	Desnivel máximo
Homogeneidad composicional	-0,578	-0,671
Contenido en cuarzo	0,698	0,700
Angulosidad	0,149	-0,001
Granulometría máxima	0,067	0,024
Granulometría mínima	-0,243	-0,295
Densidad aparente	-0,086	-0,259
Porosidad abierta	0,079	0,276
Microdureza media	0,653	0,592
Cohesión	-0,140	-0,177

Figura 2.1.36: Análisis de correlación entre las variables intrínsecas de las rocas y el desarrollo de la rugosidad.

En lo que respecta al análisis de *pendientes* y *desniveles*, tal y como los hemos definido en la Figura 2.1.30, destacan diversos grados de rugosidad superficial, dependiendo de la naturaleza litológica de los materiales. El mármol, la corneana de grano medio y la de grano fino son aquéllas rocas que desarrollan las pendientes menos inclinadas, en torno a -2 y 2 (Figura 2.1.37), mientras que el micaesquisto granatífero, el gneis y el basalto vesicular presentan pendientes cuyas inclinaciones oscilan hasta alcanzar valores muchísimo más elevados ($\geq$ 10; Figura 2.1.38). Por su parte, los patrones representados por los desniveles coinciden con las oscilaciones mencionadas arriba a propósito del valor *Ra*, si bien permiten reconocer una tendencia a la homogenización de los perfiles, a medida que el desgaste progresa. Las únicas litologías que parecen sufrir un incremento de desniveles a lo largo del tiempo son el micaesquisto granatífero y el gneis.

La relación observada entre las pendientes y los desniveles indica que un aumento en la inclinación de las pendientes no implica siempre un aumento en el desnivel comprendido por las mismas. A pesar de ello, el orden de magnitud que alcanzan las pendientes y los desniveles del basalto vesicular, el micaesquisto granatífero y el gneis, pone de manifiesto comportamiento diferenciado para estas tres litologías frente al resto, basado en una mayor capacidad de desarrollar perfiles rugosos.

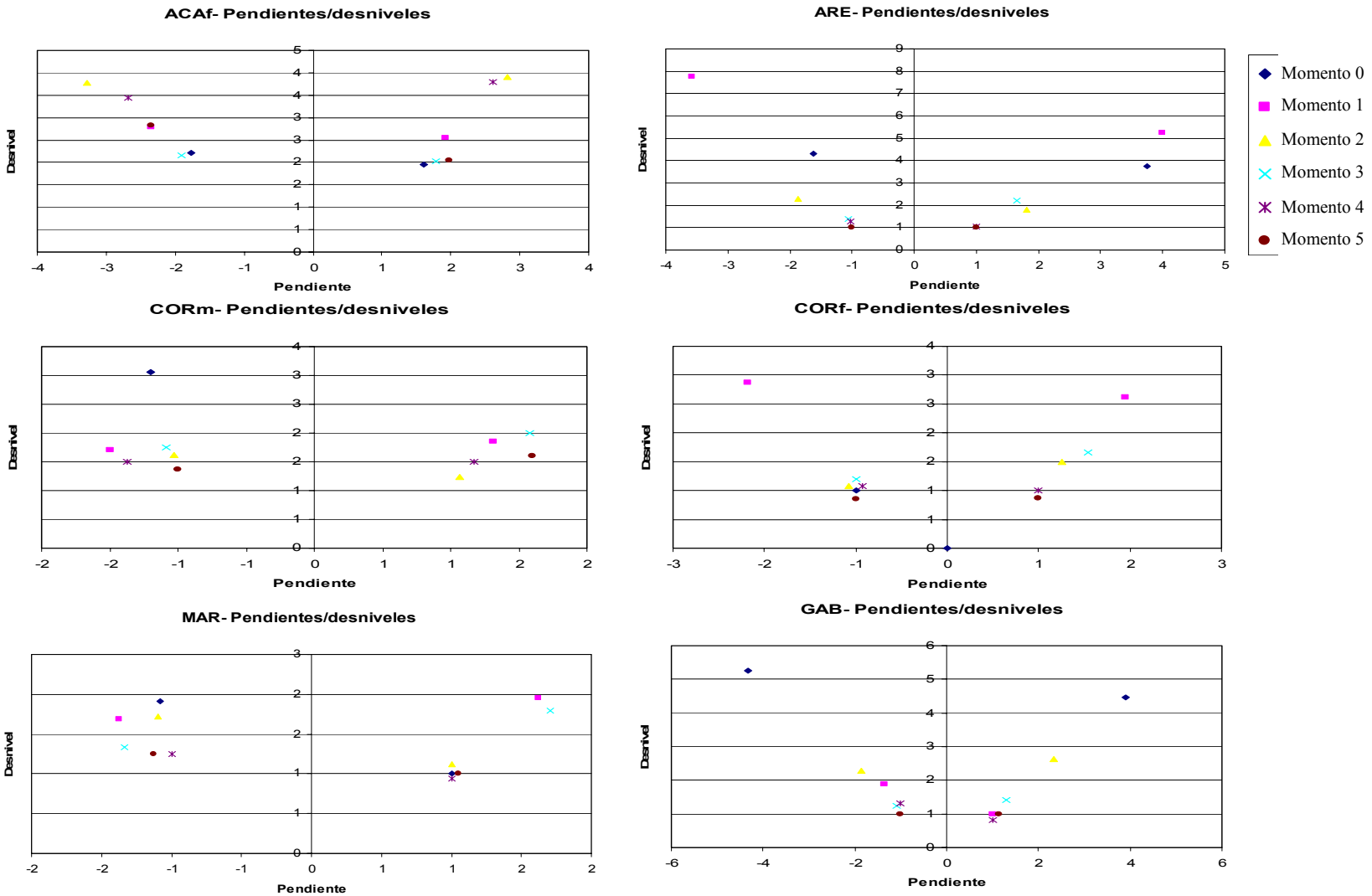


Figura 2.1.37: Pendientes y desniveles medios de los perfiles obtenidos en la pista Dorry. Las seis series indican los momentos de desgaste medidos.

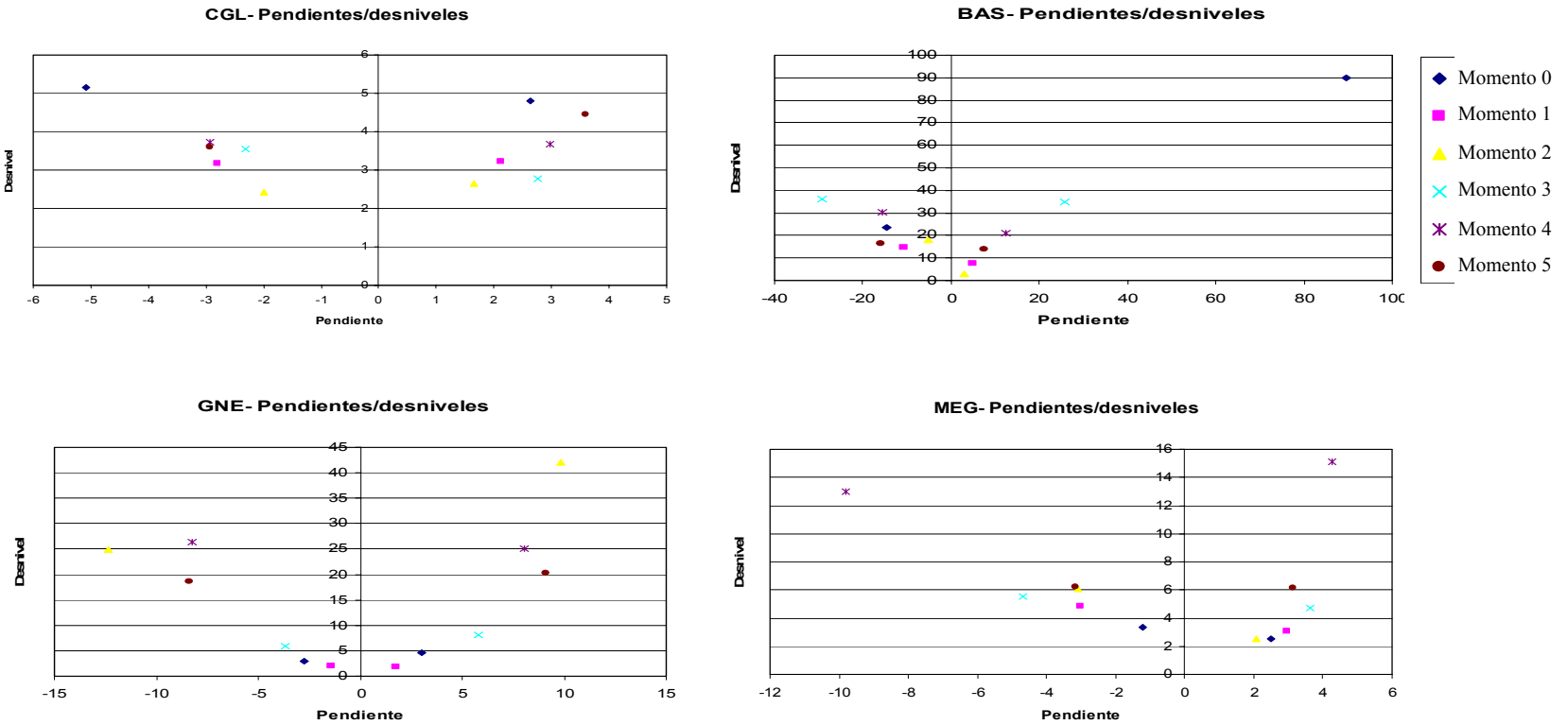


Figura 2.1.38: Pendientes y desniveles medios de los perfiles obtenidos en la pista Dorry. Las seis series indican los momentos de desgaste medidos.

Por otra parte, la relación existente entre las *pendientes* y las *longitudes* alcanzadas en los ensayos resulta interesante para caracterizar la microtopografía de una superficie, sobre todo, desde el punto de vista de la representación de los platós, con respecto a la cual varía en sentido inverso la cantidad de pendientes de ascenso y de descenso. Las rocas en forma de probetas sometidas a desgaste en la pista Dorry se pueden separar en dos grupos, dependiendo de su comportamiento en la formación de platós, durante los cinco ciclos experimentales. La mayoría de las rocas, comienzan con una alta frecuencia de platós y, a partir de ahí, alternan fases de aumento y disminución en sus frecuencias (Figura 2.1.39 y Figura 2.1.40). Es el caso del conglomerado, el micaesquisto granatífero, la corneana de grano fino, el gneis, la calcarenita y el basalto vesicular. Un comportamiento similar pero con un final en el que se da la frecuencia máxima de platós se observa en el caso de la arenisca, la corneana de grano medio, el mármol y el gabro.

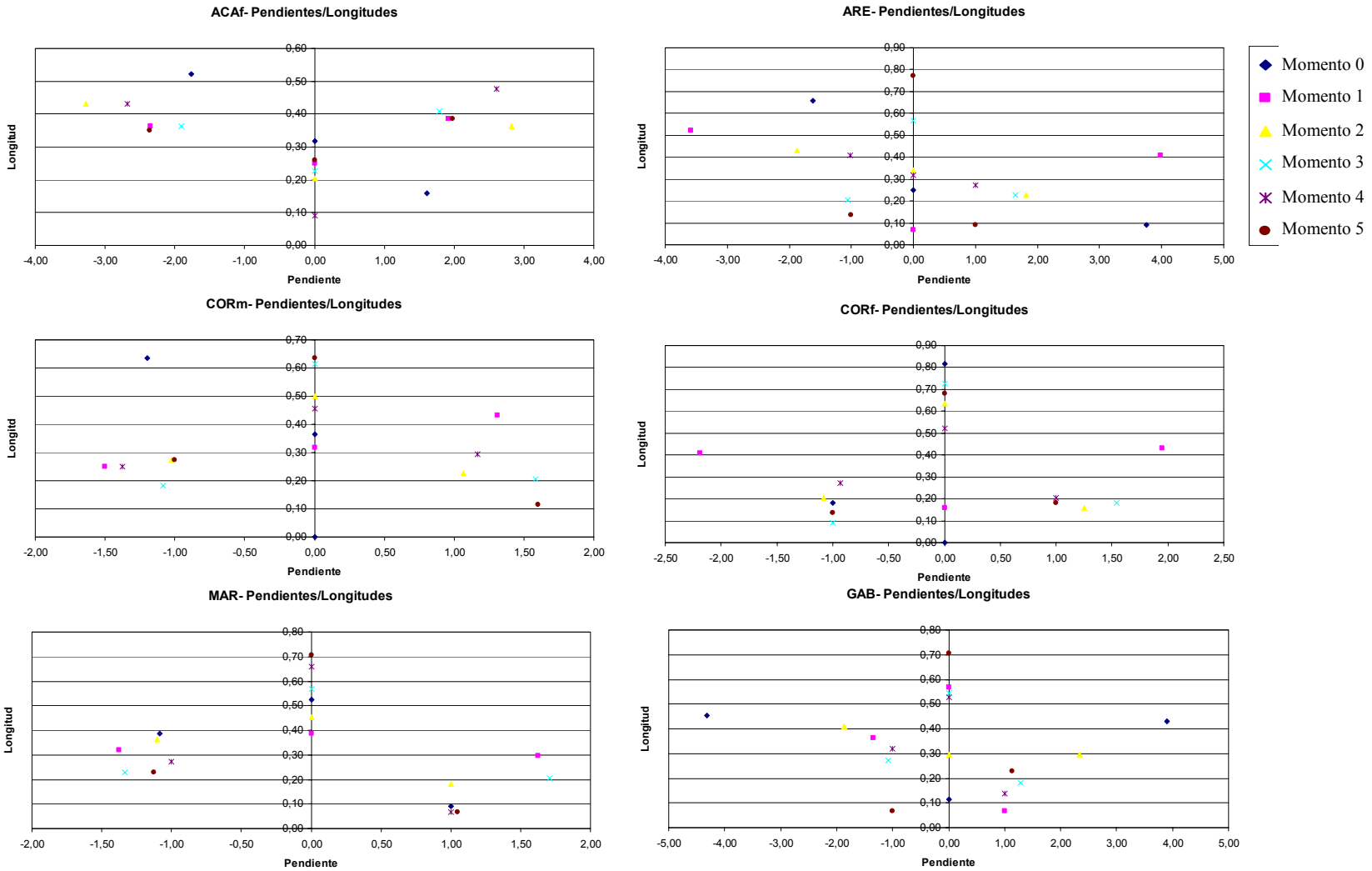


Figura 2.1.39: Pendientes y longitudes medios de los perfiles obtenidos en la pista Dorry. Las seis series indican los momentos de desgaste medidos.

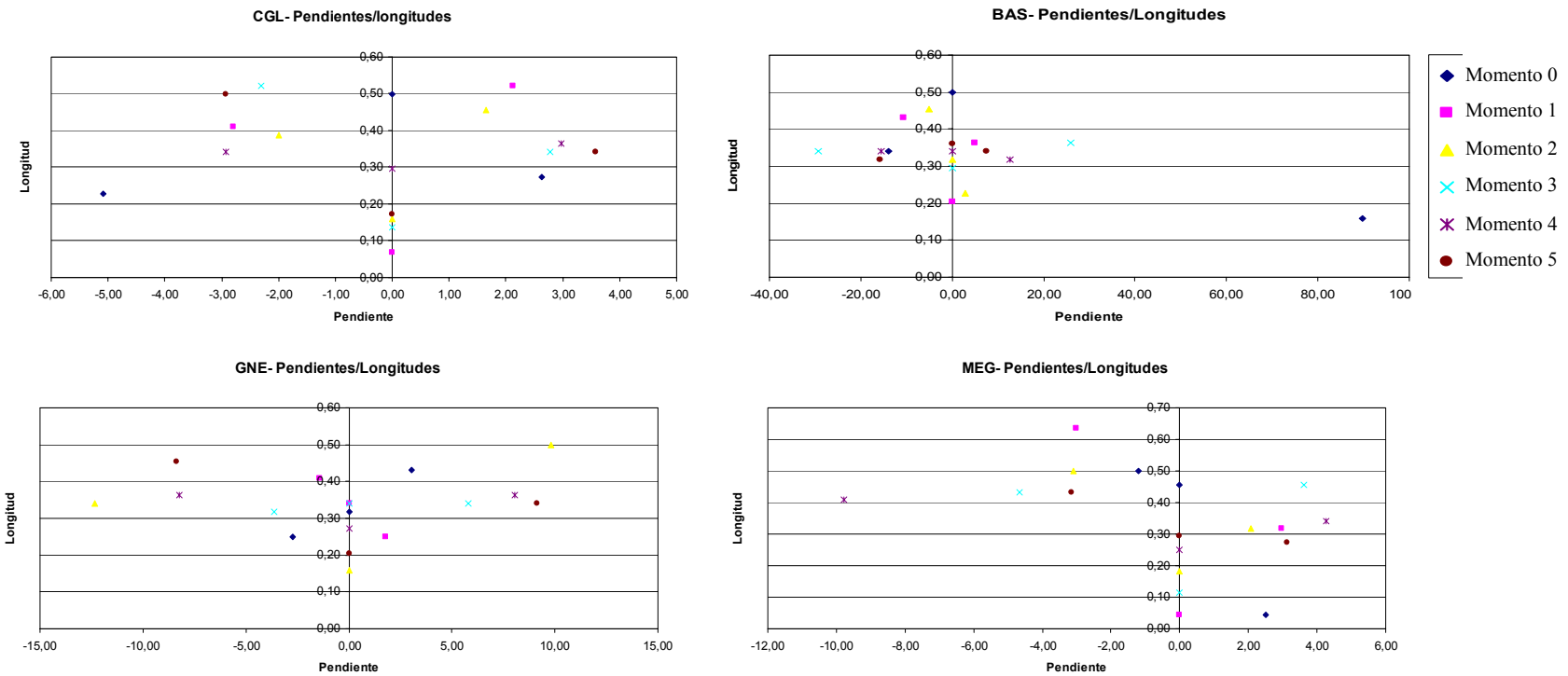


Figura 2.1.40: Pendientes y longitudes medios de los perfiles obtenidos en la pista Dorry. Las seis series indican los momentos de desgaste medidos.

En definitiva, la caracterización de los perfiles obtenidos en los ensayos sobre la pista Dorry basada en los valores *Ra* y *desnivel máximo* así como en el desglose de los perfiles en *desniveles, pendientes* y *longitudes,* permite destacar el basalto vesicular, el micaesquisto granatífero y el gneis como aquéllas litologías que desarrollan los perfiles más rugosos. A tenor de los resultados obtenidos en el análisis de correlación entre las variables intrínsecas de las rocas y las variables de control, las propiedades petrográficas que favorecen la formación de rugosidad son una composición mineral heterogénea, acompañada de una presencia importante de cuarzo, lo cual se corresponde, en gran medida, con un aumento de la microdureza media de la roca. En el caso concreto del basalto, recordemos que las vacuolas de varios milímetros de diámetro actúan como pronunciadas heterogeneidades que incrementan de forma considerable el grado de rugosidad.

De cara a valorar la capacidad abrasiva de las rocas, es necesario poner en relación la capacidad de cada litotipo de desarrollar rugosidad con la resistencia que éste opone a la fricción. Por un lado, reconocemos un grupo de rocas litológicamente muy heterogéneo que desarrolla grados de rugosidad en torno a la línea del valor *Ra* 2, frente a un segundo grupo, formado por el micaesquisto granatífero, el gneis y el basalto vesicular, que incluye rocas con valores *Ra* superiores a 5 (Figura 2.1.41). A su vez, las rocas con una capacidad escasa de desarrollar rugosidad se separan claramente entre aquéllas que presentan una pérdida de volumen acelerada (mármol, calcarenita y arenisca) y aquéllas que ofrecen una mayor resistencia a la fricción (corneanas, gabro y conglomerado).

Con todo, el basalto vesicular y el gneis presentan la máxima capacidad de desarrollar superficies rugosas. Por su parte, el micaesquisto granatífero también es capaz de desarrollar superficies relativamente rugosas, constituyendo además la segunda roca más resistente a la fricción, tras la corneana de grano medio.

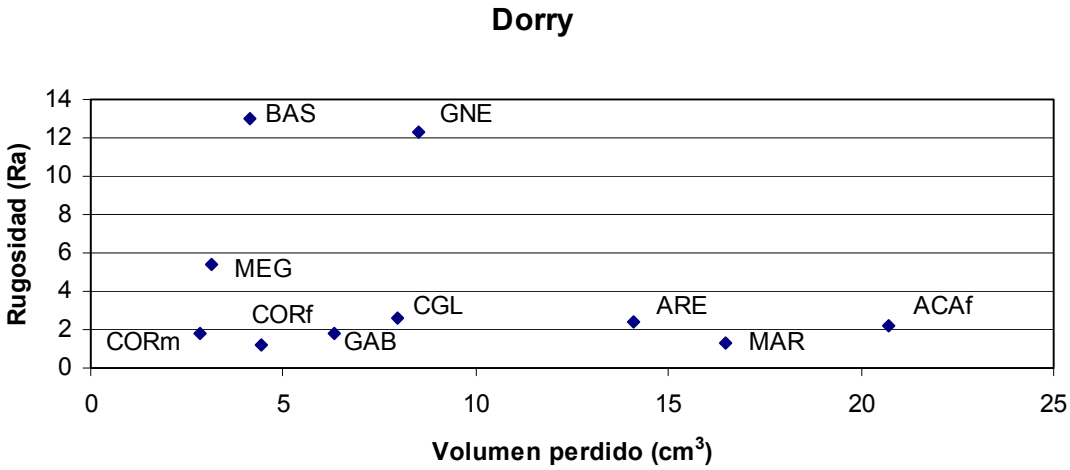


Figura 2.1.41: Relación entre el valor de rugosidad *Ra* y la pérdida total de volumen en los experimentos realizados sobre la pista Dorry.

Resultados de los experimentos: PEI

La cinemática notablemente diferente a la máquina de ensayo, se hace patente en los resultados obtenidos en el PEI, dado que son relativamente divergentes. En primer lugar, la variación entre los pesos iniciales y los finales es mucho más pequeña, debido a la carga de 300 gr de bolas de acero que rueda aleatoriamente sobre la superficie. Por otro lado, la misma naturaleza de la materia abrasiva, en forma de partículas erráticas que se adaptan mejor a las irregularidades preexistentes en la superficie, permite que éstas actúen de manera más individualizada sobre cada una de las inclusiones minerales de la roca, lo contrario que sucede con la pista Dorry.

1) Peso y volumen

El ritmo con el que disminuye el peso de las probetas a lo largo del ciclo experimental es, en todos los casos, altamente lineal ($R^2 = < 0{,}98$) y no permite establecer patrones de pérdida de peso diferenciados.

Los resultados obtenidos a raíz del análisis de correlación entre las variables intrínsecas y el volumen de materia perdida al término de los experimentos se diferencian en algunos aspectos de aquéllos que hemos destacado a propósito de la pista Dorry. La densidad aparente vuelve a aparecer como una cualidad que contribuye positivamente a la resistencia a la fricción (Figura 2.1.42). De esta forma, las rocas con menor densidad aparente resultan ser las que pierden mayor volumen de materia. Sin embargo, en oposición a lo que hemos descrito en el apartado anterior, la homogeneidad composicional y la angulosidad también parecen haber influenciado la pérdida de materia, sin que hasta el momento hayamos encontrado explicación alguna a estos fenómenos. Es posible que el reducido tamaño del material de contacto, en forma de bolitas metálicas de pocos milímetros de diámetro, haya propiciado un desgaste individualizado y diferenciado de las partículas minerales, pudiendo conducir a una menor resistencia a la fricción cuanto mayor es la homogeneidad composicional.

Variable de control / Variables intrínsecas	Volumen perdido
Homogeneidad composicional	-0,694
Contenido en cuarzo	0,146
Angulosidad	-0,581
Granulometría máxima	-0,365
Granulometría mínima	0,107
Densidad aparente	-0,550
Porosidad abierta	0,519
Microdureza media	-0,207
Cohesión	-0,443

Figura 2.1.42: Análisis de correlación entre las variables intrínsecas de las rocas y la pérdida de volumen.

2) Rugosidad

El análisis de la rugosidad basado en valores absolutos, también difiere de lo observado para la pista Dorry en cuanto a la homogenización de la superficie. Mientras que en esta última el incremento de los ciclos experimentales implica una disminución en la rugosidad, en el caso del PEI el tiempo favorece su formación, tal y como se manifiesta en el cálculo de la media aritmética de las desviaciones (Figura 2.1.43). En este valor se fundamenta también la distinción de dos grupos que incluyen litotipos de diversa naturaleza. El primer grupo es aquél formado por rocas que desarrollan los perfiles más accidentados ($Ra > 5$), donde se incluyen el conglomerado, el micaesquisto granatífero y el gneis. Al mismo tiempo, éstas son las rocas que presentan mayor heterogeneidad composicional. Las depresiones profundas que se observan en los perfiles coinciden a menudo con el diámetro máximo de algunos de los componentes minerales, por lo que puede asumirse que a cada extracción incrementa notablemente el grado de irregularidad superficial. A ello se le suma el comportamiento diferenciado de las partículas minerales, algunas muy duras, frente a otras blandas, que conlleva su desaparición de la superficie en momentos diferentes.

El segundo grupo abarca rocas con un desarrollo mínimo de la rugosidad, y está compuesto por litologías de muy diversa condición mineralógica: mármol, calcarenita, corneana, gabro, y arenisca. Las dos primeras se distinguen por una homogeneidad composicional alta y por la baja dureza de sus minerales. Las corneanas y el gabro tienen una homogeneidad composicional media, con dominancia de dos minerales y una cohesión media-alta. La única roca composicionalmente heterogénea es la arenisca que, sin embargo tiene un grano muy fino y es granulométricamente muy homogéneo, lo que propicia una rugosidad de grado medio y sin grandes desniveles.

Como decíamos, hay un patrón común de aumento progresivo de rugosidad, en el que se incluye la mayoría de las rocas (Figura 2.1.43). Sin embargo, en dos casos el grado de rugosidad se estabiliza claramente durante los últimos momentos del desgaste. El conglomerado sufre una detención en los momentos 3 y 4, a los que sucede una disminución en la rugosidad. Algo similar se observa con el gneis, el cual mantiene su rugosidad durante los momentos 4 y 5. La frecuencia establecida para los ciclos experimentales no hace posible documentar la prolongación del valor *Ra* a lo largo de unos hipotéticos momentos 6 y 7. Sin embargo, habría sido interesante averiguar si el conglomerado es capaz de sufrir un proceso de "autorrenovación" de su superficie, recuperando cíclicamente los grados de rugosidades anteriores, o si el gneis prolonga o no el estado de su superficie a lo largo del tiempo. En oposición a ambas litologías, el micaesquisto granatífero incrementa progresiva pero lentamente el grado de rugosidad, lo cual indica que su capacidad de mantener inalteradas las condiciones de partida es bastante más elevada que en el resto de las rocas "rugosas".

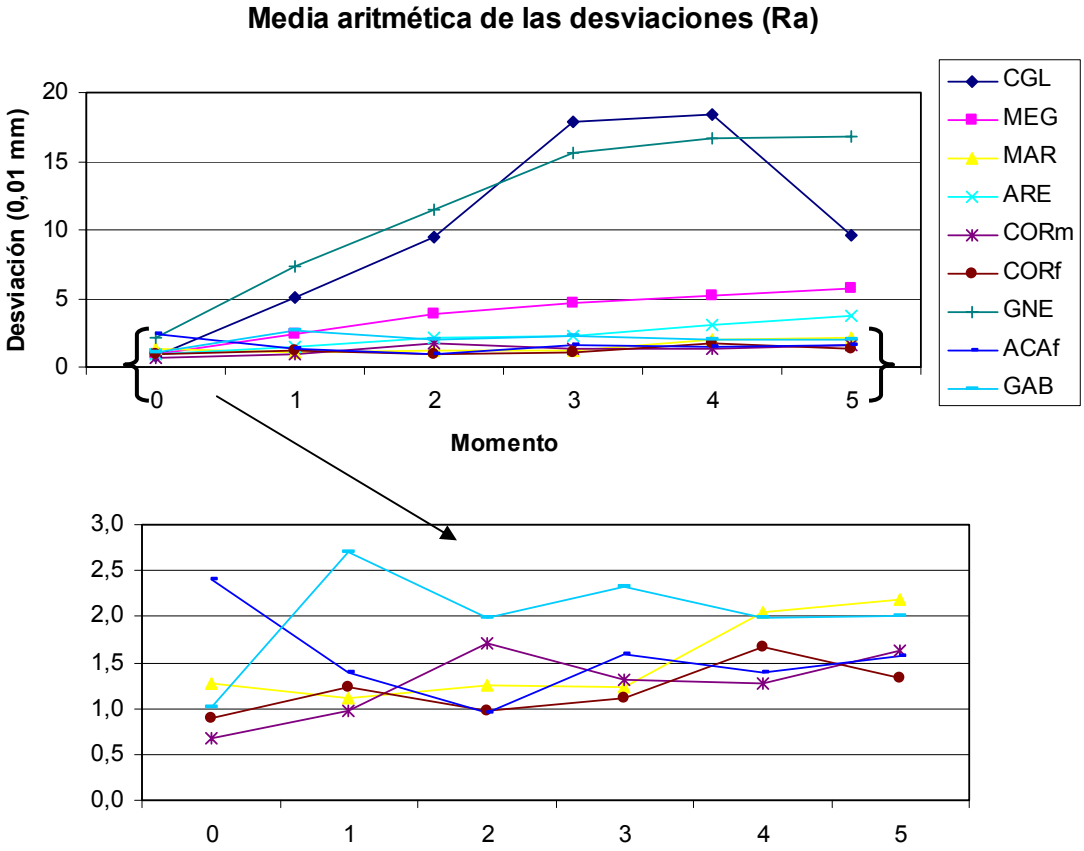
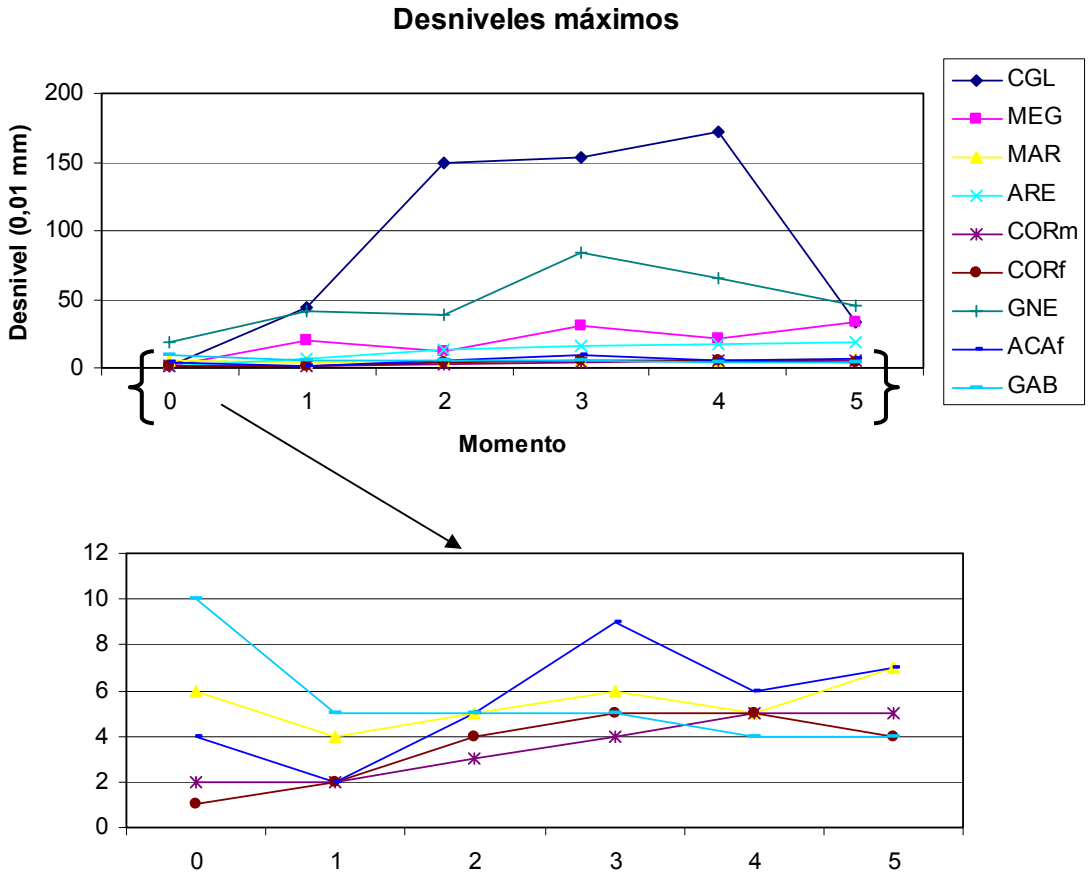


Figura 2.1.43: Media aritmética de las desviaciones a lo largo de los seis momentos de desgaste por los que pasa cada litotipo en el PEI. El gráfico inferior representa la fracción más baja del gráfico superior con los litotipos que presentan las menores desviaciones.

El promedio de los *desniveles máximos* en los perfiles de cada superficie, los cuales representan el mayor intervalo comprendido entre dos puntos, corroboran la existencia de dos comportamientos litológicos determinados por las condiciones mineralógicas más o menos homogéneas que pueden caracterizar las rocas (Figura 2.1.44). El conglomerado, el micaesquisto granatífero, el gneis y, en menor grado, la arenisca son

aquellas rocas que presentan los mayores desniveles máximos, siendo, al mismo tiempo, aquéllas que mayor variabilidad mineralógica contienen. Adicionalmente, algunas texturas, clásticas y foliadas han favorecido la extracción de partículas minerales enteras. Ello se pone de manifiesto en el caso del conglomerado y el gneis, donde la métrica de los desniveles cae dentro de los límites marcados por las dimensiones máximas y mínimas de las inclusiones minerales.



Momentos	CGL	MEG	MAR	ARE	CORm	CORf	GNE	ACAf	GAB
0	2	1	6	2	2	1	19	4	10
1	44	20	4	7	2	2	41	2	5
2	150	12	5	14	3	4	39	5	5
3	153	31	6	16	4	5	84	9	5
4	172	22	5	18	5	5	66	6	4
5	33	33	7	19	5	4	46	7	4
Promedio (µm)	92,33 (923,2)	19,83 (198,3)	5,50 (55)	12,67 (126,7)	3,50 (35)	3,50 (35)	49,17 (491,7)	5,50 (55)	5,50 (55)
Granul. máx-mín (µm)	1200-80	1000-40	2800-1200	150-40	1200-1200	400-400	2000-40	2000-70	3200-200

Figura 2.1.44: Desniveles máximos observados en cada uno de los momentos de desgaste en el PEI (gráfico); promedios de los desniveles máximos y rangos granulométricos de cada litología (tabla).

Las diferencias mencionadas en la formación de rugosidad entre las diversas litologías, vienen determinadas, en el caso del ensayo sobre el PEI, principalmente por la

homogeneidad composicional, lo cual coincide con los resultados obtenidos para la pista Dorry (Figura 2.1.45). De esta manera, cuanto mayor sea ésta menor será el grado de rugosidad alcanzado por las superficies. Por otro lado, mientras que en el ensayo sobre la pista Dorry el contenido en cuarzo y, por extensión, la microdureza media de la roca, son cualidades que igualmente condicionan el desarrollo de la rugosidad, en este caso los valores de correlación no son significativos. Por el contrario, la densidad aparente resulta ser un impedimento para el desarrollo de perfiles rugosos, y un mayor porcentaje de porosidad abierta aporta condiciones favorables a la formación de rugosidad.

La relevancia de la homogeneidad granulométrica junto con la densidad aparente y la porosidad abierta en el mecanismo de desgaste del tipo PEI se debe probablemente al contacto que se genera entre la superficie lítica y las bolas que ruedan sobre ella. Las reducidas dimensiones de estas últimas permiten, por un lado, un desgaste individualizado y diferenciado de los componentes, más insistente en algunos minerales que en otros. Por el otro lado, la capacidad de incidencia de las bolas en las porosidades superficiales ha podido propiciar la acentuación de las mismas por pérdida de material en sus bordes.

Variables de control / Variables intrínsecas	Rugosidad Ra	Desnivel máximo
Homogeneidad composicional	-0,775	-0,744
Contenido en cuarzo	0,486	0,308
Angulosidad	-0,321	-0,574
Granulometría máxima	0,015	-0,103
Granulometría mínima	-0,219	-0,194
Densidad aparente	-0,478	-0,645
Porosidad abierta	0,583	0,794
Microdureza media	0,341	0,091
Cohesión	-0,343	-0,323

Figura 2.1.45: Análisis de correlación entre las variables intrínsecas de las rocas y el desarrollo de la rugosidad.

En el análisis que relaciona los *desniveles* con las *pendientes* se han obtenido resultados verdaderamente diferentes a los de la pista Dorry (Figura 2.1.46 y Figura 2.1.47). Las rocas vuelven a dividirse en dos escalas de observación debido al grado de desarrollo de la rugosidad. Sin embargo, desde un punto de vista de la dispersión de las pendientes y los desniveles, se puede afirmar que existe una linealidad en la mayoría de los casos, de manera que a un aumento en la inclinación de las pendientes le corresponde un incremento en el desnivel. Esta linealidad afecta tanto a rocas de mineralogías heterogéneas (gneis, micaesquisto, conglomerado, arenisca) como a litologías homogéneas (corneanas, gabro y, en general a la calcarenita). Ello se enmarca además en un aumento progresivo de las irregularidades superficiales, tal y como lo indicaba anteriormente el valor *Ra*.

En cuanto a los órdenes de magnitud, el conglomerado, el gneis y el micaesquisto granatífero representan las rocas que desarrollan mayores desniveles y pendientes más inclinadas. En el extremo opuesto se sitúa el mármol, cuyas superficies desarrollan grados de rugosidad mínimos y, al mismo tiempo, poco variables a medida que el desgaste progresa.

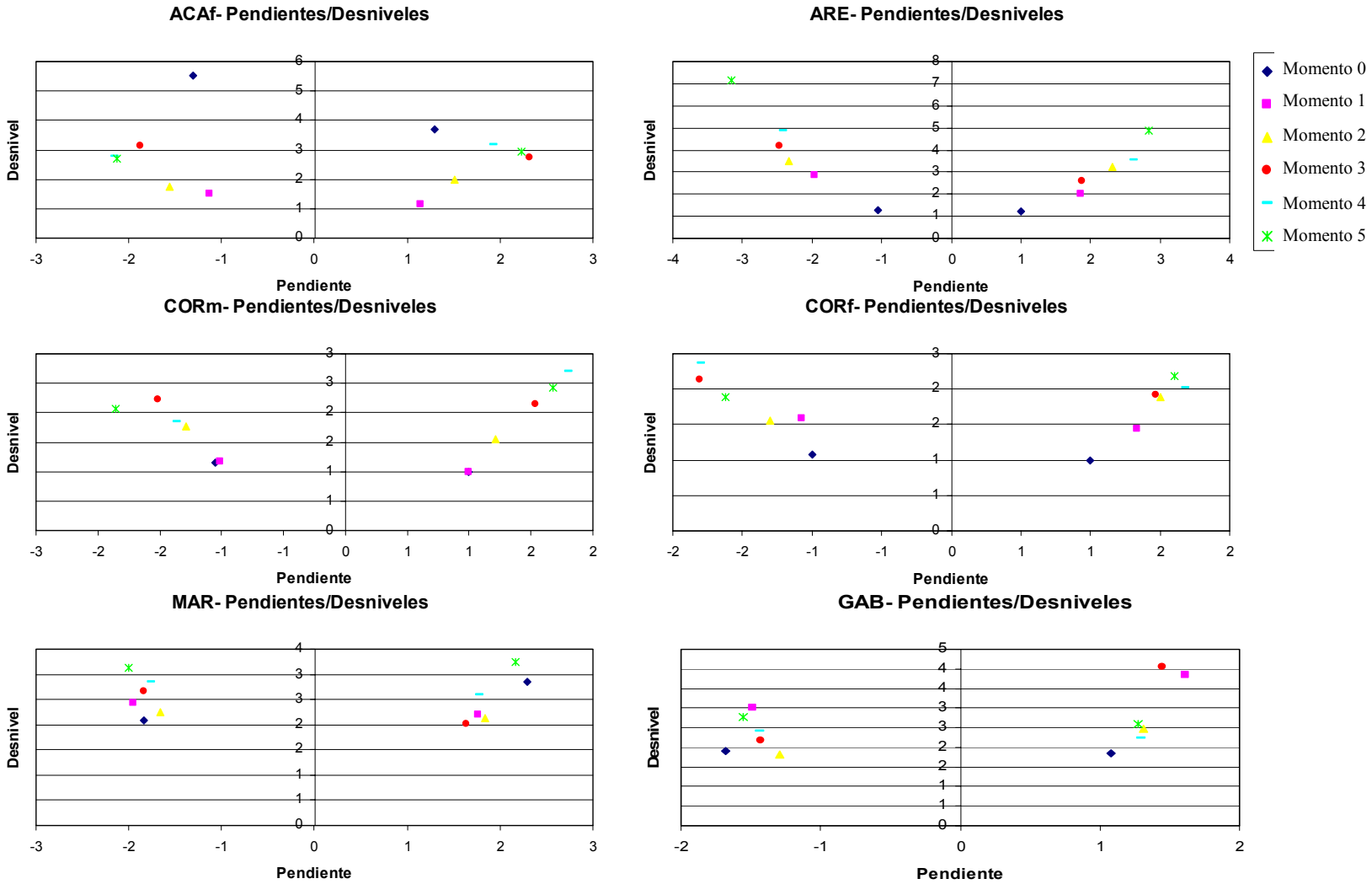


Figura 2.1.46: Pendientes y desniveles medios de los perfiles obtenidos en el PEI. Las seis series indican los momentos de desgaste medidos.

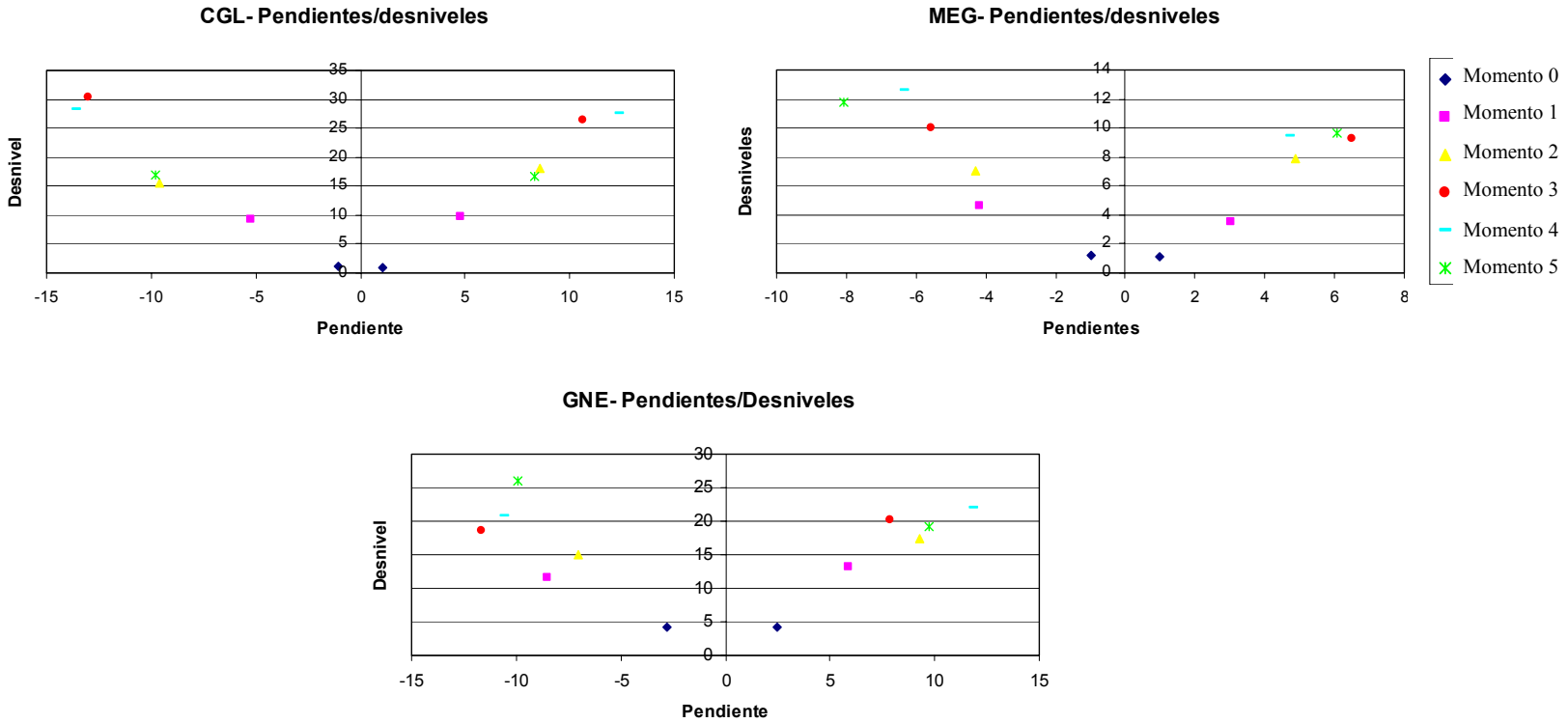


Figura 2.1.47: Pendientes y desniveles medios de los perfiles obtenidos en el PEI. Las seis series indican los momentos de desgaste medidos.

En lo que respecta a las *longitudes* en las que están representadas las *pendientes*, volvemos a encontrar dos tendencias (Figura 2.1.48 y Figura 2.1.49). Ambas tienen en común un predominio generalizado de platós en el momento previo al desgaste, frente a las pendientes de ascenso y de descenso. En un momento más avanzado del desgaste tiene lugar, también en todos ellos, una inversión en la frecuencia relativa de dichos platós a favor de las pendientes. Sin embargo, dicha inversión se manifiesta, en el caso de las rocas composicionalmente heterogéneas (conglomerado, micaesquisto, arenisca y gneis), entre el primer y segundo momento de desgaste, mientras que en el resto de las rocas los platós perduran hasta momentos más tardíos (corneanas, calcarenita, gabro). Ello indica que las rocas que contienen minerales de diversa naturaleza desarrollan ya, desde los primeros estadios de desgaste, una mayor rugosidad que el resto de litologías.

Anteriormente hablábamos del retroceso de la rugosidad en el conglomerado durante el último momento, el cual acontecía tras un detenimiento de la formación de la misma en los dos momentos previos (momentos 3 y 4; Figura 2.1.43). Con la referencia de las pendientes, los desniveles y las longitudes se hace posible matizar la naturaleza de este acontecimiento. Vemos, por un lado, que tanto la inclinación de las pendientes como los desniveles correspondientes al último estadio de desgaste retroceden hasta alcanzar la misma situación que en el momento 2 (Figura 2.1.47). Por otro lado, la proyección de la representación de las pendientes a lo largo del plano horizontal del perfil nos indica que éstas siguen manteniendo una longitud parecida (Figura 2.1.49). La asociación de estos tres aspectos permite asumir el cambio entre una superficie altamente rugosa (momentos 3 y 4) y una más sinuosa (momentos 2 y 5), manteniendo aproximadamente la misma cantidad de pendientes, es decir, protuberancias.

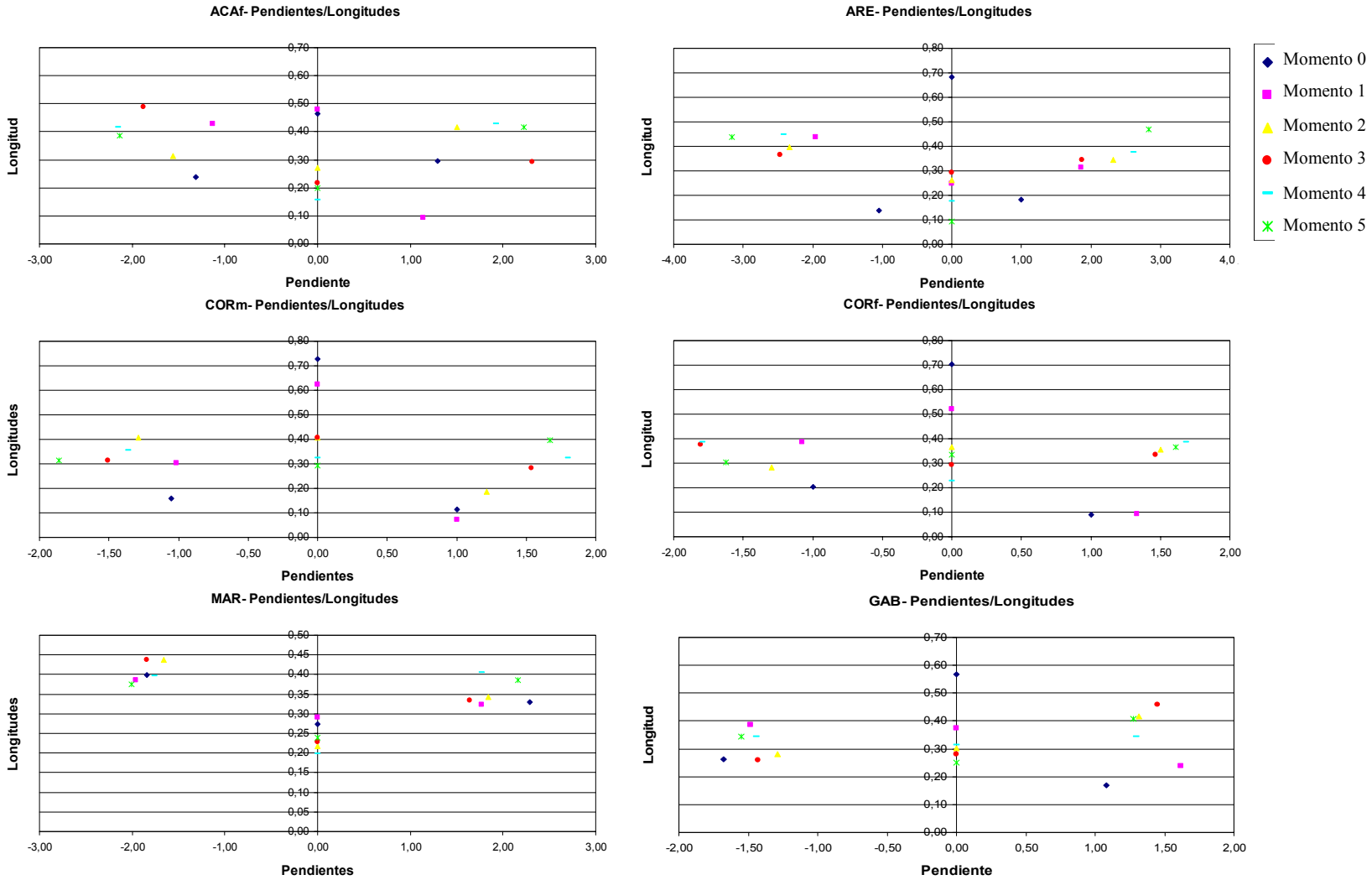


Figura 2.1.48: Pendientes y longitudes de los perfiles obtenidos en el PEI. Las seis series indican los momentos de desgaste medidos.

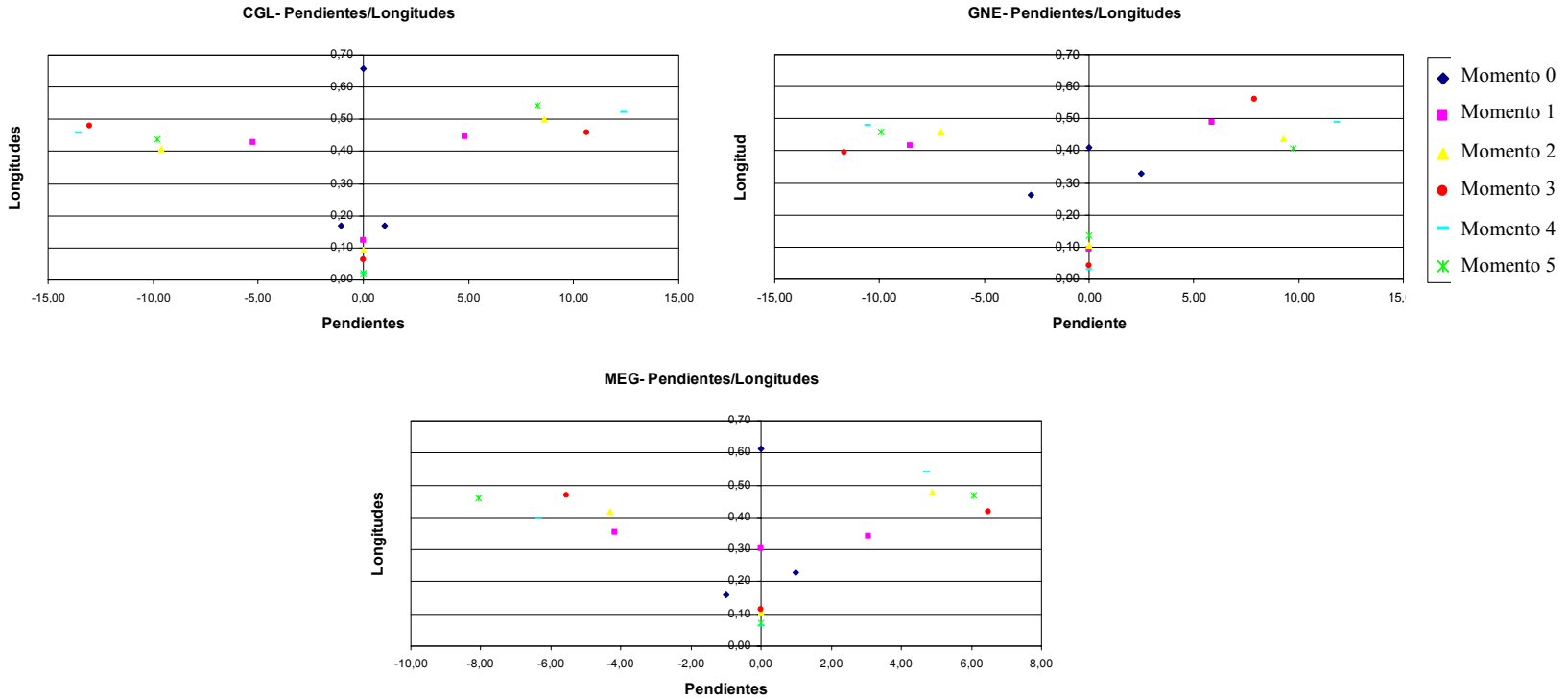


Figura 2.1.49: Pendientes y longitudes de los perfiles obtenidos en el PEI. Las seis series indican los momentos de desgaste medidos.

Como ya se ha dicho en capítulos anteriores, la asociación entre el desarrollo de la rugosidad y la pérdida de volumen da cuenta de la capacidad abrasiva de un material. En el caso de las rocas sometidas a desgaste en el PEI volvemos a encontrar un grupo de materiales que desarrolla superficies poco rugosas, con valores *Ra* en torno a 2 (Figura 2.1.50; gabro, corneanas, calcarenita, mármol y arenisca). En este grupo se registran litologías que oponen grados de resistencia a la fricción diversos, en los que el gabro constituye la roca más resistente y la arenisca la menos resistente. Las superficies más rugosas aparecen asociadas al basalto vesicular, el gneis, el conglomerado y, en menor medida, el micaesquisto granatífero. A pesar de ello, esta última roca presenta la ventaja de ser una de las más resistentes a la fricción del total de la muestra. Así mismo, ya hemos indicado que el micaesquisto es, dentro del grupo de los materiales rugosos, aquél que más constantes mantiene las condiciones de rugosidad iniciales a lo largo del ciclo experimental (Figura 2.1.43 y Figura 2.1.44).

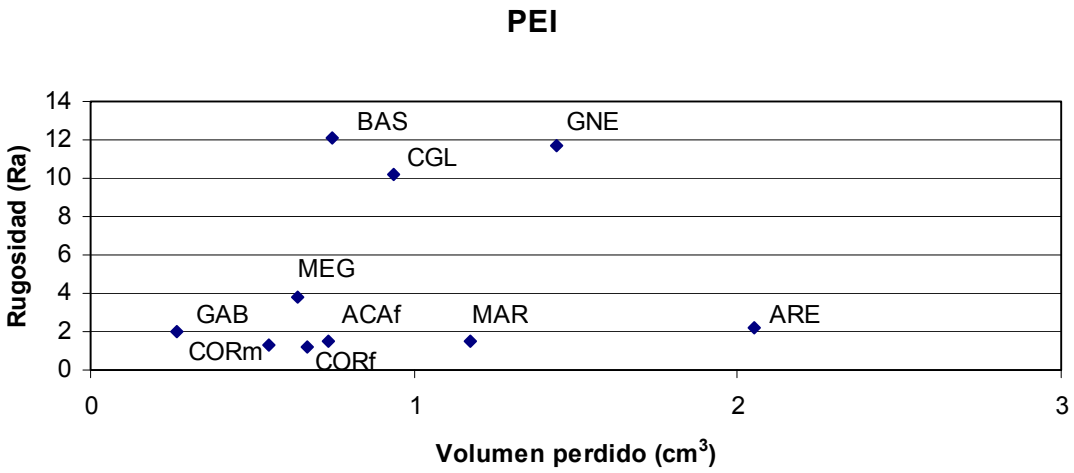


Figura 2.1.50: Relación entre el valor de rugosidad *Ra* y la pérdida total de volumen en los experimentos realizados sobre el PEI.

Resultados de los experimentos: Prensa

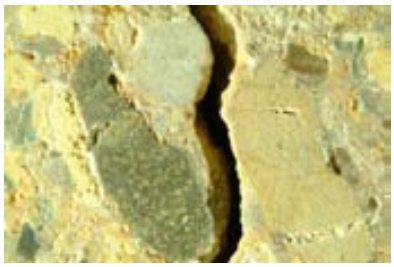
Carga de rotura

En los experimentos de resistencia a la flexión se ha obtenido la carga de rotura, en kg, para cada litología. Este dato aparece influenciado por un conjunto de características intrínsecas de la roca. En primer lugar, podemos asumir que la ausencia de orientación de los componentes minerales favorece la resistencia de las rocas a situaciones de carga. Las probetas que presentan una clara orientación de sus minerales, fueron las primeras en fracturarse, concretamente, antes de alcanzar los 500 kg de carga. En este grupo figuran todas las rocas dotadas de una pronunciada anisotropía, sea por foliación o por laminación, es decir, la calcarenita, la arenisca, el micaesquisto granatífero y el gneis. El conglomerado es el único litotipo poco resistente y exento de una textura orientada, si bien es, al mismo tiempo el más resistente del grupo. En este caso, los efectos de la carga se han propagado claramente a favor de los límites establecidos entre los granos y la matriz, los cuales constituyen los puntos débiles de su estructura (Figura 2.1.51).

Frente a estas rocas, el basalto vesicular, el mármol y las corneanas soportan cargas considerablemente mayores (>1000 kg). Los parámetros texturales que predominan entre ellas son bien una ausencia de orientación de sus componentes minerales o bien una orientación muy leve combinada con densidades y grados de cohesión elevados, tal y como los presentan las corneanas gracias a la retrogradación a la que han sido sometidas.

Micaesquisto granatífero

Conglomerado



Mármol

Figura 2.1.51: Aspecto de los planos de fractura de las probetas de micaesquisto granatífero, conglomerado y mármol, tras el experimento de resistencia a la flexión.

Los índices de correlación resultantes para las variables intrínsecas numéricas y la carga de rotura de las rocas indican que, en términos generales, la cohesión es una de las propiedades más relevantes en la resistencia a la flexión, pues la favorece de forma significativa, a medida que aumenta (Figura 2.1.52). Lo mismo ocurre con la densidad aparente, la cual dota a la roca de buenas condiciones para resistir la carga. Por lo contrario, la porosidad abierta presenta un comportamiento inverso. Con un incremento de espacios abiertos en la roca, disminuyen los puntos de apoyo y distribución de la carga, por lo que la probeta se fractura antes. Estos resultados coindicen también con los expuestos por Lama y Vutukuri (1978c: figs. 12-15 y 12-16) a raíz de sus ensayos de compresión.

Variable de control / Variables intrínsecas	Carga de rotura
Homogeneidad composicional	0,489
Contenido en cuarzo	-0,239
Angulosidad	0,362
Granulometría máxima	-0,149
Granulometría mínima	0,065
Densidad aparente	0,635
Porosidad abierta	-0,518
Microdureza media	-0,007
Cohesión	0,635

Figura 2.1.52: Análisis de correlación entre las variables intrínsecas de las rocas y la resistencia a la flexión.

Teniendo en cuenta la importancia de la porosidad, el basalto vesicular no cumple con la condición de "homogeneidad textural" ya que, además de contener fenocristales, presenta un alto grado de vacuolas. A pesar de ello, su matriz de vídrio volcánico constituye uno de los materiales más cohesionados, densos y duros de la muestra litológica de lo que se deriva su carga de rotura elevada.

Una segunda litología que figura entre las más resistentes pero que, sin embargo, sólo cumple con parte los requisitos mencionados es el mármol, cuya densidad no se sitúa entre las más elevadas y cuya microdureza media es además muy baja (ver fichas). Este comportamiento material podría estar influenciado por su alta homogeneidad composicional y su textura granoblástica-cristalina. El hecho de que los cristales de calcita hayan desarrollado sus caras hasta topar con las de otro cristal, puede haber contribuido a favorecer una interpenetración entre los mismos dotándola de cierta capacidad para soportar situaciones de presión. Sabemos que entre los materiales arqueológicos del SE, se encuentran muchos percutores para cuya fabricación se ha utilizado este mismo material.

Por último, y vistos los diversos grados de resistencia a la flexión representados en las rocas sometidas al ensayo y las propiedades petrográficas que los incrementan o reducen, podemos presuponer que la carga soportada por el gabro, que no pudo ser incluido en el ensayo, entraría en los límites establecidos por las rocas más resistentes de esta muestra. Así lo sugieren la ausencia de anisotropía, la densidad sumamente elevada y la cohesión media (por cristalización de los minerales).

En definitiva, los resultados obtenidos en los ensayos de flexión ponen de manifiesto, por un lado, que la dureza de las rocas no siempre es un factor determinante en la resistencia mecánica. Por lo contrario, texturas exentas de orientación, asociadas a una escasa porosidad y a un alto grado de cohesión y densidad, propician las mejores condiciones para resistir situaciones de carga.

2.1.9 Consideraciones finales

Al término del análisis tribológico basado en los dos ensayos de fricción (Dorry y PEI), se desprende la existencia de dos grupos de rocas cuyo estudio requiere de tratamientos diferentes, tanto a nivel de obtención de medidas como a nivel de presentación de datos. Nos referimos con ello a:

a) rocas composicionalmente heterogéneas, que alcanzan tamaños de grano considerablemente altos y tienden a desarrollar superficies rugosas. Es el caso del conglomerado, el micaesquisto granatífero, el gneis y el basalto vesicular.

b) rocas composicionalmente más homogéneas, en las que pueden incluirse litlogías de dureza y cohesión variables. Este tipo de materiales tiende a reaccionar uniformemente, manteniendo superficies planas, independientemente de la pérdida lenta o acelerada de volumen. Se trata de la calcarenita, la arenisca, el mármol, el gabro y las corneanas.

Ante estas dos manifestaciones, se hace patente, por un lado, la necesidad de recurrir a técnicas de medición capaces de registrar con suficiente resolución las oscilaciones en el relieve. La elección del comparador de cuadrante ha sido acertada y necesaria de cara a la documentación de las superficies del grupo a, y suficiente para reconocer las microtopografías propias del grupo b. Sin embargo, muy probablemente, un rugosímetro más sensible habría posibilitado establecer matices para diferenciar mejor las superficies caracterizadas por una rugosidad baja. En cuanto a la presentación gráfica de los resultados se ha podido observar que también resulta imprescindible trabajar a dos escalas diferentes de resolución, con el fin de poder captar las oscilaciones en los datos rugosimétricos a lo largo de los ciclos experimentales. Ello ha hecho necesaria la exposición de los datos en gráficos diferentes a la hora presentar los resultados de todos los litotipos de la muestra experimental. Se reafirma, pues, la dificultad de hacer valoraciones sobre rocas petrográficamente diferentes.

En este capítulo hemos conocido el comportamiento mecánico de las rocas que componen la muestra, en base a una serie de variables de control obtenidas al término del programa experimental con máquinas de ensayo. Por su parte, el análisis por lámina delgada nos ha permitido conocer las características petrográficas de cada uno de los litotipos, las cuales han entrado en el análisis como variables intrínsecas. A lo largo de los apartados que hemos presentado, algunas relaciones establecidas por estas propiedades intrínsecas de las rocas y su comportamiento material han resultado ser significativas, sugiriendo una posible relación causal o condicionante entre ellas. Según dichas relaciones, las propiedades petrográficas que incrementan de forma importante la capacidad abrasiva de las rocas son una homogeneidad composicional baja, altos grados de densidad aparente y de cohesión y la presencia elevada de cuarzo (Figura 2.1.53). Por su parte, en las rocas más resistentes a la flexión convergen texturas isótropas, grados de densidad y cohesión altos y una porcentaje bajo de porosidad abierta.

Características litolígicas	Capacidad abrasiva		Resistencia a la flexión
	Resistencia a la fricción	Rugosidad	
Homogeneidad composicional	(x)	x	
Densidad aparente	x	(x)	x
Porosidad abierta	(x)	(x)	x
Contenido en cuarzo		x	
Microdureza media	(x)	(x)	
Homogeneidad granulométrica			
Angulosidad	(x)	(x)	
Orientación			
Cohesión	x		x
Textura orientada			x

Figura 2.1.53: Tabla que expone las características petrográficas de la roca que han influido de alguna manera en el comportamiento mecánico de las rocas sometidas a desgaste por fricción (Dorry y PEI) y por flexión (prensa). Entre paréntesis aparecen aquellas propiedades que han condicionado el comportamiento material sólo en uno de los dos ensayos de fricción.

Respecto a la caracterización de la capacidad abrasiva de las rocas, y teniendo en cuenta que el comportamiento de cada una de ellas frente al resto se mantiene relativamente constante en ambos ensayos de fricción (PEI y Dorry), ha sido posible estimar los valores medios para la rugosidad *Ra* y la pérdida de volumen (Figura 2.1.54). De ellos se desprende la existencia de marcadas diferencias entre las litologías analizadas.

Más de la mitad de las rocas desarrollan grados de rugosidad en torno a $Ra = 2$ y presentan, por lo tanto, una capacidad baja de generar superficies accidentadas. Estos materiales son petrográficamente muy variados entre sí pero incluyen normalmente un grado de homogeneidad composicional alto, como es el caso de las calcarenitas, los mármoles, las corneanas y los gabros. La única roca composicionalmente heterogénea, la arenisca, presenta una microdureza baja y una granulometría fina que podrían haber impedido el desarrollo de desniveles pronunciados en su microrrelieve. Sin embargo, entre estos materiales se registran dos grupos claramente diferenciados en función de la resistencia que oponen a la fricción. El grupo formado por las corneanas y el gabro asocia microdurezas y grados de cohesión preferentemente altos, mientras que a las areniscas, calcarenitas y mármoles se atribuyen valores inferiores en ambas variables.

Frente a este grupo de rocas, destacan litologías que presentan una capacidad abrasiva mayor, si bien sumamente variable. Por un lado, el grado de rugosidad superficial que llegan a desarrollar el basalto vesicular, el gneis, el micaesquisto granatífero y el conglomerado, está claramente relacionado con la coexistencia, en estas rocas, de minerales muy heterogéneos como cuarzo, mica, plagioclasa, turmalina, feldespato, granate, olivino, etc. Entre dichas rocas, los valores más altos de rugosidad se atribuyen al basalto y al gneis ($Ra \geq 12$). En el caso del basalto resulta crucial la presencia de auténticas vacuolas que no representan otra cosa que marcadas interrupciones en la matriz vítrea y que son las verdaderas generadoras de rugosidad. La razón de la mayor capacidad abrasiva del gneis se encuentra en el mayor tamaño del grano, en especial, de los minerales de gran dureza (cuarzo y feldespatos). Igualmente, la pérdida de volumen, que varía entre 2 y 6 cm^3, introduce diferencias sustanciales entre las cuatro litologías. El hecho de que el basalto vesicular y el micaesquisto granatífero presenten, en oposición al gneis y al conglomerado, un grado de cohesión alto, ha podido favorecer su resistencia a la fricción.

Si bien los valores que caracterizan la rugosidad del esquisto granatífero no son excesivamente altos, es interesante mencionar que esta roca resulta tanto o más resistente que las corneanas y los gabros. Además, se trata del material que más constante ha mantenido su rugosidad superficial a lo largo de los ciclos experimentales realizados. Por su parte, el conglomerado y el gneis presentan una resistencia a la fricción bastante más reducida debido a que son rocas con una menor cohesión entre las partículas.

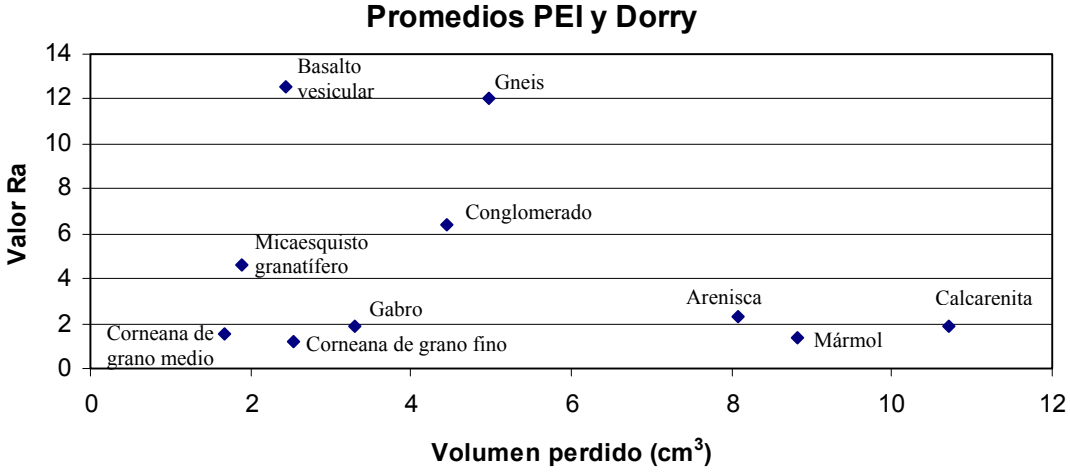


Figura 2.1.54: Capacidad abrasiva de las rocas según su rugosidad *Ra* y su resistencia a la fricción.

Retomando el esquema presentado en la Figura 2.1.15, entre las litologías que presentan una mayor capacidad abrasiva figuran los basaltos vesiculares y, en menor medida, los micaesquistos granatíferos, dada su pronunciada capacidad de resistir procesos de fricción y de mantener relativamente inalteradas sus propiedades mecánicas (Figura 2.1.55). Si bien los conglomerados y los gneises pueden llegar a desarrollar índices de rugosidad altos bajo determinadas condiciones tribológicas, son poco resistentes a la fricción. El resto de los materiales presenta una menor capacidad abrasiva, debido principalmente a su dificultad de generar superficies rugosas.

Capacidad abrasiva		**Resistencia a la fricción**	
		Alta	**Baja**
Rugosidad superficial	**Alta**	Basalto vesicular Micaesquisto con granates	Conglomerado Gneis
	Baja	Corneanas Gabro	Arenisca Mármol Calcarenita

Figura 2.1.55: Agrupación de las rocas analizadas según los dos parámetros que definen su capacidad abrasiva.

Por su parte, las rocas más resistentes a la flexión y, por lo tanto, apropiadas para una utilización en contextos percusivos, han resultado ser las rocas ígneas (basaltos y muy probablemente gabros) así como las corneanas y los mármoles.

En suma, las conclusiones que se desprenden de este capítulo permiten adscribir propiedades y capacidades mecánicas de muy diversa índole a las materias primas explotadas durante la prehistoria para la producción del instrumental macrolítico. En función de ello, el uso de determinadas rocas tuvo consecuencias directas en el desarrollo de las actividades de producción específicas en las que participaron como medios de trabajo, debido a su capacidad de cumplir mejor o peor con la/s funcionalidad/es asignada/s.

El ejemplo más claro lo encontramos en la producción de molinos en el SE peninsular. A tenor de los análisis traceológicos (capítulo 2.2) y petrográficos (capítulo 3) sabemos que los molinos más comúnmente utilizados en la molienda de grano fueron de conglomerado y de micaesquisto granatífero. Desde un punto de vista de eficacia operativa y rentabilidad económica, los resultados obtenidos permiten avanzar en la interpretación de la gestión realizada de estos materiales durante la prehistoria reciente. La diferenciación más clara entre ambos tipos de molino se da a nivel mecánico. Por un lado, la capacidad de desarrollar rugosidad superficial es claramente más elevada en el caso del micaesquisto granatífero. Por el otro, la resistencia que el micaesquisto opone a la fricción es también más destacada que en el conglomerado. En este sentido, mientras que el conglomerado aparece como el más apropiado para autorrenovar la rugosidad de sus superficies con la desventaja de una pérdida de volumen relativamente acelerada, el micaesquisto granatífero se manifiesta como el más resistente al desgaste, sin que ello suponga la permanencia prolongada de las partículas minerales en la superficie y el consiguiente agotamiento de la rugosidad.

La conjunción de ambos aspectos, alta resistencia a la fricción y buenas condiciones para desarrollar rugosidad, en el micaesquisto granatífero tiene como resultado una mayor capacidad abrasiva a la hora de interactuar con otros materiales. Ello conlleva una serie de implicaciones que configuran los procesos productivos en los que tomaron parte dichas rocas. Por un lado, cuanto mayor sea la capacidad de una roca de formar superficies rugosas, menor será el requerimiento de trabajos de mantenimiento destinados a reavivar la superficie activa. A raíz de las observaciones realizadas sobre los artefactos de molienda, sabemos que tanto los de micaesquisto como los de conglomerado fueron, en efecto, reavivados con mayor o menor periodicidad. La diferencia entre ambos se estableció muy probablemente en la frecuencia con la que en uno y en otro caso tenían lugar estas tareas. Por otro lado, una mayor resistencia al desgaste por fricción implicó un grado menor de pérdida de partículas minerales, lo que evitó, en el caso del micaesquisto, la obtención de productos adulterados por presencia de materias foráneas. En definitiva la mayor capacidad abrasiva del micaesquisto se tradujo en una mayor rentabilidad en términos de vida operativa así como en la calidad del producto resultante. En este sentido, en el marco de la prehistoria reciente del SE peninsular, es el micaesquisto el litotipo que, frente al conglomerado, mejor cumple con estos requisitos, al margen de otras rocas volcánicas utilizadas con menos frecuencia (andesitas, basaltos vesiculares), las cuales también introducen buenas propiedades para la molienda.

Frente a este panorama, se conoce, no obstante, que si bien el conglomerado es una roca comúnmente empleada en prácticamente todos los poblados, no todos ellos accedían a micaesquistos y a rocas volcánicas (Risch y Ruiz 1994). Tras la caracterización mecánica de algunas de estas rocas, estamos ahora en la condición de reafirmarnos en la hipótesis, ya plateada en otros estudios (*ibidem*, Risch 1995), de que la gestión y el intercambio de los recursos minerales así como el acceso a los mismos responde claramente a intereses político-económicos que tuvieron importantes consecuencias en la rentabilidad económica de los medios de trabajo.

Las exigencias mecánicas impuestas en la producción de ítems macrolíticos, también se reflejan claramente en otras categorías artefactuales. En cuanto a las particularidades de otros materiales como el gabro, que presentan cierta dureza mineralógica y una considerable homogeneidad composicional, destaca su capacidad de mantener su superficie en un grado de rugosidad mínimo durante un tiempo prolongado de acción o sometimiento al desgaste por fricción contra otro material duro. Esta cualidad lo hace, por un lado, apropiado para trabajos de abrasión en los que se pretende uniformizar una segunda superficie de relativa dureza, como son las materias minerales. Este es el caso del bruñido de la cerámica o el pulido del metal, actividades que muy probablemente se llevaron a cabo con artefactos fabricados con estos materiales. En este caso no hablaríamos de una capacidad abrasiva alta, sino de una resistencia a la fricción elevada con desarrollo prácticamente nulo de rugosidad.

A pesar de que no hemos podido realizar el experimento de resistencia a la flexión con el gabro o alguna roca similar, es previsible que, dadas las características litológicas observadas a través de lámina delgada y de los ensayos de fricción, las cuales le otorgan un alto grado de solidez y tenacidad, esta roca sea capaz de soportar cargas comparables a las que han resistido las corneanas. Los ensayos de compresión también lo sugieren así (Deere y Miller 1966: 275). Este hecho puede estar directamente relacionado con el implemento de artefactos prehistóricos de gabro como percutores, en el reavivado de superficies de molienda, o como martillo y yunques, en el martilleado de superficies metálicas. La resistencia a la flexión, relativamente alta, que presenta el mármol también explicaría por qué algunos de los artefactos percusivos fueron elaborados sobre esta roca, como alternativa a las rocas ofíticas.

Lo mismo ocurre con las corneanas del noroeste peninsular, destinadas a la producción de artefactos biselados, las cuales además se han presentado como las más resistentes a la deformación y fractura bajo condiciones de carga elevada.

Con los resultados tribológicos presentados en este capítulo hemos podido avanzar en el conocimiento sobre las reacciones mecánicas de las rocas empleadas en procesos de producción prehistóricos y reconocer, en algunos casos, las variables intrínsecas que las propician. A partir de aquí, es necesario mantener todo lo que se desprende de este capítulo como telón de fondo, para integrarlo en el marco del uso y el desgaste real de las rocas utilizadas como artefactos prehistóricos y réplicas experimentales.

2.2 Establecimiento del sistema de documentación microscópica de huellas. Experimentación y traceología

En el capítulo anterior se hizo alusión a las propiedades mecánicas de los materiales líticos que están íntimamente relacionadas con la resistencia que éstos oponen al desgaste. Ello nos ha ayudado a definir la naturaleza de los materiales en base a una serie de criterios experimentales y cuantitativos comunes que se han aplicado por igual a todos los litotipos muestreados. La realización de los experimentos mecánicos llevados a cabo con máquinas compuestas por materiales industriales, ha permitido "acelerar" la evolución del desgaste a efectos de propiciar transformaciones suficientemente desarrolladas y sensibles a medidas de pérdida de peso e incremento/disminución de rugosidad. Si bien este método define un punto de partida sólido para la comprensión de los procesos de desgaste sobre instrumentos líticos, nada nos dice sobre los aspectos cualitativos de las huellas que se generan bajo condiciones específicas de contacto. ¿Cuáles son los procesos de producción en los que han intervenido los instrumentos de trabajo prehistóricos? ¿Qué mecanismos de contacto han llevado al desarrollo de los patrones de desgaste observados sobre ellos? ¿Existen huellas diagnósticas de modos de contacto específicos?

Para poder dar respuesta a estas preguntas es necesario ampliar el campo de experimentación más allá del propio instrumento de trabajo y generar contextos en los que éste último opere en contacto con materias primas potencialmente utilizadas por las sociedades objeto de estudio. En el capítulo anterior sobre los experimentos del comportamiento material, otorgábamos un carácter independiente a las variables intrínsecas y a las variables controladas puesto que ambos tipos de variables son seleccionados e introducidos por la/s persona/s que diseña/n y realiza/n los experimentos. Recordemos que las primeras se refieren a las propiedades de los cuerpos que intervienen en el contacto y permanecen constantes en todo momento, mientras que las segundas forman el conjunto de parámetros operacionales que se van introduciendo a lo largo del experimento. Estos últimos se aplican de una forma completamente artificial o convencional permitiendo interrumpir, reanudar y, condicionar la actividad y, en definitiva, generar las variables dependientes de manera controlada. Por el contrario, en el caso de los instrumentos arqueológicos, contamos únicamente con el conocimiento sobre sus propiedades intrínsecas así como sobre los efectos finales que la conjunción entre éstas y las variables operacionales han propiciado, es decir, las huellas de producción. A partir de las diversas asociaciones que se propician en cada programa experimental, se forman los desgastes que después compararemos con los patrones observados sobre las superficies de trabajo arqueológicas. Con ello se persigue realizar inferencias sobre las variables introducidas a lo largo de los procesos de producción prehistóricos. Este procedimiento no está exento de problemas teóricos, puesto que asociaciones de diverso tipo pueden resultar en patrones de desgaste similares. Uno de los aspectos más evidentes que ilustra las limitaciones del análisis traceológico basado en la experimentación es el de la temporalidad y los ritmos de uso en referencia a la intensidad de uso de los artefactos. Una frecuencia de uso periódica puede generar el mismo desgaste sobre un artefacto que una duración determinada de la tarea, prolongada en el tiempo. Por otro lado, dos tareas en las que intervienen tipos diferentes de contacto, pueden desarrollar huellas cualitativamente similares.

Manteniendo en el trasfondo las dificultades que todo análisis experimental comporta a la hora de interpretar los resultados, en el presente capítulo perseguimos dos objetivos, uno de carácter arqueológico-particular y el otro de carácter metodológico-general. El primero consiste en realizar una aproximación traceológica a los patrones de desgaste que observamos sobre las superficies de los instrumentos arqueológicos del SE peninsular y Mallorca, mediante hipótesis contrastables, basadas en la composición de una colección de referencia que avale una propuesta acerca de su posible funcionalidad; el segundo objetivo va encaminado a definir un sistema destinado a la descripción de huellas que incluya formas de registro y una terminología estandarizadas.

La mayoría de los estudios realizados en el ámbito de la traceología de materiales tallados, se han preocupado por problemáticas muy concretas, las cuales han sido resueltas de forma más o menos satisfactoria. Dichos focos de atención giran principalmente en torno a manifestaciones individuales de mecanismos de desgaste, o bien abordan el análisis de diferentes formas de desgaste sobre un solo tipo litológico. Publicaciones como la de Tringham (1976) sobre el desarrollo de los desconchados en filos silíceos usados, la de Keeley (1980) sobre el pulido y las estrías, así como los trabajos de Mansur-Franchomme (1997) sobre la formación de pulido, son ejemplos de ello.

Esta especificidad de los estudios traceológicos se refleja así mismo en las, hasta ahora, escasas caracterizaciones funcionales de inventarios macrolíticos. Sobre todo, dos trabajos han tratado el tema experimental de manera pormenorizada (Dubreuil 2002, 2003; Hamon 2006). En los programas experimentales presentados por las autoras se desarrollan metodologías encaminadas a estudiar inventarios litológicamente muy uniformes, basaltos y calizas, y cuarcitas silificadas, respectivamente, entre los cuales los artefactos de molienda gozan de una atención especial.

Priorizando realizar un análisis lo más completo posible sobre las dinámicas ejercidas durante la prehistoria reciente en el Mediterráneo Occidental en torno a los instrumentos de trabajo macrolíticos, hemos evitado excluir cualquier categoría artefactual o litotipo y hemos intentado dar un primer paso hacia la formación de una colección de referencia que incluya huellas de desgaste generadas a partir de actividades con diversos materiales en contacto, teniendo la materia prima lítica como objeto de estudio primordial. Este propósito conduce a que en el grupo de ítems que aquí estudiamos estén representadas, por un lado, todo tipo de rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas con la variedad composicional y textural que ello comporta y, por el otro, categorías artefactuales de muy diversa índole. Por consiguiente, la dificultad de partida fundamental que presenta el estudio funcional de inventarios macrolíticos del SE peninsular, tal y como se aborda en este trabajo, reside en la considerable heterogeneidad petrográfica y categorial del objeto de estudio.

A menudo se ha afirmado que el sentido de la arqueología experimental es el de *conocer* antes de *re-conocer* (Plisson 1985: 8, 10). La generación de huellas de desgaste sobre las superficies de los materiales objeto de estudio en situaciones de contacto provocadas de manera controlada y el reconocimiento de huellas similares sobre los artefactos arqueológicos, lleva a proponer funcionalidades determinadas a los mismos. La tabla de contingencia que podríamos formar a partir de las huellas experimentales será teóricamente más completa, cuantas más combinaciones entre diversas variables materiales, operacionales, temporales etc. tengamos en cuenta. Obviamente, cuanto más

amplio sea el número de asociaciones incluidas en el programa experimental, mayor será la posibilidad de encontrar huellas correspondientes entre los inventarios arqueológicos y mayor será también el grado de precisión, al menos teórico, a la hora de reconocer e interpretar las huellas. Sin embargo, tal y como hemos aludido arriba, la investigación traceológica ha enseñado que la complejidad y la precisión de los programas experimentales no siempre son sinónimo de fiabilidad y que los resultados quedan a menudo a un nivel de reconocimiento genérico que contempla familias de materiales (blandos/duros, frescos/secos; Odell y Odell-Vereecken 1980).[40]

Por estas razones, consideramos la colección de referencia expositora de desgastes-tipo como una herramienta operativa, dirigida a *explorar y contrastar* hipótesis de trabajo específicas. Con nuestros experimentos no pretendemos reproducir o replicar los procesos de producción tal y como tuvieron lugar en la prehistoria, sino propiciar los contactos mecánicos posibles entre las materias potencialmente utilizadas en los procesos de producción y hacer una primera aproximación a la configuración del desgaste. Entendemos que el sentido y la operatividad de una colección de referencia, depende del grado de afinidad que ésta mantiene con el contexto arqueológico para cuyo estudio ha sido concebida. Consideramos necesario, por tanto, una confrontación constante entre la configuración y el desarrollo del programa experimental y las características del propio objeto de estudio, que son en última instancia, el instrumento y el contexto arqueológicos. La elección de los materiales que serán manipulados en contacto durante los experimentos debe estar basada en hipótesis definidas en base a otros datos empíricos procedentes de la paleobotánica, la arqueozoología, la carpología etc., como indicadores de elementos que con seguridad fueron procesados en el horizonte histórico al que corresponden los ítems macrolíticos. Hemos basado el programa experimental en evidencias arqueológico-contextuales para con él intentar realizar una aproximación a las posibles funcionalidades de los artefactos analizados. Esta manera de proceder, no implica la validez o importancia representativa de cualquier huella generada experimentalmente, ya que en la comparación arqueológica únicamente se tienen en cuenta aquéllas generadas en tareas que se han considerado eficaces, es decir, que han permitido la transformación deseada de la materia.

El segundo propósito que ya hemos mencionado brevemente al inicio de este capítulo, atiende a la necesidad de establecer un sistema de observación, documentación y terminología de huellas de uso estandarizado, como espacio de convergencia entre los resultados de diversos trabajos realizados ya en esta línea (Adams 1989a, 1989b, 1993b, 1994; Dubreuil 2002; Hamon 2006). Ello ha de permitir en primer lugar, la valoración de los patrones observados en los ítems macrolíticos objeto de estudio del presente trabajo, y, en segundo, servir como herramienta para el estudio de otros inventarios macrolíticos, tal y como se recoge en una primera propuesta (Adams *et alii* en prensa).

En definitiva, los objetivos establecidos en el presente trabajo se definen desde la concepción del análisis traceológico como una de las herramientas imprescindibles para

[40] En este sentido, un modo de contrastar la validez de modelo funcionales y que además ayudaría a superar las dificultades mencionadas, sería el reconocimiento de patrones correspondientes a las actividades propuestas, sobre las propias materias de contacto (Hamon 2006). Por poner un ejemplo, en el caso hipotético de conseguirse una réplica de huellas de desgaste sobre un alisador experimental utilizado en el trabajo de la concha, quedaría aún por analizar las trazas observadas en la propia industria malacológica.

realizar una aproximación a las funcionalidades de los instrumentos utilizados por sociedades pasadas y no como fin en sí. Por ello,

a) entendemos el análisis de huellas de uso como una forma de aproximación a la funcionalidad de los artefactos defendiendo, al mismo tiempo, la necesidad de tener en cuenta otras variables como la morfometría y las propiedades materiales de los instrumentos, el contexto arqueológico en el que se emplazan y la realidad histórica a la que aparecen vinculados,
b) aspiramos a una interpretación socio-económica del registro macrolítico como unidad de análisis y no como categorías observadas aisladamente,
c) confiamos, finalmente, en las posibilidades de un estudio funcional global y no específicamente traceológico.

2.2.1 Programa de experimentación

De cara a la confección del programa experimental que presentamos en este capítulo, partimos de que el material macrolítico interviene principalmente en la producción de objetos, como medio de trabajo. Con el fin de entender cómo se emplearon dichos materiales, nos basamos en fuentes de información de diverso tipo, recurriendo a ejemplos de sociedades actuales preindustriales, descritos detalladamente en trabajos antropológicos específicos. Asimismo, contamos con fuentes arqueológicas constituidas por los medios que los posibilitaron, los productos transformados y los desechos de las materias que intervienen en ellos. Asimismo, para la prehistoria reciente de otras regiones en torno al Mediterráneo contamos con valiosos restos de estatuaria[41] y documentos escritos e iconográficos que testimonian la forma en la que las diversas cadenas de producción pudieron estar configuradas[42].

El proceso agrícola

Desde su aparición en el Próximo Oriente y en otros puntos de la geografía de la tierra, como en el continente americano, los trabajos agrícolas constituyen uno de los procesos productivos más importantes para la generación del alimento humano, pudiendo satisfacer nuestras necesidades proteínicas y calorífricas, en caso de consumirse en cantidad suficiente y con la condición de que estén suficientemente procesadas para que el organismo las pueda asimilar correctamente[43]. En los últimos años la arqueología experimental ha dedicado gran parte de los esfuerzos al análisis del tratamiento de productos cerealistas, sobre todo, trigo y cebada, unos de los primeros cereales domesticados por el ser humano (Zohary y Hopf 1993). Entre dichos experimentos, han

[41] Se trata de pequeñas estatuillas que representan modelos de cabañas y talleres de molienda, carnicería, tejería etc. (Watterson 1991; Robins 1993).
[42] Las tablillas con escritura cuneiforme de la Mesopotamia del IV milenio a. C. reflejan la logística del trabajo en las grandes unidades de producción de molienda y la téxtil (Grégoire 1999). La mastabas egipcias del Imperio Antiguo-Nuevo incluyen bajorrelieves en los que se representan una infinidad de actividades artesanales realizadas sobre diversas materias primas con instrumentos de trabajo concretos, las cuales se complementan con diálogos escritos (p. ej. Faltings 1998).
[43] Las propiedades del trigo y la cebada por 100 gramos, según Amouretti (1986: fig. 17), son las siguientes: Trigo duro (332 calorías, 12 agua, 13,8 proteínas, 2,0 grasas), trigo blando (334 calorías, 12 agua, 10,5 proteínas, 1,9 grasas), cebada (332 calorías, 12 agua, 11,0 proteínas, 1,8 grasas).

gozado de especial atención los instrumentos líticos tallados, que son utilizados a menudo, aún actualmente, en la producción de herramientas para cosechar (hoz) o para trillar el producto (*tribulum*; Anderson y Chabot 2004: 44-51). Las herramientas macrolíticas se emplean, sobre todo, en los últimos estadios de preparación de alimentos agrícolas. A pesar de la introducción de innovaciones y de nuevos materiales, que han llegado a sustituir, en algunos casos, las inserciones de elementos líticos tallados por hojas metálicas, la piedra se ha mantenido hasta nuestros días como la materia prima fundamental, para la producción de morteros, molinos, manos y losas de trabajo.

La configuración del proceso de obtención y tratamiento de los productos agrícolas varía geográficamente pero mantiene una serie de rasgos básicos, destinados a la separación progresiva del producto cerealista y sus partículas contaminantes, que resumimos brevemente a continuación. Una vez acondicionado el campo de cultivo[44], la *siembra* del cereal incluye técnicas que van desde el lanzamiento de las semillas hasta la introducción de las mismas en agujeros practicados en la tierra. La *cosecha* depende del momento en el que ha sido sembrado, lo cual puede tener lugar en otoño o en primavera. En los trabajos de recolección se arrancan las espigas, directamente toda la planta, o se procede a la siega con ayuda de una hoz o un cuchillo (Hillman 1981; Buxò 1997). Ello puede deducirse del tipo de desechos representados en los depósitos arqueológicos, los cuales incluirán, por ejemplo, una mayor proporción de malas hierbas, en el caso en el que el corte del tallo haya tenido lugar cerca del suelo.

Pasado el tiempo de reposo, durante el cual el cereal pierde la humedad que aún conservaba tras su separación del campo, éste se *golpea* o se *trilla* con el fin de deshacer o descomponer las espigas y espiguillas. La aplicación del *rastrillado* posibilita la separación del grano de los residuos de la trilla más groseros, es decir, la paja. Los componentes más ligeros del cereal, como son las aristas de las glumas y las malas hierbas, son eliminados del producto mediante el *aventado*.

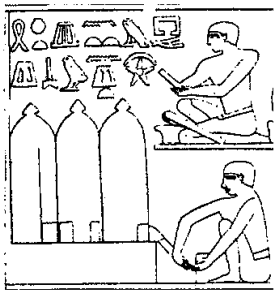
Le sigue una sucesión de actividades de *cribado* grueso y fino entre las cuales se puede intercalar nuevamente el aventado. A medida que se avanza en la cadena de elaboración del producto cereal, el tamaño de los subproductos o desechos resultantes es cada vez más reducido (malas hierbas, glumas, raquis) y el grado de limpieza del producto seleccionado, mayor. A lo largo de este proceso de elaboración del producto cerealista, se generan una serie de elementos, algunos de los cuales son desechados y otros actúan como subproductos que se aprovechan en otros ámbitos productivos como forraje, material de construcción, combustible, alimento para ganado etc. En ocasiones, se encuentran concentraciones de malas hierbas y nudos en los hogares de algunos poblados prehistóricos a los cuales fueron arrojados como desecho.

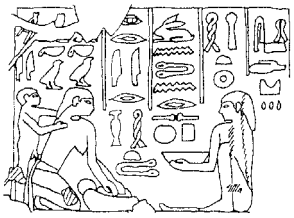
[44] No vamos a entrar aquí en los diversos tipos de cultivos (intensivos/extensivos) ni en las técnicas de acondicionamiento de los mismos (barbecho, regadío, rotación, abono). Únicamente mencionar el estrecho vínculo que a menudo existe, a este nivel, entre agricultura y ganadería, puesto que frecuentemente la fuerza animal es aplicada en el acondicionamiento o en la cosecha de los campos así como en su abono (p. ej. cría de palomas para la obtención de abono).

Un triturado previo a la molienda del cereal desnudo puede obtenerse mediante el *majado* en morteros, sin embargo, está comprobado experimentalmente que el implemento de un molino y una mano de madera, bajo condiciones de contacto determinadas, puede propiciar una separación entre grano y glumas simultanea a la obtención de harina (Foxhall 1982; Risch 1995), por lo que el uso de morteros, en estos casos, parece innecesario[45]. En el caso de los cereales vestidos, sin embargo, se suele añadir el majado a efectos de decorticar el grano, es decir, despojarlo de su envoltorio o cascabillo. Tanto si se pretende almacenar el grano como si la finalidad es prepararlo para la molienda inmediata, interesa que los granos no se fracturen, lo que impediría en el primer caso su mantenimiento en el granero y, conduciría en el segundo a la mezcla con una fracción importante de desechos, que adulterarían la harina considerablemente. Con el fin de conseguir granos enteros y aptos para su mantenimiento o consumo, se utilizan diversas técnicas que facilitan dicha operación, tales como el tueste en hornos de torrefacción o el humedecimiento del cereal previo al majado.

Estas diversas técnicas han sido objeto de experimentación en trabajos llevados a cabo durante los últimos años. De ellos se desprende que el procesado o majado del grano con mortero y pilón, ambos de madera, es la mejor técnica para conseguir el decorticado sin fracturar el grano (Meurers-Balke y Lüning 1992: 341-361; Grégoire 1999: 233-234). Esta manera de proceder es más correcta y rápida que en el caso de procesarse granos secos con un molino o un mortero, ya que posibilita la fractura del envoltorio y la conservación del grano en estado completo, mientras que el decorticado sobre molino permite la obtención de envoltorios enteros pero fractura los granos (Procopiou 2003: 115-136, fig. 1 y 2).

Una vez el grano ha obtenido las condiciones de limpieza y sequedad necesarias para su *almacenamiento*, puede ser depositado en graneros o dispositivos de almacenaje como silos o vasijas, para su mantenimiento a largo plazo. En ocasiones, el tostado precede a su almacenamiento en el silo, con el fin de preservarlo en buenas condiciones.





La *molienda* constituye en las mastabas de las dinastías IV-VI (Imperio Antiguo) la actividad productiva representada más frecuentemente, junto con la producción de cerveza (Faltings 1998; Chazan y Lehrner 1990: 21-35; Nicholson y Shaw 2000). En la antigua Mesopotamia se conocen grandes centros de producción de harina durante la III dinastía neosumeria de Ur (2113-2006 ANE) que son objeto de alusión en los textos con escritura cuneiforme, donde representa, junto con la textil, una de las unidades de producción mejor conocidas (Grégoire 1999: 223-237). La capacidad de producción de estos centros urbanos excedía

[45] Los morteros pueden ser de madera o de piedra y van acompañados del instrumento móvil que es el pilón. En la antigüedad fueron empleados en diversas tareas como el triturado de mineral (minería), el triturado de plantas para elaboración de perfumes o el procesado de carne, sin embargo, a menudo se encuentran asociados a molinos, por lo que parece que una parte importante de ellos fue empleada en tareas complementarias a aquéllas llevadas a cabo por los molinos, p. ej. el decorticado de cereal o legumbres.

con creces la de otras unidades domésticas no especializadas, estando provistos de un granero, instalaciones dedicadas a la preparación del grano y a su molienda, talleres de producción de artefactos de molienda, lugares de almacenamiento de los productos, panaderías, casas de malteado, prensas manuales de aceite, talleres de hilado, talleres de alfarería y de cestería, que proporcionaban los recipientes necesarios para transportar o contener los productos.

En el palacio oeste de Ebla-Tell Mardikh se excavó una instalación con un rebanco sobre el cual se disponían 16 molinos de basalto, 15 de ellos in situ con sus correspondientes manos. Los molinos estaban insertados en el rebanco para quedar fijados, midiendo 70 cm de longitud, 45 de anchura y 15 cm de grosor. La molienda se realizaba sobre un molino plano y una mano cilíndrica, más blanda que éste, obteniendo la harina gruesa mediante movimientos de vaivén que pasaban a ser después circulares, para un mayor afinamiento del producto final (Grégoire 1999). También en Mesopotamia, los trabajos de molienda están estrechamente vinculados a la producción de harina y al procesamiento de la malta, destinada a la producción de la cerveza, por lo que ambos procesos suelen aparecer conjuntamente en los documentos iconográficos y en los escritos.

A juzgar por las representaciones figurativas egipcias, a la molienda le sucedía un proceso de purificación de la harina mediante un cedazo, previo a su incorporación a la masa del pan y a su consumo como alimento. Sin embargo, desde la bibliografía antropológica especializada en momias egipcias se insiste en atribuir la frecuencia de abscesos dentarios observados en ellas a infecciones paradontales por el consumo de panes "adulterados". Las partículas abrasivas habrían conducido a la destrucción del esmalte y a la consiguiente exposición de la pulpa dentaria. Frente a lo que han afirmado algunos autores, existen evidencias arqueológicas y experimentales que corroboran la persistencia de impurezas en la harina, a pesar del implemento de cedazos (Währen 1984: 2-6; Molleson 1989: 63). El análisis del contenido de panes conservados en estado deshidratado en diversos contextos arqueológicos favorables, como son las tumbas egipcias o algunos poblados neolíticos suizos, indican la existencia de partículas minerales (mica, cuarzo, feldespato) desprendidas de los instrumentos de molienda durante el trabajo, así como fragmentos de granos mal molidos y restos de las envolturas de los mismos[46]. Los experimentos realizados sugieren que, el uso de cerdazos reduce la proporción de impurezas pero no garantiza que la harina llegue al pan exenta de ellas[47].

En cuanto a la participación social en estas tareas de procesado del producto cerealista, tanto las evidencias arqueológicas (representaciones figurativas, documentos cuneiformes) como las etnográficas apuntan a que éstas eran realizadas habitualmente

[46] En el poblado de época Cortaillod (3560-3530 cal ANE) de Twann, se encontró un pan carbonizado de unos 60-75 mm de diámetro y 24 mm de altura. El análisis de partículas exógenas resultó en 4 piedritas de más de 2mm y 10 piedritas con dimensiones de 1,5-2 mm. Experimentalmente se comprobó que la fracción de partículas incorporadas a la harina es porcentualmente mayor, por lo que se deduce, que para la producción del pan de Twann, la harina fue cribada antes de amasarse.

[47] Se considera que la harina es incomestible si contiene más del 20% de impurezas, pudiendo resultar seriamente dañinas, sobre todo, para la dentición, en caso de exceder dicho umbral (Grégoire 1999).

por mujeres, fuese a nivel doméstico o a nivel extradoméstico. En términos generales, los últimos estadios en el preparado de alimentos, antes de ser ingeridos, son llevados a cabo por mujeres, si bien los hombres también pueden aparecer excepcionalmente como moledores (Olsen Bruhns 1991: 420-429). En los grandes centros urbanos de antigua Mesopotamia una unidad de molienda podía estar constituida por un total de 858 personas, 669 de las cuales eran mujeres, a las que asistían 103 juveniles y niños. La producción media diaria de una mujer podía llegar a 3,50 litros (2,250 kg) de harina y 24,72 litros (16,700 kg) de avena mondada o a medio moler[48]. La mayoría de las personas trabajaban a tiempo completo y una parte menor a tiempo parcial. El ritmo de molienda era a veces impuesto por músicos con el fin de incrementar la productividad (Grégoire 1999: 231). La producción así como los casos de baja por enfermedad o fallecimiento eran registrados a diario, para lo cual había un equipo de funcionarios encargados de vigilar a las personas.

En oposición a otras actividades de producción, las de molienda son tareas que han de llevarse a cabo periódicamente y, normalmente a diario, ya que una vez las semillas han sido desprovistas de su cáscara y fracturadas, su tiempo de conservación es reducido. La intensidad y regularidad de las tareas de molienda produce una serie de anomalías y patologías esqueléticas debidas a la postura que se mantiene durante su desarrollo, que pueden afectar seriamente la movilidad de la persona, tal y como lo indican los resultados antropológicos de los habitantes, la mayoría mujeres, del poblado neolítico de Abu Hureyra, en Siria (Molleson 1989: 60-65).

De las informaciones de las que disponemos se desprende que el grano ha constituido uno de los productos alimenticios más importantes en la historia de la humanidad. Gran parte de la dieta del Antiguo Egipto se componía de cereales, como son el trigo y la cebada, a partir de los cuales se confeccionaban panes de muy diversa morfología que hoy día son recuperados de las tumbas a las que fueron a parar como parte constituyente de las ofrendas. La importancia del pan en la dieta viene evidenciada, además en este caso, por los 15 vocablos que se conocen para el Imperio Antiguo y 40 para el Imperio Nuevo, que servían para denominar tipos diferentes de pan.

Experimentos de molienda de cereal

Dentro de los límites establecidos por el material macrolítico, los de molienda constituyen el grupo de artefactos con el que más a menudo se ha experimentado. Los experimentos de molienda llevados a cabo en el marco de análisis funcionales se resumen de forma tabular en un reciente trabajo presentado en Lisboa con motivo del *XV UISPP* (Adams *et alii* en prensa: tab. 2). Los principales estudios concebidos desde un enfoque traceológico son los trabajos ya citados de Dubreuil (2002) y Hamon (2006) así como otras contribuciones interesantes al respecto que nos llegan desde la investigación americana (p. ej. Adams 1993b, 1994, 2002). En el sudeste peninsular en particular, los artefactos de molienda se asocian en ocasiones a rebancos, sobre los cuales aparecen posicionados, así como a contextos de almacenamiento de cereal. Análisis carpológicos indican el cultivo prioritario de cebada desnuda y vestida y, en menor medida de trigo (Castro *et alii* 1994; Stika 1988; Hopf 1991; Buxó 1997). Como

[48] En uno de los textos se recoge el suceso del fallecimiento de una mujer que formaba parte de una unidad de 36/35 mujeres a las cuales se le había encomendado la molienda de una cantidad ingente de cereal (Grégoire 1999: 229).

única contribución experimental al trabajo de molienda contamos con el programa presentado por Risch (1995: 55-117). De las observaciones realizadas por él sobre molinos experimentales de morfología argárica (recto o cóncavo en el eje longitudinal y recto o convexo en el transversal) se desprende el uso de muelas de madera para este periodo[49]. Sin embargo, no todos los patrones de desgaste observados pueden explicarse con el uso de materiales leñosos, puesto que aparecen indicadores de contactos mecánicos entre materias duras. Ello le lleva a proponer un modelo de uso multifuncional con el predominio de la molienda del cereal. En efecto, existen numerosos indicios de que molinos cerealistas hayan podido ser utilizados, por ejemplo, en el amasado de la arcilla, en el procesado de desgrasante cerámica (Goselain 2002: fig. 35; Procopiou 2004: 58-61).

La configuración del programa experimental diseñado a efectos del presente estudio no varía sustancialmente del trabajo citado, si bien en nuestro caso, introducimos la cebada desnuda como tipo de cereal a moler. Con los materiales seleccionados para los experimentos de molienda, pretendemos abordar las cuestiones en torno a la formación de desgaste bajo los aspectos de a) materias de contacto de naturaleza lítica, por un lado, y leñosa, por el otro, y b) la eficacia de los sistemas de molienda basados en los dos litotipos más frecuentes en el sudeste peninsular (micaesquisto granatífero y conglomerado). Los medios de trabajo utilizados para ello fueron los siguientes:

- un canto rodado de micaesquisto granatífero de 393x210x143 cm, procedente de los depósitos fluviales del río Almanzora (Exp-23),
- un molino de conglomerado de 369x269x176 cm, recogido en superficie en el yacimiento del Cerro de las Canteras (Vélez-Rubio), del cual se utilizó el anverso (Exp-14)
- un canto rodado de metapsamita de 159x95x49 cm procedente igualmente del Sudeste peninsular (Exp-13)
- la mitad longitudinal de un tronco de madera de almendro

Cada ciclo experimental se compone de tres bloques de 30 minutos de duración respectivamente, y tres análisis de huellas encaminados a registrar el desarrollo del desgaste e intercalados al término de cada uno de los bloques de experimentación. El desgaste generado sobre las superficies activas queda intacto hasta el final del ciclo experimental (90 minutos) por lo que tiene carácter acumulativo. A cada uno de estos ciclos le corresponde la molienda de ca. 500 gr de cebada desnuda.

Hemos concentrado los trabajos de elaboración de las superficies en las caras activas de los molinos aplicándolas siempre al inicio de cada ciclo experimental. Con ellos se acondiciona y aviva la superficie natural de los molinos por percusión, mediante un percutor de gabro (ver abajo). En el caso del molino de conglomerado, se utilizó una sola cara para dos ciclos experimentales diferentes, por lo que entre ambos hubo de reavivarse la superficie. Ello permitió eliminar las huellas generadas en el ciclo anterior y partir nuevamente de cero. Las superficies activas de la muela de metapsamita no se avivaron en caso alguno. Con todo, las actividades de molienda de cebada generaron 4

[49] La hipótesis del uso de manos de madera se basaba inicialmente en la disparidad numérica de 10:1 entre molinos y muelas, conocida en algunos yacimientos del Sudeste, en contra de la relación 1:2 que cabría esperar, si tenemos en cuenta los datos etnográficos y el hecho de que el ritmo de desgaste es doblemente mayor en la muela que en el molino.

ciclos experimentales y 6 superficies de desgaste, observadas, cada una de ellas, a lo largo de tres momentos diferentes (Figura 2.2.1)[50].

Nº exp. / Nº ítem	Soporte A	Litología	Morfología transversal	Tiempo (minutos)	Materia de contacto	
					B	C
29/23	Molino	Micaesquisto granatífero	Convexo	30	Muela-metapsamita	Cebada desnuda
33/23				60		
39/23				90		
27/23	Molino	Micaesquisto granatífero	Convexo	30	Muela-madera	Cebada desnuda
32/23				60		
38/23				90		
40/14	Molino	Conglomerado	Convexo	30	Muela-madera	Cebada desnuda
41/14				60		
42/14				90		
44/14	Molino	Conglomerado	Convexo	30	Muela-metapsamita	Cebada desnuda
45/14				60		
46/14				90		
29/13				75		
33/13				105		
39/13				135		
44/13	Muela	Metapsamita	Convexo	30	Molino-conglomerado	Cebada desnuda
45/13				60		
46/13				90		

Figura 2.2.1: Experimentos de molienda y características de los materiales que entran en contacto durante los mismos.

Para realizar la tarea, el molino se fijó en el suelo con un soporte de poliestireno expandido (comercialmente conocido como "porexpán"). A continuación, un puño lleno de grano era situado sobre el gallón central del molino para proceder a su elaboración. La persona moledora fue en todos los casos la misma, posicionándose de rodillas frente al molino y accionando la muela con ambas manos hacia delante y hacia atrás. En el caso de la muela de madera, se utilizó la superficie exterior del tronco descortezado, ligeramente cóncava en su eje longitudinal y convexa en el transversal. La ligera convexidad de la superficie del molino conducía a la caída de los granos enteros (más pesados) por rodamiento, por lo que se hizo necesario recogerlos periódicamente y devolverlos a la superficie activa. A efectos de eficacia de la tarea, el depósito de harina que quedaba sobre la superficie activa del molino era retirado periódicamente con ayuda de un pincel y recogido en un contenedor. Las importantes depresiones que se encontraban en algunos puntos de la superficie de molienda de conglomerado, en forma de negativos de extracción de inclusiones de cuarzo, condujeron a que granos semi-procesados y enteros quedasen encajados en su interior.

Al cabo de 30 minutos el experimento se detenía y se procedía a separar el producto molido por fracciones, de las cuales la más fina (harina) se retenía y el resto seguía procesándose durante los 30 minutos siguientes, y así sucesivamente.

Durante el proceso de transformación del grano en harina, el peso se mantiene constante, si bien el volumen de la harina siempre es mayor que el del grano. El tiempo requerido para reducir una cantidad determinada de grano a harina, depende de numerosas variables como pueden ser el tipo y estado del cereal, la habilidad de la persona que muele o las condiciones técnicas de trabajo, lo cual se refleja claramente en

[50] El estado de la superficie natural, previa al desgaste no es tenida en cuenta en este cómputo, si bien, ha sido integrada igualmente en el análisis de huellas, como elemento esencial para comprender el posterior desarrollo del desgaste.

la considerable variabilidad de los datos etnográficos y experimentales, obtenidos al respecto (Figura 2.2.2). En general se calcula que la obtención de 1 kg de harina con un molino preindustrial o de vaivén requiere entre 1 y 3 horas de trabajo. En nuestros experimentos se consiguió reducir únicamente entre un 10 y un 20% del peso total del producto a harina, lo cual puede considerarse un ritmo de procesado muy bajo.

Tipo de Molino	Cantidad del producto a moler	Tiempo	Bibliografía
Experimento	1 kg de grano	20-40 minutos	Zimmermann (1988)
Experimenot	1 kg de grano	2,5-3 horas	Zimmermann (1988)
Experimento	2 tazas de harina	2 horas	Adams (1988: 311)
Experimento	1 taza de harina	15-20 minutos	Adams (2002)
Experimento	2 tazas de grano 1 taza de grano	1 hora 30 minutos	Adams (1993)
Experimento	1 taza de grano	1 hora	Adams (1993)
Experimento	1 kg harina	1 hora	Hersh (1981)
Cárpatos	1 kg harina	2 horas	Gunda (1961) citado por Beranova (1987)
Experimento (molino argárico)	1 kg de harina de trigo	2 horas y 30 minutos	Risch (1995); Menasanch, Risch y Soldevilla 2002
Experimento (molino argárico)	1 kg de harina de cebada	3 horas y 40 minutos	Risch (1995); Menasanch, Risch y Soldevilla 2002
Indios Hopi (Arizona)	2,85 litros o 1,84 kg de harina	3 horas	Bartlett 1933
Nigeria	1 kg de harina	1,5-2,5 horas	Gronenborn 1994
Estado neo-sumerio, Umma	7 litros o 4,5 kg de harina de cebada	Una jornada	Grégoire 1992: 229
Hoggar (Argelia)	900 gr / 2,7 kg trigo	20 minutos / 1 hora	Gast 1968; Amouretti 1986: 138
Experimento	1 kg de cebada	4-7 horas	Wright 1991
Experimento	1 kg de trigo	3 horas	Runnels 1981: 251
Experimento	1 kg de trigo	< 1 hora	Wright 1991
Nómadas de Egipto y Sudán	4500 ccm mijo	75 minutos (1ª) 35 minutos (2ª)	Schön y Holter 1990: 359-379

Figura 2.2.2: Datos etnográficos y experimentales sobre el tiempo requerido para moler el producto cerealista bajo condiciones de trabajo preindustriales.

Basándonos en el peso, la tasa de extracción de harina en sociedades preindustriales se calcula convencionalmente en 900 gr por cada kg de grano, pudiendo bajar a un 60% del peso total del grano en el caso de los cereales vestidos, tras la separación de sus envoltorios (Figura 2.2.3).

Producto	Peso inicial/final	Tasa de extracción %	Bibliografía
Trigo desnudo	270/255,65gr	94,7%	Foxhall 1982: 41-90
Cebada vestida	75/45gr	60%	Foxhall 1982: 41-90

Figura 2.2.3: Tasa de extracción de harina en cereales desnudos y vestidos bajo condiciones de trabajo preindustriales.

Los experimentos realizados en el contexto de esta investigación no han permitido estimar dicha tasa de extracción puesto que el producto no llegó a procesarse en su integridad. Sin embargo, observamos un comportamiento diferencial en el ritmo de formación de harina que depende, en términos generales, del tipo de artefactos que intervienen como medios de trabajo (Figura 2.2.4). Se corrobora la mayor eficacia de sistemas de molienda que combinan dos materiales de propiedades mecánicas dispares (piedra y madera) frente a los que hacen uso de materiales de la misma naturaleza (piedra y piedra). Además se refleja la importancia que tiene la correspondencia morfológica entre ambas superficies activas, parámetro que también se menciona en otros estudios (Hürlimann 1965: 72-86; Zimmermann 1998). La misma superficie del molino de conglomerado se utilizó en dos ciclos diferentes, el primero en contacto con la muela de madera y el segundo en contacto con la muela de metapsamita. La eliminación intencionada por nuestra parte, de las huellas de desgaste que habían quedado al término del primer ciclo, ocasionó el "aplanamiento" de la superficie por pérdida de material en la zona central. Esto se traduce en un contacto más extenso entre la superficie del molino y la de la muela de metapsamita que se empleó en el ciclo posterior. En este caso, la influencia de las variables morfológicas supera la de las materiales, consiguiendo un ritmo de trabajo comparable al del molino de micaesquisto granatífero y la muela de madera. De ello se desprende en definitiva, la importancia de las variables morfológicas y materiales en la eficacia de los sistemas de molienda.

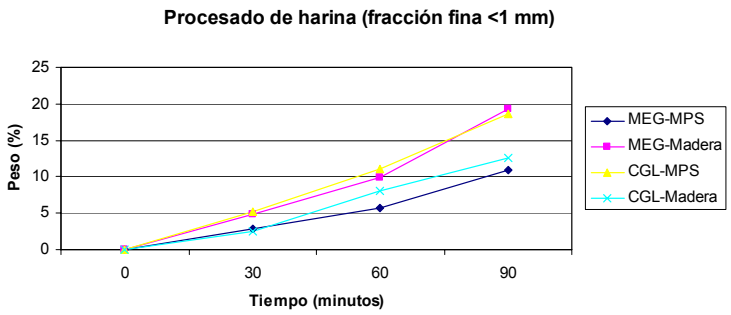


Figura 2.2.4: Obtención de harina a lo largo del ciclo experimental, según el empleo de molinos de conglomerado (CGL) y de micaesquisto granatífero (MEG) en combinación con muelas de metapsamita (MPS) y de madera.

A pesar del reducido porcentaje de harina que ha resultado de los experimentos presentados[51], queda demostrado que los molinos de vaivén posibilitan la obtención de una fracción de harina tan fina como la que hoy en día se consigue bajo condiciones de producción industriales (Alonso 2002: 111-127). La calidad de la harina depende del número de veces que la mano pasa sobre el grano, aumentando cada vez más la proporción de la fracción fina. La introducción del molino rotatorio hizo disminuir la variabilidad de la fracción de la harina pero, sobre todo, aportó una ventaja cuantitativa a la molienda, que atañe a la cantidad de producción por unidad de tiempo[52]. Por poner un ejemplo, esta innovación supuso para las mujeres Tigrayan de Etiopía una reducción

[51] El bajo porcentaje de harina obtenida en los experimentos puede deberse a que la correspondencia morfológica entre las superficies activas del molino y la muela no era total. Es de esperar que, a medida que el desgaste de los instrumentos aumenta, el grado de ajuste de sus superficies sea cada vez mayor.
[52] Para más información sobre la evolución de los diversos tipos de molinos en Grecia y en la Peninsular Ibérica consultar Amouretti 1986 y Alonso 2002: 111-127.

del tiempo de trabajo de 10-12 horas diarias en días alternados a 4-5 horas diarias en días alternados (D'Andrea 2003: 47-60). Estas nuevas condiciones técnicas aceleran la molienda de 1 kg de harina de 1-3 horas a 10 minutos o, lo que es lo mismo, permiten obtener durante 1 hora de trabajo hasta 6 kg de harina (Dembinska 1958 citado en Gast 1968).

En cuanto a los efectos en el desgaste de los molinos en contacto con madera y piedra, se han establecido microtopografías con diversos aspectos (Figura 2.2.26). Los molinos que se utilizaron en contacto con la muela de piedra llegan a desarrollar más zonas niveladas que anfractuosidades. Los planos de homogenización pueden tener formas ligeramente abombadas pero su textura es lisa y su tendencia a lo largo del tiempo es la de adoptar una forma general recta, debido a la pérdida gradual de materia. Sobre ellos granos y matriz aparecen arrasados al mismo nivel y su aspecto es claramente mate (Figura 2.2.40g y Figura 2.2.41d). En el caso del conglomerado, sobre algunas inclusiones se han llegado a desarrollar microestrías aisladas o formando pequeños grupos (Figura 2.2.40e). Por el contrario, las microtopografías obtenidas en el contacto con la muela de madera, son sinuosas y se componen de planos alisados, ligeramente brillantes, con sección convexa. Los granos permanecen en el caso del micaesquisto, aún pasados los 90 minutos, en relieve (Figura 2.2.41c).

Las diferencias principales que se observan en el desgaste del molino de conglomerado y de micaesquisto granatífero son relativas a la velocidad con la que los efectos del la abrasión se manifiestan. La pérdida de materia es en el caso del molino de conglomerado utilizado con la muela de metapsamita, bastante más rápida, apareciendo ya en los primeros estadios de desgaste planos de homogenización de tendencia recta y trama conexa (Figura 2.2.40c). Las pocas depresiones remanentes tras 90 minutos de experimentación, eran tan profundas que muchos de los granos quedaban encajados en su interior sin llegar a procesarse. Esta observación apoya la idea de la importancia que tiene una buena preparación de la superficie previamente a la molienda, la cual no debe presentar una rugosidad demasiado reducida, para evitar que los granos rueden a lo largo de la superficie, pero tampoco excesiva, de lo contrario también pueden quedar intactos. Si bien no se experimentó lo suficientemente como para que las superficies activas se agotasen y requiriesen de reavivado, la capacidad por parte del micaesquisto de mantener cierta rugosidad se relaciona positivamente con su resistencia a la fricción, lo cual está en consonancia con los resultados obtenidos a propósito de los experimentos realizados con las máquinas de ensayo que hemos comentado en el capítulo anterior. Por tanto, podemos partir de la asunción de que el conglomerado alcanzaría con anterioridad el agotamiento, tanto de su superficie activa (alteración de las condiciones de rugosidad iniciales) como del propio artefacto (fracturas por grosor demasiado reducido).

La metalurgia

El proceso de producción metalúrgica se sitúa en el ámbito de la artesanía que aún hoy día se sigue llevando a cabo, en algunos contextos sociales, de manera tradicional. El proceso de trabajo consiste en una compleja sucesión de tratamientos mecánicos y térmicos que se aplican al mineral con el fin de conferirle una forma y unas propiedades estructurales y composicionales determinadas. Algunas etapas en la cadena de producción metalúrgica (triturado del mineral, forja) conllevan la modificación de la

estructura del metal sin cambiar la composición de la materia, mientras que otras (reducción, fundición) conducen a cambios composicionales en su mineralogía (Mohen 1992). Tal y como ocurre con el proceso de producción agrícola, contamos con una vasta documentación arqueológica, etnográfica y experimental sobre el trabajo metalúrgico que pasamos a describir brevemente a continuación[53].

Los indicios más antiguos de objetos metálicos se encuentran en el Próximo Oriente, en yacimientos del 7.-5. milenios cal ANE, como Çatal Hüyük, Hacilar, Can Hasan o Mersin, si bien en estos yacimientos no hay evidencias de fundición. A lo largo de los próximos milenios la metalurgia llegaría al entorno mediterráneo, los Balcanes y Centroeuropa. La metalurgia vigente en los primeros momentos de su desarrollo se basa fundamentalmente en el trabajo de las materias primas puras y sin aleación como son el oro y el cobre, metales caracterizados por tener una dureza baja pero una gran ductibilidad[54]. La utilización de "cobre arsenical", el cual presenta bajos porcentajes de arsénico (1-5%), permitió la elaboración de objetos metálicos de mayor dureza, si bien no parece que esta mejora técnica se deba a la producción antrópica de aleaciones, sino mucho más a la selección de materia prima que cumple con estas condiciones. La posterior introducción del bronce, que consiste en la aleación de cobre y estaño, posibilitó la reducción de la temperatura de fusión del metal, la mejora de la calidad de las coladas y el incremento en la dureza de los objetos metálicos (Tylecote 1976).

La actividad con la que se inicia el proceso de producción metalúrgica es la *extracción* y el acarreo del mineral al lugar donde éste ha de ser transformado. La adquisición de la materia prima se realiza directamente en los afloramientos de filones metalíferos, portadores de carbonatos, óxidos, sulfuros o metales nativos, o en depósitos secundarios. Por consiguiente, la forma de explotación de estos recursos pueden ser actividades de minería, en el marco de las cuales se resiguen filones superficiales o más profundos, así como tareas de búsqueda y recolección del mineral.

Existen elementos diagnósticos de estas actividades en forma de medios de trabajo, desechos derivados del mismo o transformaciones del terreno debidas a las propias actividades antrópicas de explotación del medio. Entre las herramientas aptas para la extracción del mineral bruto destacan aquéllas de piedra como las "mazas de minero" o los picos, los cuales también han podido ser elaborados sobre madera o asta de cérvido y, más tarde, de metal. El transporte y desplazamiento de la materia prima pueden realizarse con objetos de cestería o cordelería así como con ayuda de la tracción animal.

En la prehistoria europea se conocen numerosos yacimientos (Rudna-Glava en Serbia, Aibunar en Bulgaria, Cabrières en Francia, Salzburgo en Alemania, Grimes Graves en Inglaterra, etc.) con restos diagnósticos de este tipo de abastecimiento que indican lugares de extracción en minas o a cielo abierto donde las vetas minerales aparecen vaciadas formando trincheras abiertas, junto a las cuales se acumulan escombros, fragmentos de mineral, mazas, cerámica. Entre los restos conocidos a nivel peninsular destaca la escasez de evidencias de minería pero sí se han documentado una serie de lugares de extracción en lechos de ríos, con acumulaciones de "martillos" que pueden corresponder a época prehistórica (Mata González 2002: 87-115).

[53] Para un seguimiento de cada una de las etapas metalúrgicas y de las herramientas que en ellas intervienen consultar p. ej. Mohen 1992; Delgado Raack y Risch 2006: fig. 1.

[54] La ductibilidad o versatilidad se refieren a la capacidad que tiene un metal para soportar una gran deformación, tanto en estado frío como en estado caliente, sin romperse.

Dado que los metales raras veces aparecen en estado nativo, sino en forma de óxidos, carbonatos o sulfuros, primeramente es necesario obtener el metal apto para su vertido en el molde de fundición. Por eso, una vez el mineral ha sido adquirido en crudo, se somete a un tratamiento mecánico por *triturado*, en el cual vuelven a intervenir instrumentos macrolíticos masivos como mazas, percutores, manos, losas y morteros que facilitan el desmenuzamiento del mineral en fracciones menores. Esta tarea garantiza una primera limpieza del mineral y su preparación de cara a una mejor separación del mineral y la ganga en los hornos de reducción y a menudo va acompañada de un tratamiento térmico del mineral en hornos de *tostado*.

La obtención del metal por *reducción* tiene lugar en hornos provistos de toberas y/o fuelles para tal fin, en los cuales se consigue eliminar el oxígeno de los óxidos metálicos para obtener un metal puro, quedando así separado de la ganga que lo rodea. La copelación constituye un tipo de reducción específica aplicada para obtener por fusión un metal a partir de una aleación binaria, por ejemplo, la plata presente en el plomo argentífero. Esta técnica era bien conocida por los egipcios, sin embargo, en la Península Ibérica no fue empleada hasta bien entrado el primer milenio a. C, utilizando hasta entonces plata nativa. Otra de las técnicas empleadas sobre todo en la reducción del mineral de cobre, durante el Calcolítico peninsular, son las vasijas-horno, recipientes abiertos que se instalaban semiexcavados en suelo. Con ellos se han realizado un numeroso conjunto de experimentos que han ayudado a conocer este proceso tecnológico, las temperaturas alcanzadas así como las condiciones de atmósfera reductoras y/o oxidantes en las que se realiza la fusión de minerales de cobre como son malaquita, azurita, olivenita (Happ 1997: 93-102; Rovira y Gutiérrez 2003: 70-74; Montero 1994; Gómez Ramos 1996).

La generación de desechos está directamente ligada a la técnica que se aplica en cada caso y al mineral reducido. Por ejemplo, la reducción del cobre en las vasijas-horno es un procedimiento en el que se forman gotas pero no escorias. El análisis de dichos desechos y su composición pueden informar, por lo tanto, de los procesos empleados para el tratamiento del metal.

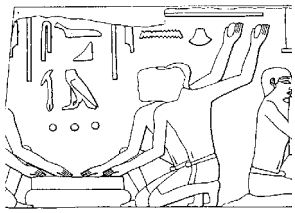
Una vez se ha recogido el metal exento de impurezas, se procede a su fundición y al *moldeado* de la preforma. El metal fundido se vierte en estado líquido en la matriz de un molde diseñado para la producción de lingotes o que reproduce de forma aproximada el objeto metálico que se pretende elaborar. La producción de lingotes suele ir vinculada a un posterior proceso de distribución o intercambio, para cuyo transporte se busca obtener productos de medidas y pesos estandarizados, tal y como se puede observar en el hallazgo del pecio hundido de Ulu Brun (Turquía), en el que se transportaba una importante cantidad de lingotes de cobre diseñados con forma de piel de animal (Bass 1967).

Para llevar a cabo con éxito esta fase dentro del proceso de producción metalúrgica se requiere de profundos conocimientos sobre la temperatura a la que funde cada metal así como el grado de fluidez y viscosidad que llega a alcanzar para rellenar correctamente la matriz del molde. Experimentalmente se ha comprobado que las temperaturas conseguidas con carbón vegetal son más elevadas que las obtenidas con leña (Rovira 2005).

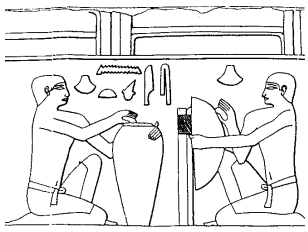
Los instrumentos de trabajo habitualmente empleados en esta fase de transformación del metal son fuelles, crisoles y moldes. Éstos últimos pueden estar elaborados de piedra, metal, arena o arcilla y representan los elementos diagnósticos de los trabajos de fundición, por excelencia.

Tras la extracción del objeto metálico del molde se inicia a una fase considerablemente importante y compleja del proceso metalúrgico: la *forja*. Las actividades de forja se aplican, por un lado, para eliminar los restos de la fundición que quedan adheridos al objeto, como son el muñón y las rebabas. Por el otro, se trata del momento en el que, a partir de lingotes o preformas, se formatiza toda una serie de instrumentos, láminas y adornos metálicos, bien por martillado o bien por batido. En estas tareas intervienen dos herramientas de crucial importancia: el yunque y el martillo (Azcónegui y Castellanos 1997). Si bien hoy día las materias primas implementadas en su fabricación son de hierro, en la antigüedad se elaboraban de rocas duras que recibían un tratamiento de regularización de su superficie que implicaba una importante inversión de fuerza de trabajo. En el caso del *martillado* la percusión entre el martillo y el objeto metálico es directo por lo que la superficie de contacto de la herramienta debe ser altamente lisa y regular para no dañar el metal. El objeto debe desplazarse continuamente con la mano para que la zona a transformar esté apoyada sobre la superficie durmiente del yunque. En el *batido* se interpone una constancia o material fino y flexible, como cuero, pergamino, tela o algún tipo de fibra, el cual suaviza las huellas del martillo y permite una mejor distribución de la fuerza (Perea 1995: 70).

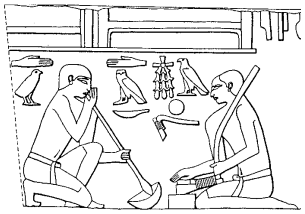
Los trabajos de forja pueden realizarse en caliente, para conferir al metal blando su forma final, o en frío, a efectos de dotarlo de la dureza deseada. La forja en caliente tiene la ventaja de que el metal no corre el peligro de quebrar dado que mantiene más constante su plasticidad. Esto implica un control sobre la temperatura de calentamiento que se ha de mantener, en el caso del cobre, entre ca. 300-700ºC para propiciar su ablandamiento y no rebasar el límite superior, lo cual supondría una conversión líquida del objeto. En el caso de la forja en frío se pueden obtener láminas de menor espesor y de mayor dureza, a medida que el martillado se intensifica. Sin embargo, los cristales no pueden transformarse indefinidamente, por lo que, si la percusión se prolonga rebasando cierto umbral, el metal ya no puede extenderse más y se vuelve quebradizo (Coghlan 1975: 91). La no linealidad entre el proceso de adelgazamiento de una lámina y su resistencia a los golpes es una de las múltiples dificultades que presenta esta actividad. Esto implica un alto grado de destreza por parte de la persona que realiza el trabajo, la cual ha de calcular cuidadosamente el porcentaje de trabajo en frío en función de la elongación, la resistencia y la dureza deseadas. Para evitar que la lámina se quiebre durante el martillado, se pueden intercalar fases de recalentamiento del objeto metálico destinadas a conferirle de nuevo las propiedades dúctiles que va perdiendo a lo largo de dicho proceso (Mohen 1992, fig. 53; Coghlan 1975: 90). Para ello se aplica el recocido, que consiste en calentar un metal durante cierto tiempo para dejarlo después enfriar lentamente y recuperar su homogeidad y ductibilidad por recristalización de los minerales.



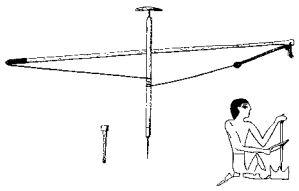
Otro tratamiento térmico particular es el temple que consiste en calentar un metal hasta una temperatura precisa para luego enfriarlo bruscamente y así endurecerlo. Todos estos tratamientos, es decir, el bruto de colada o fundición, el recocido o recristalización, la deformación en frío o en caliente, dejan evidencias en la microestructura de los metales (forma y disposición de los minerales), que pueden ser observadas mediante metalografías (microscopía de fuerzas atómicas, tomografía de emisión de positrones; Alonso *et alii* 1999). Sin embargo, cuando el objeto metálico recibe dos o más tratamientos el último suele eliminar las huellas del anterior dificultando su reconocimiento (Montero Ruiz 1994).



Los primeros metales transformados por el ser humano fueron el cobre, el oro y la plata, los cuales son especialmente aptos para los tratamientos por forja, dado que se trata de metales blandos y resistentes a la vez, flexibles, maleables y dúctiles. De esta manera, una superficie metálica puede llegar a aumentar por cuatro su extensión inicial, siendo posible elaborar alambres de 0,02 mm diámetro y láminas de 0,01 mm espesor[55]. Por el otro lado, también puede adquirirse un aumento de su grosor de hasta 30-50%.



Si bien los trabajos de forja constituyen uno de los momentos más importantes en la configuración del objeto final, el grado de elaboración puede aumentar aún más mediante diversos tratamientos de *acabado*, entre los cuales destacan complejos trabajos de orfebrería (ajustes, soldaduras, decoración, repujado, filigrana, granulado; (Perea 1990: 103-160; Armbruster y Perea 1994: 69-87; Nijboer 2004: 371-383), así como otros más sencillos destinados a la perforación, el limado, el pulimento o el afilado de las superficies metálicas. Estas últimas son realizadas habitualmente con afiladores, perforadores, alisadores y losas elaboradas a partir de materiales líticos con buenas propiedades abrasivas. Estos mismos instrumentos se implementan cuando, el objeto metálico, una vez en uso, requiere de reparaciones o trabajos de reafilado que prolonguen su vida de uso, en el marco de tareas de *mantenimiento*.



De la breve descripción que hemos incluido aquí sobre el proceso de producción metalúrgica, se desprende el grado de complejidad que implica el tratamiento del metal. Desde la obtención de la materia prima hasta el acabado del producto final, se suceden el implemento y la generación de una enorme cantidad de tratamientos mecánicos y térmicos, medios de trabajo y desechos destinados a posibilitar la elaboración de objetos de adorno, herramientas y armas metálicas. Para poder llevar a buen término las actividades metalúrgicas se requiere de un profundo conocimiento sobre la reacción de

[55] Los documentos escritos transmiten algunas informaciones sobre el aprovechamiento de estas propiedades metálicas en la antigüedad. Para construir la gran estatua del faraón Pepi (VI dinastía; 2395-2360 a. C.) se emplearon chapas de 2x2 m de superficie y 1 mm de grosor. Partington (1935) menciona la pipa del rey Sahure en Abusir, forjada de una sola lámina cuya longitud original debió ser de 400 m, su sección longitudinal de 1,02 m, su diámetro de 4,7 cm y su grosor de 1,4 mm.

la materia prima a las temperaturas, los golpes etc. Generar las condiciones necesarias para que tal proceso productivo tenga lugar, como por ejemplo, procurar el combustible necesario para conseguir las elevadas temperaturas de fundición del metal, son tareas que exigen un grado de fuerza de trabajo considerable. En términos generales, podemos afirmar que precisamente dicha complejidad tecnológica junto con el carácter especializado y estandarizado de la mayoría de los elementos que intervienen en el proceso metalúrgico, han dificultado en gran medida la realización de programas experimentales planteados desde la arqueología y el acceso a las materias primas y medios de trabajo necesarios para su desarrollo.

No obstante, se reconoce una clara predilección en la investigación arqueológica por las primeras etapas del proceso metalúrgico, sea en lo referente al estudio de materiales como a la experimentación. Mientras que en el primer caso, los esfuerzos se han dirigido preferentemente a tratar la cuestión de la procedencia y la extracción de los recursos metalíferos, en el segundo, la mayoría de los programas experimentales se han concentrado en reproducir procesos de triturado, reducción y fundición del cobre, dejando de lado los momentos finales de formatización y acabado de los objetos metálicos (p. ej. Rovira 2003: 75-81; Rovira y Gutiérrez 2003: 70-74).

En oposición a los avances que se han dado en la arqueología experimental, las fuentes de información arqueológicas, como son los contextos funerarios o las representaciones gráficas, subrayan la importancia de las últimas etapas del proceso metalúrgico. Los bajorrelieves egipcios del Imperio Antiguo, en los que se representan actividades metalúrgicas, ilustran únicamente el proceso tecnológico a partir de la fundición hasta la preparación del producto final (Müller y Thiem 2001). Lo mismo ocurre con elementos del ajuar procedentes de algunas tumbas de los milenios III y II, distribuidas a lo largo de la geografía europea (Bertemes *et alii* 2000, Bertemes y Heyd 2002, Belgiorno 2002, Fritzpatrick 2002, Belenskij y Kalykov 2004, Olexa 1987). En ellas nunca se incluyen instrumentos representativos de los procesos de extracción y primer tratamiento del mineral pero a ajuares "ricos" se asocian a menudo yunques y martillos líticos, en cuya producción se invierte un grado importante de fuerza de trabajo. En este sentido, una de las implicaciones más destacadas de la metalurgia fue un incremento considerable en instrumentos de coerción como son las armas, además del desarrollo de elementos suntuarios como son los adornos. Por lo que se desprende de los restos arqueológicos y las representaciones figurativas, la mayoría de estos productos metálicos derivados del proceso de producción metalúrgica y prácticamente todos los medios de trabajo que posibilitan su realización, son elementos asociados al quehacer masculino y están, por lo tanto, en manos de los hombres.

Experimentos de forja y pulido del cobre

Apoyándonos en los experimentos llevados a cabo por Hundt con cantos rodados enmangados y plataformas líticas que utilizó para la forja de láminas y, a partir de ellas, agujas o punzones de cobre (Hundt 1975: 117), hemos orientado los trabajos de forja principalmente a a) comprobar la aptitud de las rocas de textura ofítica (gabros y microgabros) en el martillado del cobre, tal y como lo planteamos a modo de hipótesis y b) registrar el desarrollo del desgaste y la posible instalación de residuos sobre los frentes de percusión a lo largo del tiempo. Para realizar los experimentos de forja se

acondicionó un equipo compuesto por medios de trabajo líticos y materia que consta de los siguientes elementos:

- un martillo de microgabro de 86x83x32 cm, enmangado con una cuerda en un vástago de madera de encina (Exp. 6)
- un yunque-martillo de gabro de 74x72x64 cm, hincado en un tronco de encina (Exp. 7)
- una barra de cobre de 22 mm de diámetro
- combustible para hacer fuego en una pequeña área de combustión, compuesta por 1900 gramos de ramas finas mayoritariamente procedentes de encina y de algunos frutales y 7330 gramos de leña de roble; todo ello en estado seco (primera mitad del experimento, 60 minutos).
- combustible para hacer fuego en una pequeña pequeña área de combustión, consistente en una caja con 16 kg de trozos de vigas, ramas de roble, de encina y de algunos frutales. El material se encuentraba húmedo (segunda mitad del experimento; 150 minutos).

La consecución de los trabajos de forja se realiza a través de un solo ciclo experimental. Ello ha comportado la formación de dos superficies de desgaste, cada una de ellas observadas en dos momentos diferentes de desgaste (Figura 2.2.5).

Nº exp. / Nº ítem	Soporte A	Litología	Morfología	Tiempo (minutos)	Materia de contacto	
					B	C
4/6	Martillo	Microgabro	Recto	60	Yunque-gabro	Barra de cobre caliente
7/6				210		
4/7	Yunque	Gabro	Convexo-recto	60	Martillo-microgabro	Barra de cobre caliente
7/7				210		

Figura 2.2.5: Experimentos de forja del cobre y características de los materiales que entran en contacto durante los mismos.

El experimento consiste en transformar uno de los extremos del tubo de cobre en una chapa de un milímetro de espesor, para lo cual el objeto se calienta en contacto directo con las brasas del fuego. Mientras una persona realiza los trabajos de forja, una segunda se encarga de mantener el fuego, alimentándolo y avivándolo con un fuelle manual. El martillo se maneja en la mano ejecutando movimientos de percusión sobre la barra de cobre que es asida, mediante un paño, con la otra mano y está situada directamente sobre el yunque[56] (Figura 2.2.6). En los momentos iniciales del experimento, el metal tarda en calentarse y en adquirir, por lo tanto, la maleabilidad suficiente para ser trabajado. Pasados los 10 primeros minutos, resulta suficiente mantener la barra durante unos 30 segundos al fuego, para calentarla y ablandarla. El metal es extraído a menudo al "rojo vivo", lo cual llega a marcar la superficie del tronco-yunque con quemaduras. No obstante, la temperatura alcanzada no llega en caso alguno al punto de fusión del cobre (900-1000ºC), siendo posible ejecutar únicamente 10-15 golpes con el martillo sobre el mismo, antes de que vuelva a enfriarse.

[56] En la primera fase se experimentó con una roca esquistosa insertada en el tronco, a modo de yunque, cuya superficie había sido alisada y pulida mecánicamente. Sin embargo, pronto nos dimos cuenta de que la percusión continua conducía al astillado de la pieza en sus bordes, sobre todo, en los momentos previos al recalentamiento del metal, cuando éste volvía a estar frío y duro. Considerándola no apta debido a sus propiedades texturales, sustituimos este yunque por otro de gabro (Exp-7).

Figura 2.2.6: Obtención artesanal de una lámina a partir de una diminuta pepita de oro (Carcedo 2005: figs. 3 y 4; arriba); proceso experimental de forja con un martillo de microgabro y un yunque insertado en un tronco (abajo).

La barra de cobre se ha trabajado principalmente en sentido horizontal, desplazándose lateralmente, después de cada golpe. Esto hace que el martillado del metal, y consiguiente laminado, se realice por yuxtaposición de los golpes. Una vez recorrida la superficie que se quiere laminar en un sentido y en el otro, se repite la tarea en la superficie reversa. A la hora de realizar los pliegues, la pieza se coloca transversalmente a la superficie del yunque. El intento de soldar por percusión ambos pliegues con la parte central del tubo, resulta fallido puesto que ambas láminas no llegan a fusionarse del todo, debido a la conocida dificultad que presenta el cobre para la soldadura.

Tras dos etapas de trabajo, una de 60 y la otra de 150 minutos de duración, se ha quemado todo el combustible y el extremo del tubo ha quedado reducido a la mitad de su grosor inicial (Figura 2.2.7). Media hora más tarde del cese del experimento, el yunque sigue estando caliente; el metal se ha enfriado del todo y la superficie trabajada ha adquirido una pátina rojiza-brillante. Tanto en la superficie de percusión del martillo como en la del yunque se observan *de visu* adherencias de partículas cuprosas desprendidas de la barra de cobre durante las tareas de forjado. En el caso del frente de percusión del martillo los residuos de cobre van acompañados de una película de brillo oscuro. Para el estudio de las huellas, se ha realizado una observación bajo el binocular al término de cada una de las dos etapas de experimentación que componen este ciclo.

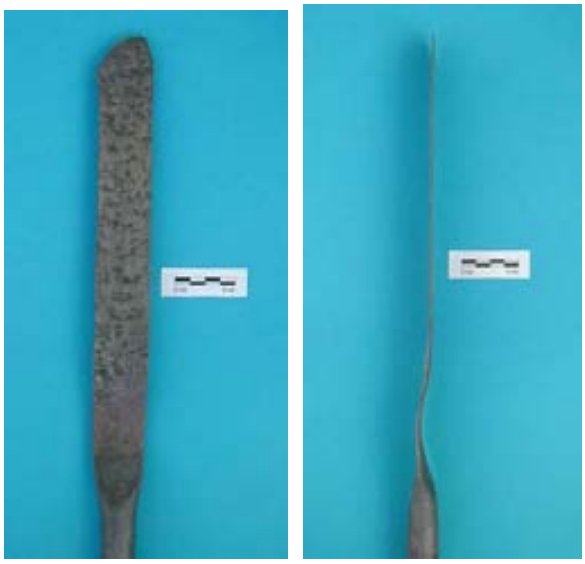


Figura 2.2.7: Barra de cobre transformada por forja en una lámina de 1 mm de grosor tras 150 minutos de trabajo.

Una vez forjada la chapa de cobre, se procede a regularizarla por pulido, con el fin de proporcionar a la superficie metálica un aspecto brillante. En este caso, se comparan a) las huellas generadas por el metal en estado caliente y en estado frío para comprobar si ambos tipos de contacto se reflejan en las huellas observadas, b) el desgaste generado en esquistos de grano fino (micáceo) y esquistos de grano grueso (psamítico), frente a condiciones similares de contacto y c) la eficacia de los tratamientos en frío y en caliente para adquirir una superficie metálica uniforme y brillante. A estos efectos utilizamos

- un yunque hincado en un tronco de encina,
- un canto alargado de esquisto micáceo de 116x27x24 cm (Exp-8)
- un canto alargado de esquisto psamítico de 157x4521 cm (Exp-9)
- una chapa de cobre martillado
- combustible utilizado para hacer fuego en una pequeña barbacoa consistente en 1900 gramos de ramas finas mayoritariamente procedentes de encina y de algunos frutales y 5330 gramos de leña de roble. El material está seco.

El uso experimental de estos materiales ha generado cuatro ciclos de diversa duración a los que corresponden cuatro superficies de desgaste (Figura 2.2.8).

Nº exp./ Nº ítem	Soporte A	Litología	Morfología	Cara	Tiempo (minutos)	Materia de contacto	
						B	C
5/8	Alisador	Esquisto micáceo	Convexo-recto	Anverso	120	Barra de cobre caliente	-
9/8	Alisador	Esquisto micáceo	Recto-recto	Inferior	60	Barra de cobre frío	-
8/9	Alisador	Esquisto psamítico	Convexo-convexo	Inferior	120	Barra de cobre caliente	-
6/9	Alisador	Esquisto psamítico	Convexo-recto	Anverso	60	Barra de cobre frío	-

Figura 2.2.8: Experimentos de pulido del cobre y características de los materiales que entran en contacto durante los mismos.

Durante el tratamiento en caliente, la chapa de cobre es ablandada al fuego y mantenida después, al igual que en el caso de la forja, sobre el yunque. La cara reversa de la chapa –aquélla que presenta el pliegue- se trabaja con un alisador por movimientos de vaivén que se realizan, presionando contre ella, en sentido longitudinal de la pieza metálica (Figura 2.2.9). Una y otra vez la chapa es calentada al fuego. El experimento se acaba tras 120 minutos con una secuencia alternante de pulido y forja interrumpida con temple (inmersión del metal en agua y enfriamiento rápido). La tarea se repite con el segundo alisador, si bien en este caso, tras el cese del pulido, se aplica directamente el temple. La fricción entre la piedra y el metal genera una cantidad relativamente alta de partículas minerales desprendidas de la primera, lo cual hace necesario la limpieza periódica de ambas superficies con ayuda de un pincel. Finalmente, tras dos horas de experimentación, el trabajo del metal en caliente no ha generado la transformación deseada, pues el desplazamiento del alisador sobre éste, lejos de pulir la superficie metálica, conduce a una redistribución de las partículas metálicas, a su extracción parcial y a la formación de unas pocas estrías sueltas, lo cual confiere un aspecto rugoso a la lámina de cobre (Figura 2.2.10).

Figura 2.2.9: Pulido de una lámina de cobre calentada al fuego con un alisador de esquisto micáceo. Obsérvese el polvo desprendido de la superficie activa del alisador, el cual impregna el metal.

El pulido de la chapa de cobre en frío se realizó sobre la cara anversa de la misma, con movimientos de vaivén, trabajo que también generó una cantidad importante de polvo lítico que debía ser retirado regularmente, a lo largo del experimento. Los efectos de la fricción se hicieron evidentes pasados los primeros 60 minutos, con lo que se dio por finalizado el experimento, considerando que el propósito había sido alcanzado. La superficie metálica obtenida aparece cubierta de numerosas estrías finas paralelas, yuxtapuestas y orientadas en dirección del movimiento. Si bien las estrías pueden incidir más o menos en el metal, en conjunto, forman extensos planos de homogenización, muy pulidos, de color ocre metalizado, lo cual le confiere un aspecto brillante (Figura 2.2.11).

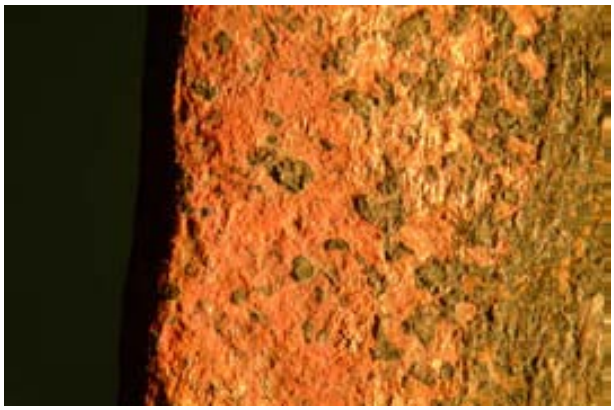


Figura 2.2.10: Superficie de la lámina de cobre tratada por abrasión en caliente.

Figura 2.2.11: Superficie de la lámina de cobre tratada por abrasión en frío.

El desgaste generado bajo condiciones de contacto determinadas ha ocasionado patrones diferentes (Figura 2.2.26). Los alisadores se desgastan más rápidamente en contacto con el metal frío que con el caliente, desarrollando superficies activas de morfología recta. El estado en el que se encuentra el metal a la hora de transformarlo también tiene implicaciones en la forma en la que los residuos de este material aparecen adheridos a la superficie del instrumento de contacto. La cantidad de residuos cupríferos remanentes sobre la superficie del alisador de esquisto psamítico utilizado para pulir el cobre reblandecido previamente es considerablemente mayor que en el resto de los ejemplos (Figura 2.2.43b).

Sin embargo, la formación del desgaste también parece estar estrechamente ligada a la granulometría y la composición mineralógica de la roca. Mientras que el contacto con el cobre, tanto en estado frío como caliente, generó en el caso del esquisto micáceo, superficies cubiertas de estrías, la granulometría y esquistosidad marcada del esquisto psamítico no ha propiciado este patrón en caso alguno (Figura 2.2.43a y c; Figura 2.2.43b y d).

Trabajo de la piel

El trabajo de la piel se considera uno de los procesos "artesanales" más antiguos llevados a cabo por el ser humano, en su caso, antes de la aparición de la alfarería, la metalurgia o la producción textil. Pese a la variabilidad de las técnicas de tratamiento de la piel, los fundamentos han seguido inalterados a lo largo de la historia (Audoin y Beyries 2002). Se trata de un proceso de producción que, desde su aparición en el Paleolítico, no ha sufrido grandes cambios, si bien las técnicas empleadas, tal y como ocurre con el proceso de producción metalúrgica, han ido variando en los diversos contextos históricos y dependiendo de la capacidad tecnológica alcanzada y las condiciones sociales vigentes en cada uno de ellos. Como fuentes de información para realizar una aproximación a la configuración del proceso, nos sirven nuevamente los archivos mesopotámicos del III milenio y los bajorrelieves de las tumbas del antiguo Egipto (Driel-Murray 2000: 299-319). Sin embargo, en ellos aparece representada una selección muy concreta del proceso que ignora las fases "sucias" pero esenciales de limpieza y deslanado-depilado de las pieles. Igualmente la literatura clásica ofrece testimonios de dicho proceso así como de la introducción de innovaciones en lo que al implemento de sustancias curtientes se refiere (Theophrastus, *H. Plant. III 8.6, 9.1, 14.3, 18.5 y IV 2.8*). Para épocas históricas existen descripciones del siglo VX (*Gioventura Rosetti* citado en Cordoba de la Valle 2000: 351-365) los siglos XVII-XVIII (Jerôme de Lalande citado por Halasz-Csiba 1992) y principios del XX (Maurice de Péribuy 1916), que ilustran ampliamente las etapas y los requerimientos técnicos del tratamiento de las pieles y la producción del cuero, así como trabajos que describen el proceso de trabajo en curtidurías modernas, como, p. ej. la de Medina de Fez (Marruecos), el cual puede enmarcarse en la producción a escala industrial pero con el implemento de técnicas tradicionales.

Todos estos procesos tienen en común la transformación físico-química de la piel, la cual requiere de un proceso de trabajo muy prolongado en el tiempo. La manipulación del material orgánico y la generación de sustancias químicas exigen ciertas condiciones de higiene y abundancia del agua, para su correcta evacuación, lo cual conduce a la localización habitual de las curtidurías en espacios abiertos, cerca de ríos y fuentes de agua corriente, así como en espacios bien ventilados y protegidos de la incidencia directa del sol. Precisamente esta evacuación regular de los desechos generados durante el proceso de producción y la necesidad de una limpieza continua de los espacios, pueden dificultar el reconocimiento de los mismos en el depósito arqueológico, a falta de los medios de producción que intervienen en él.

La adquisición de la materia prima, la piel animal, se inicia con la cría y matanza del ganado o bien con la caza de animales salvajes. Una vez el animal ha sido sacrificado, se procede a desollar o separa la piel del cuerpo y de la carne subcutánea[57] y, con ello, se emprende un laborioso proceso de tratamiento de la piel que se descompone en varias fases, cada una de ellas con una diversa finalidad. Entre ellas se alternan etapas de trabajo en las que la piel es sometida a evaporación/deshidratación con otras

[57] Cuando se trata de pieles enteras, esta tarea puede llevar una hora o más de trabajo, resultando más fácil, si se realiza justo después de la matanza del animal (Hayden 1990; Kamminga 1982; Teit 1909: 477). Una vez retirada la piel, el animal puede ser procesado por descuartizamiento (desmembrar las articulaciones) y/o descarnado (separar carne de hueso), a otros efectos.

que le confieren elasticidad y suavidad. La más importante es aquélla que concluye en la conversión de piel en cuero, el curtido, lo que implica el detenimiento del proceso de descomposición de la misma, confiriéndole resistencia a la putrefacción y a la hidrólisis. La verdadera acción curtiente afecta a nivel molecular, a las fibras de colágeno de la piel, a las cuales se fijan los ácidos grasos oxidados formando con ellas combinaciones químicas indisolubles (Chahine 1992: 61-75). Del curtido propiamente dicho, se diferencia un "pseudo-curtido", mediante el cual se introducen sustancias en los intersticios de las fibras, como p. ej. harina, que reemplazan el agua inicial existente en la piel. El implemento adicional de grasa o aceite le confiere la flexibilidad necesaria para confeccionar objetos de vestido o herramientas. Sin embargo, el estado en el que queda la piel tras este tratamiento es, en cualquier caso, reversible, lo cual conduce a su descomposición en ambientes húmedos. Existe un amplio abanico de tratamientos posibles, los cuales dependen del tipo de piel tratada y su estructura[58], así como de la variedad de agentes curtientes. Los procesos curtientes pueden realizarse a partir de sustancias vegetales, minerales (sales metálicas, alumbre), grasas, aceites, ahumado, o un curtido mixto. El curtido vegetal es el único método que confiere a la piel una estabilidad química irreversible[59].

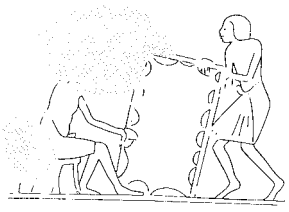
Entre las operaciones previas al curtido, destaca, en primer lugar, la *conservación* de la piel en bruto mediante un baño de sal, cenizas, sesos u orina que conduce a la deshidratación y endurecimiento de la misma. La salazón dura 3-4 días y el posterior secado de la piel 8-15 días (Halasz-Csiba 1992: 27-49). Un baño de la piel en cal durante unos 20 días favorece la remonición de las adherencias y sustancias protéicas que quedan en la piel. El *lavado* de las pieles mediante la inmersión en agua, excrementos de paloma y/o harina durante 3-4 días permite eliminar parcialmente los conservantes (sal) y rehidratar y ablandar las pieles. Con ello se puede proceder al *depilado* de las pieles depositándolas en lechos de agua, cada vez más caliente, o mezclada con una solución de higos secos, lo cual conduce a la disolución parcial de la queratina que constituye la epidermis, facilitando el desprendimiento de la lana (deslanado o depilado). Este tratamiento es muy prolongado en el tiempo y le confiere suavidad y flexibilidad. A continuación se procede al *trabajo de rivera*, una operación preliminar de preparación de la piel para el curtido, que consiste básicamente en la eliminación de partículas de la epidermis de tejido subcutáneo mediante ataques encimáticos de reactivos alcalinos generados por procesos de fermentación. Los elementos de la epidermis son entonces retirados por abrasión y la limpieza total de los productos alcalinos que se han introducido durante el tratamiento previo, neutralizando la cal con soluciones ácidas. (las sustancias vegetales provocan fermentaciones ácidas, las sustancias animales provocan fermentaciones neutras o alcalinas).

Al término de esta fase, el material queda reducido a la dermis, en forma de membrana blanca. En este estado la así denominada "piel en tripa" resulta altamente putrescible por lo que se hace necesaria su transformación en cuero hidrófobo a efectos de su utilización. Con el fin de curtir las pieles, éstas se sumergen durante días en aceites y

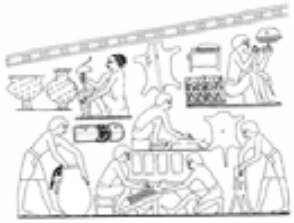
[58] Halasz-Csiba (1991:359) menciona tres tipos de cueros: a) los fuertes que proceden de la piel del ganado grande como p. ej. el búfalo, b) los flexibles o blandos que proceden de pieles de ternera, vaca etc. y c) los ligeros que proceden de cabrito, cordero etc.

[59] Previamente a la utilización de dichas sustancias, se aplicaban sustancias conservantes que únicamente favorecían un proceso de pseudo-curtido (orina, cenizas, pastas de harina y sal), fase límite alcanzada en Egipto y Mesopotamia hasta la época greco-romana, durante la cual se empiezan a utilizar sustancias curtientes vegetales.

curtientes naturales como son los extractos de encina o castaño, la corteza de roble, pino que conducen finalmente a la estabilización irreversible del cuero. Esta etapa puede durar varios años.



El proceso del adobado curtiente de las pieles, termina con la exposición y secado del cuero, colgado a la sombra, durante varias semanas, tras lo cual se inician las etapas de acabado del producto. El dolado o raspado del lado interior conduce a la regularización y al rebajamiento de su grosor, consiguiendo de esta manera cueros más finos y blandos. Mediante el fregamiento de los cueros se pueden obtener productos pulidos y brillantes. La tintura del cuero puede acontecer por macerado y/o por abrasión de los productos sobre la superficie. Los colorantes pueden ser de origen vegetal, animal y mineral, empleándose a menudo el alumbre como fijador de los mismos. El cuero puede ser engrasado con soluciones aceitosas para lubricar las fibras, nutrirlo nuevamente y conferirle elasticidad. Finalmente, se seca por última vez.



En cuanto a la dimensión social que tiene el trabajo de las pieles, Hayden indica que entre los indios de Columbia la producción de pieles "de lujo" puede suponer un tiempo de trabajo que multiplica por dos o por cuatro el tiempo dedicado al proceso de producción convencional. En todos los casos etnográficos registrados por él la preparación y el ablandamiento de las pieles de este tipo se enmarcan en las actividades productivas llevadas a cabo por las mujeres (Hayden 1990: 89-102). También en las Islas Canarias parece el trabajo y la confección de pieles era generalmente un quehacer de las mujeres (Rodríguez Rodríguez 2002: 71ss.). Además no parece las fases de curtido y posterior confección de las pieles fueran actividades llevadas a cabo por diversos especialistas, sino que eran las mismas personas. También entre los Touaregs de Mali (Hincker 2002: 99-112), en Konso (Etiopia) la mayoría mujeres (Brandt y Weedman 2002: 118), en Canadá (Tchouktches) exclusivamente mujeres y en Russia (Athapaskans) hoy día casi sólo mujeres mientras que en el pasado las tareas estaban repartidas entre ambos sexos (Beyries 2002: 145; 148).

Ya hemos indicado anteriormente que la necesidad de realizar limpiezas periódicas del área de trabajo, conduce a eliminar gran parte de las evidencias de estas actividades en el depósito arqueológico. No obstante, el proceso de producción de pieles genera toda una serie de desechos como orina, cenizas, fosfatos, lípidos, alumbre y colorantes, entre otros, que pueden quedar preservados en cantidades pequeñas, para cuyo reconocimiento se adecuan, sobre todo, los análisis químicos, la microscopía electrónica y la difracción de rayos X. Los propios productos acabados y las partículas que accidentalmente se instalan en ellos, como son los granos de polen, pueden dar cuenta de los métodos específicos de curtido empleados para su elaboración (Groenman-van Waateringe *et alii* 1999: 884-890).[60] En cuanto a las estructuras relacionadas con este

[60] Groenman-van Waateringe y otros publican los resultados obtenidos a raíz de un programa experimental encaminado a observar la reacción de las partículas polínicas insertadas en pieles sometidas a diversos métodos de curtido. Con ello, se pretendía interpretar los cambios registrados en los pólenes pertenecientes a la vestimenta de cuero del *Iceman* de Hauslabjoch, hallado en el norte de Italia. La variabilidad morfométrica y cromática de los pólenes, permitió proponer el secado por ahumado caliente y previo engrase de la piel, tal y como lo describe Binford para los Amerindios (Binford 1972: 42-44).

tipo de actividades, son sobre todo patios abiertos y pavimentados los ámbitos en los que acostumbran a desarrollarse estas actividades, los cuales pueden estar provistos de pozos, cubetas y vasijas de grandes dimensiones para el adobado y la tintura, canales de conducción de agua y hogares.

Las herramientas que intervienen como medios de trabajo de la piel, son las que probablemente más han evolucionado a lo largo de la historia. Con el tiempo, los instrumentos óseos, líticos y de madera han ido sustituyéndose por otros metálicos como cuchillos, ganchos, cardadores o cepillos. No obstante, existen numerosos ejemplos etnográficos y arqueológicos en los que instrumentos líticos aparecen estrechamente relacionados con el tratamiento del alumbre, las tareas de tintorería y el procesado de la piel en general, durante el cual cantos rodados de piedras granudas entran en contacto directo con la piel en diversos estados de procesamiento. Hayden ha aportado datos etnográficos al respecto en los que se destaca la ventaja de herramientas macrolíticas en fases de descarnado frente a artefactos tallados, los cuales han de utilizarse con cuidado para no cortar la piel accidentalmente (Hayden 1990: 89-102, fig. 5). En este sentido, los cantos rodados de rocas abrasivas se adecuan tanto para limpiar pieles como para ablandar o alisar el cuero (Adams 1988: 307-315; de Beaune 1989: 61-64; González e Ibáñez 2002: 69-80). La granulometría de la roca parece ser un factor importante para su intervención en una fase determinada de la cadena de elaboración. Por una parte, el empleo de rocas de grano grueso está ampliamente documentado para la labor de descarnado, y en menor medida de depilado, de las pieles por abrasión. Por otra, las rocas con superficies convexas de grano fino se han utilizado tradicionalmente para el flexibilizado de los cueros.

Experimentos de limpieza de la piel, flexibilización del cuero y elaboración de colorantes

El tratamiento de la piel o el cuero se realiza a menudo intercalando una tercera sustancia entre éstos y el instrumento lítico. Sin embargo, tal y como se ha podido comprobar experimentalmente, la adición de abrasivos, sobre todo en la limpieza de la piel fresca, no siempre resulta eficaz (González e Ibáñez 2002: 69-80). Teniendo en cuenta la morfología y las dimensiones de los cantos rodados que tradicionalmente se utilizan en el trabajo de la piel consideramos un tipo de alisadores, relativamente abundantes entre los inventarios del sudeste, como artefacto que potencialmente podría haber participado en tareas de procesamiento de pieles. Se trata de cantos rodados de micaesquisto granatífero que, por sus dimensiones, han podido ser manejados cómodamente en una mano. La existencia de granates inmersos en una matriz micácea, bastante más blanda, confiere a esta roca propiedades abrasivas que, a falta de elementos aditivos, podrían cumplir con la función de arrancar por raspado las partículas sebosas de la epidermis de la piel. En este caso los experimentos van encaminados a a) poner a prueba la hipótesis de la participación de estos cantos en el trabajo de la piel y b) contrastar los efectos que tienen sobre este litotipo dos estados diferentes de la piel, uno en fresco, el otro en seco. Para propiciar los contactos materiales pertinentes se utilizaron los siguientes ítems experimentales:

- dos fragmentos de canto rodado de micaesquisto granatífero cortado a unas dimensiones aproximadas de 100x54x33 mm

- una piel fresca con pelo, tal y como sale del matadero, de un cordero de 3-4 meses de edad
- tres pequeños pieles enteras de cabrito, de 20-30 días de edad, que no habían sido tratadas previamente mediante proceso de curtido alguno; se adquirieron tras haber sido limpiadas, almacenadas a 4ºC, conservadas con un baño de sal y finalmente, secadas al aire. Con ello, quedaba interrumpido el proceso de putrefacción, aunque esto, tal y como hemos indicado anteriormente, no supone un curtido verdadero. Es por ello que no las hemos considerado cueros.

Los alisadores fueron preparados con ayuda de una sierra a partir de un bloque de micaesquisto de mayores dimensiones. Si bien la morfología general de los instrumentos no es comparable a la de un canto rodado, las secciones de las superficies activas se mantuvieron convexas. Cada una de estas superficies se utilizó exclusivamente con un tipo de piel, fresca o seca, en tres intervalos de 30 minutos, cada uno. De esta manera se realizan dos ciclos experimentales obteniéndose a su término dos superficies de desgaste (Figura 2.2.12).

Nº exp./ Nº ítem	Soporte A	Litología	Morfología	Cara	Tiempo (minutos)	Materia de contacto	
						B	C
31/21	Alisador	Micaesquisto granatífero	Convexo/cóncavo-convexo	Derecha	30	Piel fresca de cordero	-
37/21					60		
47/21					90		
19/22	Alisador	Micaesquisto granatífero	Convexo-recto	Derecha	30	Piel de cabrito seca	-
34/22					60		
36/22					90		

Figura 2.2.12: Experimentos de alisado de la piel y el cuero y características de los materiales que entran en contacto durante los mismos.

El contacto generado entre el alisador y la piel fue directo en ambos ciclos experimentales, sin adición de sustancias intermedias. El alisador se tomó en una mano y se presionó contra la piel deslizándolo hacia delante y hacia atrás, en movimientos longitudinales al eje mayor del instrumento.

Aunque la parte interior de la piel de cordero estaba relativamente limpia, aún quedaban adherencias de sebo que se trataron de eliminar por abrasión con uno de los alisadores (Figura 2.2.13). Para ello se cortó la piel en cuatro cuartos, de los cuales tres se trabajaron durante intervalos de 30 minutos respectivamente. Poco después de emprender la tarea el alisador quedaba impregnado de grasa la cual actuaba, junto con el alto porcentaje de humedad aún presente en la materia orgánica, como lubricante entre la piedra y la piel y favorecía el deslizamiento sin provocar un fácil desprendimiento de los restos sebosos. Además la masa de sebo desprendida de la piel tendía a colmatar las irregularidades de la superficie lítica, con lo cual el deslizamiento del alisador a lo largo de la piel se acentuaba. Con todo, asumimos que habría sido más provechoso introducir algún material abrasivo que incrementase la fricción entre ambos cuerpos.

El trabajo realizado sobre la piel de cabrito consistió en ablandarla y flexibilizarla ya que al inicio presentaba una textura acartonada (Figura 2.2.13). Para ello se frotó la piel por su parte interior directamente con el alisador de micaesquisto granatífero. Durante el trabajo la parte activa del alisador así como los bordes de las superficies adyacentes, se cubrieron ligeramente de la grasa remanente que quedaba en la piel. Sin embargo, el grado de abrasión generado durante los movimientos de vaivén fue suficiente para romper parte de las fibras de la piel por desprendimiento de pequeñas membranas. Esto

conducía paralelamente a la disminución del grosor de la piel y a su afinamiento, por lo que en algunos puntos se llegó a su perforación. Al cabo de 30 minutos los efectos del frotamiento eran evidentes, y las arrugas habían sido eliminadas de la piel, confiriéndole un mayor grado de flexibilidad.

Figura 2.2.13: Trozo de piel de cordero fresca antes de retirar los restos de sebo con el alisador (izquierda); parte interior de una piel de cabrito que presenta un aspecto acartonado (derecha).

En términos generales, consideramos ineficaz la limpieza de la piel fresca con los medios de trabajo aplicados en la experimentación, por lo que resulta muy improbable que los cantos rodados de micaesquisto granatífero se utilizasen durante la prehistoria bajo las condiciones técnicas adoptadas en nuestros experimentos. Por el contrario, fue posible conseguir la flexibilización de la piel seca mediante el frotamiento de la misma con un canto rodado de micaesquisto granatífero. Podemos adelantar, sin embargo, que los patrones de desgaste obtenidos no son comparables a los observados en los cantos arqueológicos (Figura 2.2.26). Mientras que los primeros confieren a la superficie un aspecto graso que cubre los granates generalmente embotados (Figura 2.2.44d), los segundos presentan granos nivelados o totalmente arrasados, patrones propios de contactos con materias duras y rígidas. Volveremos sobre esta cuestión en los próximos capítulos.

Como ya hemos indicado anteriormente, durante las tareas de raspado, alisado y flexibilizado los instrumentos macrolíticos actúan a menudo conjuntamente con alguna sustancia antiséptica o colorante sobre la piel o el cuero. En otras ocasiones, simplemente se utilizan para desmenuzar sustancias colorantes sobre una losa de trabajo, que son destinadas a teñir y decorar cueros, productos textiles u otros objetos muebles (Audouin y Plisson 1982: 57; Hayden 1990: 89-102; 2002: 195-216). En este sentido el procesado del ocre[61], ha estado siempre íntimamente relacionado con el tratamiento de las pieles y los tejidos[62].

En la zona de estudio existen varios indicios del uso de colorantes durante el Calcolítico y la época argárica. En el yacimiento lorquino de Cueva Sagrada se encontró en 1988 un

[61] En cuanto al significado laxo del término "ocre" ver Audouin y Plisson 1982. Aquí lo utilizamos en sentido genérico para denominar cualquier materia mineral a partir de la cual puede obtenerse colorante del mismo color.

[62] Al margen del trabajo de la piel, el ocre también se utiliza como aglutinante de resinas para fijar al mango de instrumentos de trabajo de diversa naturaleza (Rosenfeld 1971; Wylie 1975; Keeley 1987).

enterramiento en el que un individuo había sido depositado con una túnica tintada de color ocre[63] (Eiroa 2005). En el casco urbano de Lorca, concretamente en el Carril de Caldereros, se conocen ítems macrolíticos con residuos de color ocre (*infra*) que indican la manipulación de materias colorantes. En algunas tumbas argáricas excavadas por los hermanos Siret y en intervenciones más modernas, se han registrado sobre los esqueletos restos de una sustancia de color ocre que se interpreta como cinabrio, con el cual debieron de estar tintadas las prendas de los cadáveres[64]. Para épocas más antiguas se conocen yacimientos franceses y españoles en los que existen evidencias arqueológicas de la manipulación del ocre con diversas aplicaciones como son la decoración de la cerámica cardial, la preparación del engobe[65] y la coloración de cantos rodados así como de las paredes de varias cavidades. Encontramos ejemplos de esta esta última aplicación en la cueva de Chaves, en Huesca (Utrilla y Baldellou 2001-2002). Además de los contextos de uso, también existen contextos de producción del ocre en cuevas neolíticas de la mitad este peninsular en las que alisadores, percutores, mazas, muelas y molinos aparecen como posibles medios de trabajo que intervienen en su procesado. Éste es el caso de la Cova Fosca, en Castellón (Olària 1988: 231-236).

El objetivo de nuestros experimentos en torno al trabajo del ocre era principalmente establecer las bases para comparar huellas generadas durante el procesado del mismo con las huellas observadas sobre una serie de artefactos arqueológicos que podrían haber intervenido en estas actividades. La preparación del ocre, tal y como la planteamos en nuestro programa experimental, podría situarse tanto en la cadena de producción de la piel, como en cualquiera de las actividades y aplicaciones descritas anteriormente. Para ello utilizamos los siguientes elementos:

- una losa de caliza bioclástica de 400x214x80 cm
- un canto rodado de mármol puro de 110x100x30 cm
- 500 gr de óxido de hierro en tamaño centimétrico

El canto rodado se utilizó como instrumento móvil sobre la losa de caliza, emplazándose el óxido de hierro entre ambas superficies activas. El ciclo experimental durante el cual se procesa el colorante, genera dos superficies de desgaste y consiste en tres etapas de 30 minutos, cada una (Figura 2.2.14).

[63] En este caso concreto existen análisis preliminares de los restos de tintura que apuntan a sustancias colorantes de carácter vegetal y no mineral (Eiroa 2006).
[64] Además de los hallazgos de los hermanos Siret en El Argar (p. ej. el cráneo 356), existen evidencias de este tipo en El Oficio, Fuente Álamo (Siret y Siret 1890: 198), la tumba 9 del Cerro del Culantrillo (García 1963: 75), en San Antón de Orihuela (Furgus 1937: 24) y en la tumba 12 de Madres Mercedarias (Lorca; Ayala 1991: 130; Martínez *et alii* 2002a: 45).
[65] Existen ejemplos etnográficos, como el de Camerún, en los que el ocre se aplica sobre la superficie cerámica previamente a la cocción para darle un tratamiento estético y simbólico. Luego se bruñe con un canto rodado (Wallaert-Pêtre 1999: 106).

Nº exp./ Nº ítem	Soporte A	Litología	Morfología	Cara	Tiempo (minutos)	Materia de contacto	
						B	C
16/16	Losa	Caliza bioclástica	Cóncavo/recto -recto	Anverso	30	Alisador/percutor-mármol	Óxido de hierro
22/16					60		
23/16					90		
16/24	Alisador/ percutor	Mármol	Recto-recto	Anverso	30	Losa -caliza bioclástica	Óxido de hierro
22/24					60		
23/24					90		

Figura 2.2.14: Experimentos de procesado de óxido de hierro y características de los materiales que entran en contacto durante los mismos.

Una vez situado un trozo centimétrico de óxido de hierro sobre la superficie de la losa, se toma el canto rodado de mármol en la mano y se percute con su cara anversa sobre el material a procesar. Nada más comenzar con la tarea las superficies claras de la losa y el percutor se impregnan de color rojo. La percusión se emplea en los momentos iniciales del experimento con el fin de reducir el óxido a trozos más pequeños, aptos para ser triturados por abrasión. A continuación se aplican movimientos de vaivén con los que aparece la primera fracción fina del material. Al término de cada intervalo de 30 minutos tiene lugar la limpieza, observación y descripción del desgaste. Paralelamente se procede a separar el producto triturado en cuatro fracciones diferentes con ayuda de mallas de diversa métrica. Tras haber sido retirada la fracción más fina (<0,25 mm) el resto vuelve a mezclarse para ser de nuevo incorporado en la siguiente etapa. Tras 90 minutos de trabajo un 37% del peso total ha sido transformado en polvo, apto para ser mezclado con algún fijador graso o mineral (p. ej. el alumbre) para utilizarse como colorante (Figura 2.2.15).

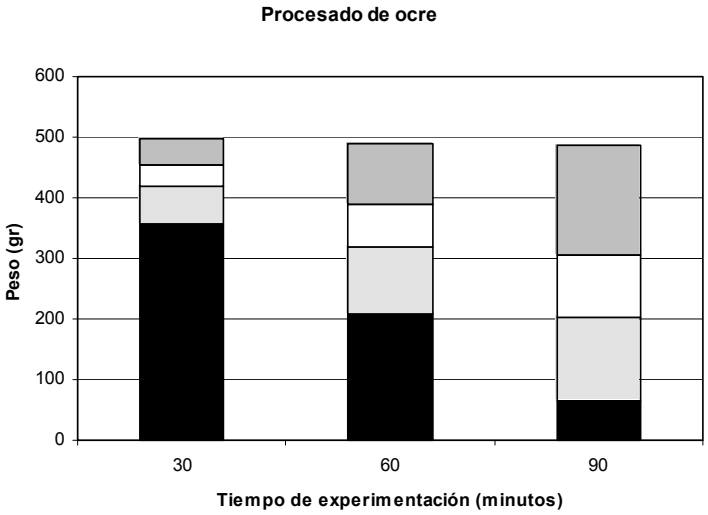


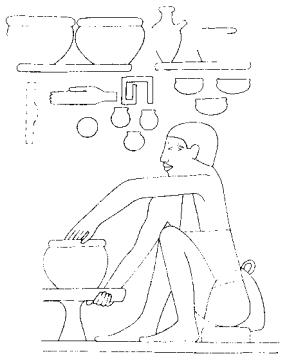
Figura 2.2.15: Procesado del ocre a lo largo del ciclo experimental según las fracciones >2mm (negro), 2-1mm (puntillado), 1-0,25mm (blanco), <0,25mm (rallado).

Las superficies de desgaste obtenidas durante los experimentos en torno al procesado de colorante se recogen en la Figura 2.2.26. Tanto sobre la superficie de la losa como sobre el alisador, se reconocen huellas propias de movimientos abrasivos y percusivos. Ambas conllevan una acentuación del microrrelieve por microfracturas, formación de fosillas y, en el caso del alisador de mármol, estrías intermitentes de surco amplio (Figura 2.2.45).

El desarrollo de una superficie accidentada en los primeros momentos de la experimentación viene favorecido por el peso y la morfología de los fragmentos centimétricos del óxido de hierro, en un estado inicial de procesado (Figura 2.2.45c y d). Sus aristas agudas y su dureza inciden por presión en la microtopografía de los instrumentos de trabajo incrementando el número de depresiones. Sin embargo, una vez el óxido de hierro ha alcanzado una fracción menor, los desniveles comienzan a atenuarse sobre las superficies líticas (Figura 2.2.45e-h). Ello va acompañado de una mayor presencia de residuos debido al estado de polvo que ha alcanzado la materia procesada, la cual se deposita en las pequeñas irregularidades de la microtopografía.

La alfarería

El proceso de producción alfarera ha sido replicado en numerosos programas de experimentación que reflejan el interés por parte de la investigación arqueológica de reproducir las condiciones tecnológicas en torno a la cocción, el modelado y el acabado de los propios recipientes cerámicos (Martineau y Pétrequin 2000: 337-356). Frente al profundo conocimiento de los aspectos tecnológicos que envuelven la elaboración de la cerámica prehistórica, escasean enfoques experimentales y funcionales sobre los medios de trabajo líticos que intervienen en estas actividades. Sin embargo, un amplio abanico de estudios etnográficos sugiere el uso de instrumentos de materias primas y morfologías determinadas entre los cuales el material macrolítico puede intervenir en algunas etapas del procesado de la arcilla y el desgrasante pero, sobre todo, los últimos momentos de preparado de la cerámica, previos a la cocción (Gosselain 2002).



En el marco de trabajos de alfarería se transforman sustancias minerales en recipientes cerámicos para la contención y/o el procesado mecánico o térmico de alimentos y otras sustancias consumidas por el ser humano (Skibo 1992). La materia prima fundamental en la producción cerámica es la arcilla, compuesto de filosilicatos con un alto grado de plasticidad. Ésta se recoge en depósitos cercanos a ríos donde se encuentran bancos de arcillas de diversa composición y propiedades. En cualquier pasta cerámica predominan los materiales arcillosos que componen la matriz, mientras que una fracción menor está representada por partículas no arcillosas como cuarzo, mica, calcita, feldespato, cáscaras de moluscos, materia orgánica vegetal o fragmentos de huesos. Éstas pueden haber sido añadidas de forma natural o artificial, es decir, intencionadamente y actúan como desgrasantes que proporcionan a la cerámica diversos grados de capacidad refractaria y resistencia mecánica. La incorporación intencionada de desgrasante a la arcilla va precedida generalmente por el procesado de las partículas minerales mediante triturado, para lo cual se emplean soportes líticos sobre los cuales se percute con un instrumento igualmente lítico (Procopiou 2004: 58-61). La arcilla con el desgrasante es mezclada con agua mediante actividades de *amasado*, lo cual permite transformarla en una masa homogénea y apta para el modelado. Tanto en esta etapa como en las que le suceden, es importante reducir la porosidad de la pasta al máximo con el fin de evitar heterogeneidades estructurales a favor de las cuales se pueda romper el recipiente durante el secado o la cocción. Además del trabajo manual con el que se puede llevar a cabo el amasado de la arcilla, en algunos casos etnográficos se documenta el uso de

instrumentos como molinos barquiformes y muelas, los cuales facilitan dicha tarea (Gosselain 2002: 64ss.; Procopiou 2004: 58-61).

Una vez preparada la masa, se procede a darle la forma deseada. Las técnicas de *modelado* son muy diversas y en términos generales se diferencian en función del implemento o no de dispositivos giratorios tipo torno (Palomar 2005: 308-311; Amengual 2006: 149-150). Dentro de las técnicas manuales que no utilizan estos dispositivos y que son las que se implementan en el contexto cronológico y geográfico que aquí tratamos, se diferencian el molde, el colombino, el vaciado de un volumen de arcilla, el martillado o la combinación de varias de estas técnicas. A esta primera formatización pueden añadirse modificaciones secundarias por presión o por extracción de materia mediante corte, raspado o rasurado. El uso de material lítico tallado en estos momentos previos a la cocción de la cerámica está atestiguado etnográfica, experimental y arqueológicamente, destinando sus bordes cortantes a menudo al afinamiento de las paredes o a la preparación de la abertura de los recipientes (Anderson *et alii* 1989; Gijn 1989; Gassin y Garidel 1993: 189-203).

A menudo las huellas generadas en estos trabajos son eliminadas por tratamientos de *acabado* que se aplican a las paredes exterior y/o interior de la pieza, aún en estado fresco o semi-seco (Palomar 2005: 311-312; Amengual 2006: 151-153). La técnica del alisado se realiza con la mano u otros materiales blandos o bien con materias duras y consiste en redistribuir la materia pastosa a fin de regularizarla (Shepard 1980, Rice 1987, Fourier 1996). En los casos en los que interesa conseguir una superficie rugosa a efectos de una mejor prensión, se aplica el texturizado mediante espatulado, impresiones, estampas, raspados (Rice 1987, Fourier 1996). En estas actividades pueden intervenir cantos rodados o espátulas de madera o hueso.

Un último tratamiento de la superficie cerámica previo a la cocción, el bruñido, tiene lugar cuando la pieza ya ha pasado por un primer proceso de evaporación del agua incorporada durante el amasado, a través del secado al sol. El bruñido de la pasta seca provoca la compactación de su superficie, le proporciona una apariencia brillante y la impermeabiliza mediante la colmatación y el cierre de los poros. Esta tarea puede llevarse a cabo con utensilios de madera, óseos o metálicos pero los cantos rodados resultan espacialmente eficaces (Figura 2.2.16; Rice 1987; Gassin y Garidel 1993: 194; Fourier 1996; Wallaert-Pêtre 1999: 106).

Figura 2.2.16: Alisado en fresco y bruñido artesanal de un recipiente cerámico con un canto de cuarzo (http://jal.binke.com.au/taller/index.htm).

Durante el posterior proceso de *cocción* se evapora el agua remanente entre los minerales de la arcilla y éstos se contraen entre sí, llegando a reducir su volumen entre 10-15% (Palomar 2005: 312-315; Amengual 2006: 154-155). Al igual que ocurre con los metales, los diversos agregados de la arcilla conducen a reacciones diversas frente a las temperaturas elevadas, pudiendo llegar a la desaparición de algunos elementos de la matriz. La cocción conduce a que los componentes minerales se fundan y formen una textura vitrificada, lo cual otorga a la cerámica cohesión y una mayor resistencia. La temperatura mínima de cocción para solidificar la arcilla y propiciar la pérdida de su plasticidad es de 500ºC. Tras la cocción los recipientes cerámicos pueden aplicarse tratamientos de resina, vidriado o ahumado de las superficies.

Si bien hoy en día la alfarería no es una actividad que típicamente aparece realizada por mujeres, muchos ejemplos etnográficos apuntan a que esta actividad está particularmente asociada a ellas (Rice 1991: 436-443; Wallaert-Pêtre 1999: 89-116). En Egipto las representaciones que aparecen en los bajorrelieves del Antiguo Imperio asocian la alfarería casi exclusivamente a actividades masculinas, y la participación de las mujeres en las mismas forma una excepción. Durante el Imperio Nuevo también intervienen mujeres y niños en las actividades de alfarería (Bourriau *et alii* 2000: 136).

Experimentos de producción de desgrasante y de bruñido de la cerámica

En el apartado anterior hemos indicado los momentos en los que los instrumentos macrolíticos pueden intervenir en la cadena de producción alfarera. En cuanto a la preparación del desgrasante que pasa a formar parte de la pasta cerámica, en los contextos arqueológicos estudiados destaca el desgrasante de naturaleza mineral como uno de los más importantes. En el caso de la cerámica de uso calcolítica así como la argárica en general, los desgrasantes más frecuentemente utilizados son aquéllos compuestos por mica y granates, tal y como los encontramos en algunas rocas esquistosas altamente metamorfizadas del sudeste peninsular (Castro *et alii* 1999). El tamaño del desgrasante depende a grandes rasgos de las dimensiones del recipiente, pudiendo aparecer fragmentos centimétricos de micas en las grandes vasijas de enterramiento argáricas, mientras que la cerámica fina de mayor calidad presenta desgrasantes en fracción muy fina que a menudo, únicamente se reconocen por su brillo al paso de la luz.

Los tipos de desgrasante reconocidos entre la cerámica talayótica y posttalayótica de Mallorca son el vegetal, el de chamota y el calcítico, que pueden aparecer asociados en la misma pasta (Palomar 2005; Amengual 2006). La calcita o caliza esparítica incorporada a las pastas suele medir en torno a los 0,5 mm (Lull *et alii* 1999: 569, tab. 3). Para su obtención se ha propuesto la utilización de morteros y percutores de caliza silificada, una roca de dureza muy elevada (Figura 2.2.17).

Figura 2.2.17: Fragmento de calcita hallado en un contexto habitacional de época posttalayótica en Son Fornés (Mallorca, G1-VA3-106).

Los experimentos de triturado de desgrasante se realizaron en dos fases y con dos propósitos diferentes. Por un lado, pretendíamos producir desgrasante que pudiese ser incorporado a la arcilla, de cara a posteriores experimentos de bruñido de la cerámica. En este caso, los efectos del contacto entre los diversos materiales no se tuvieron en cuenta. Por el otro, se buscaba obtener una impresión del tiempo necesario para reducir el desgrasante mineral al tamaño habitualmente representado en las pastas cerámicas con ayuda de instrumentos macrolíticos así como observar el desgaste que ello generaba en sus superficies activas. Los materiales utilizados a todos estos efectos fueron:

- una losa de caliza bioclástica de 400x214x80 cm
- un fragmento de caliza silificada de 105x93x90 cm
- un canto rodado de cuarcita de 66x60x52 cm
- ca. 200 gr de micaesquisto granatífero en forma de tres pequeños cantos rodados
- 550 gr de calcita en fragmentos centimétricos

El primero de los dos ciclos experimentales se reduce al triturado de tres cantos rodados de micaesquisto granatífero percutiendo sobre una losa de caliza con un percutor de cuarcita que se asía con una mano. Puesto que los cantos presentaban cierta alteración física por meteorización, la tarea resultó fácil y pudo llevarse a cabo en 30 minutos. Como ya hemos dicho, las superficies del percutor y de la losa no fueron objeto de estudio y descripción traceológica (Figura 2.2.18).

En el segundo ciclo experimental se utilizó el percutor de caliza silificada sobre una losa de caliza bioclástica, para procesar 550 gr de calcita. Con ello se generaron dos superficies de desgaste cuyo desarrollo pudo documentarse a lo largo de tres momentos separados entre sí por 30 minutos, respectivamente.

Nº exp./ Nº ítem	Soporte A	Litología	Morfología	Cara	Tiempo (minutos)	Materia de contacto	
						B	C
1/10	Percutor	Cuarcita	Convexo-convexo	Superior	30	Losa-caliza	Micaesquisto granatífero
25/16	Losa	Caliza bioclástica	Cóncavo-cóncavo	Reverso	30	Percutor-caliza silificada	Calcita
30/16					60		
35/16					90		
25/18	Percutor	Caliza silificada	Convexo-convexo	Superior	30	Losa-caliza bioclástica	Calcita
30/18					60		
35/18					90		

Figura 2.2.18: Experimentos de procesado de desgrasante cerámico y características de los materiales que entran en contacto durante los mismos.

Algunos fragmentos de calcita se situaron sobre la superficie y se golpearon con el percutor que se manejaba con una sola mano. De forma similar a lo que sucedió con los cantos de micaesquisto granatífero, los fragmentos de calcita se redujeron a fracciones menores con gran facilidad, dado que ésta presenta una dureza Mohs de 3 frente a ca. 7 de la caliza silificada, prácticamente tan dura como el cuarzo. El desprendimiento de los trozos se realizaba a favor de los espeleotemas o líneas de exfoliación romboidales, características de la calcita. A medida que el tiempo de experimentación se prolongaba, se iban añadiendo los fragmentos centimétricos de calcita, hasta completar los 30 minutos. Tras la separación por fracciones, la fracción más fina de la calcita se apartaba del producto y se seguía procesando el resto bajo las mismas condiciones de experimentación. En términos generales el procesado de la calcita, tal y como se abordó en el programa experimental de 90 minutos de duración, se realiza a un ritmo muy rápido y podría haberse conseguido en menos tiempo, si no hubiésemos procurado mantener intencionadamente la fracción de 0,5 mm, que es la que más frecuentemente aparece en las pastas cerámicas de Mallorca (Figura 2.2.19). Los percutores de caliza silificada tan numerosos en Son Fornés pudieron ser utilizados, entre otras cosas, para el triturado del desgrasante calcítico, pero esta tarea se podría haber llevado a cabo igualmente con otro tipo de roca más blanda, p. ej. un canto de caliza carbonática (dureza Mohs 4), más fácil de encontrar en el entorno del yacimiento.

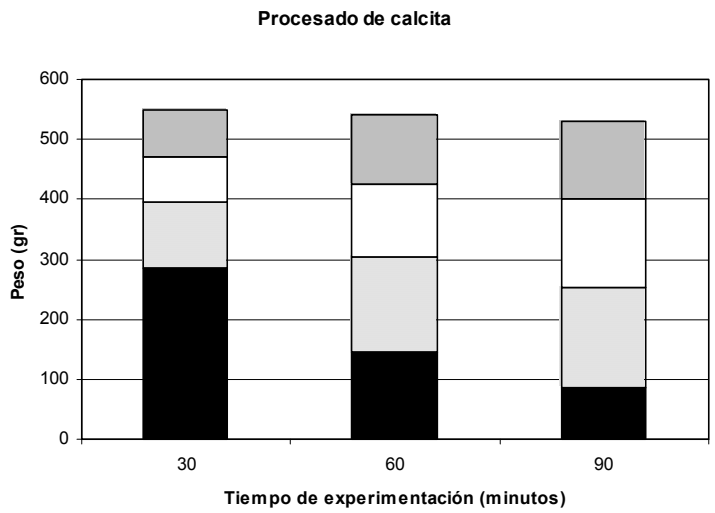


Figura 2.2.19: Procesado de la calcita a lo largo del ciclo experimental según las fracciones >2mm (negro), 2-1mm (puntillado), 1-0,25mm (blanco), <0,25mm (rallado).

El contraste entre la dureza del material procesado (la calcita) y la del percutor (caliza silificada) ha generado un desgaste apenas visible en este último, más allá de restos de partículas calcíticas que han permanecido en su microtopografía (Figura 2.2.26 y 2.2.46c). Sobre la superficie del elemento pasivo, la losa, se han desarrollado huellas de alisado y percusión (fosillas) que aparecen diseminadas, de forma aislada, por la microtopografía alta (Figura 2.2.26 y 2.2.46b).

Los experimentos de bruñido de la cerámica se plantearon con el fin de comprobar la posible función de algunos alisadores de gabro de grano fino documentados entre los materiales arqueológicos del sudeste. Se trata de pequeños cantos rodados cuyas superficies presentan un pulido brillante, a veces muy homogéneo y cubriente, que recuerda a algunos bruñidores de cerámica, tal y como se conoce desde la etnografía. El desgaste ocasionado a través del contacto por fricción con la superficie de arcilla seca, permitiría aceptar o descartar la hipótesis de la participación de los cantos arqueológicos en los últimos momentos de preparación de la cerámica, previos a la cocción. A modo de comparación, se utilizó un segundo ejemplar de grano más grueso. En esta sección del programa experimental se utilizaron los siguientes materiales:

- un canto rodado de microgabro de 71x56x24 cm
- un canto rodado de gabro de 80x72x52 cm
- varias placas de arcilla de 20x10 cm, con desgrasante micáceo, secadas al sol

Ambos cantos rodados se emplearon para regularizar y bruñir diversas placas de arcilla seca durante dos intervalos de 60 minutos y un tercero de 30 minutos. Ello propició la observación de dos superficies de desgaste a lo largo de tres momentos (Figura 2.2.20).

Nº exp./ Nº ítem	Soporte A	Litología	Morfología	Cara	Tiempo (minutos)	Materia de contacto	
						B	C
2/1	Alisador	Microgabro	Convexo-convexo	Anverso	60	Arcilla	-
10/1					120		
17/1					150		
3/3	Alisador	Gabro	Convexo-convexo	Anverso	60	Arcilla	-
11/3					120		
18/3					150		

Figura 2.2.20: Experimentos de bruñido de arcilla y características de los materiales que entran en contacto durante los mismos.

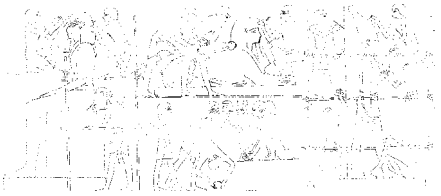
Previamente a las actividades de bruñido se hizo necesario preparar la pasta cerámica, por lo que, una vez obtenido el desgrasante a partir de los tres cantos rodados mencionados anteriormente, se procedió a mezclarlo con arcilla natural en un barreño al que se le añadió agua. Durante el amasado de la pasta, se procedió al a extracción de un número considerable de fragmentos de roca centimétricos y agregados formados por partículas de menor tamaño que, de seguir en la matriz arcillosa, habrían conducido a la fractura de las placas cerámicas, durante el secado al sol. A continuación se modelaron cuatro placas rectangulares que se dejaron secar al sol durante varias horas. El tratamiento por bruñido de las superficies cerámicas laterales se realizó con el canto rodado en la mano, ejecutando movimientos oblicuos de vaivén sobre las seis caras de la placa de arcilla que se mantenía en la otra. Las caras anversa y reversa se trabajaron

con la placa situada sobre el suelo. Las heterogeneidades que aún permanecían en la matriz tras la extracción de las partículas más grandes, produjeron la fractura de algunas de las placas durante los trabajos de fricción. Sin embargo, tras pocos minutos de trabajo, las irregularidades se suavizaban y la porosidad superficial quedaba colmatada de materia arcillosa, lo que confería a las superficies un aspecto liso y brillante. Durante el proceso de bruñido se generaba una cantidad considerable de polvo que podía ser retirado fácilmente con un pincel o soplando. La superficie activa del bruñidor se calentó a lo largo de la tarea, debido al calor de fricción generado en el frotamiento contra la arcilla.

Respecto a la eficacia de ambos bruñidores, pudimos observar que el bruñido de la superficie cerámica es más intenso y regular en contacto con el bruñidor de grano fino, mientras que el canto de gabro, en tanto que más abrasivo, parece apropiado en los momentos iniciales del trabajo, cuando se requiere rebajar las mayores irregularidades de la superficie cerámica. Los patrones de desgaste obtenidos sobre los propios bruñidores indican diferencias originadas a partir de la granulometría del gabro y el microgabro. La rapidez con la que se desarrolla el nivelado y posteriormente el lustre sobre la superficie de grano fino, es bastante mayor que en el caso del gabro. En los últimos estadios de desgaste, sólo en el caso del microgabro la trama del lustre llega a ser conexa (Figura 2.2.26 y Figura 2.2.47e-f). Una granulometría mayor también parece incorporar a los patrones de desgaste huellas lineares más amplias (Figura 2.2.47g-h). Analizaremos en capítulos posteriores, hasta qué punto las huellas observadas en los artefactos arqueológicos son comparables con éstas.

La producción de los propios instrumentos macrolíticos: el trabajo de la piedra

Hasta el momento nos hemos ocupado de describir los procesos tecnológicos en los que los ítems macrolíticos intervienen como medios de trabajo sobre materias primas minerales, vegetales u animales que han de procesarse para su consumo directo o su utilización como materia prima en asociación con otras sustancias. Sin embargo, los propios materiales macrolíticos entran a menudo en contacto recíproco como medio y objeto de trabajo, para la elaboración de nuevos artefactos (molinos, artefactos biselados, placas de afilar etc). Los tratamientos dependen de la transformación requerida en cada caso, aplicando normalmente la talla o la percusión en tareas de desbastado y formatización y la abrasión en tareas de regularización y/o pulido. Hoy día los trabajos de cantería han incorporado al tratamiento de la piedra (elaboración de sillares, talla de esculturas etc) toda una serie de utensilios mecánicos fabricados a partir de metales duros, naturales o artificiales, que facilitan y aceleran considerablemente el trabajo (Azcónegui y Castellanos 1997). Durante la prehistoria los requerimientos que planteaba cada proceso tecnológico eran solventados con las alternativas que ofrecían los recursos naturales.



En primer lugar, los mecanismos de explotación de materias primas, tal y como los conocemos para la prehistoria reciente del Sudeste, conllevan una actitud de minimizar los costes en torno a los primeros trabajos de cantería, es decir, el desbastado. La diversidad morfológica y métrica de los cantos rodados incluidos en los depósitos

secundarios se puede aprovechar, y de hecho se aprovechó, en la selección de soportes que reproducen aproximadamente los cánones requeridos para el futuro instrumento de trabajo. En algunos casos, las actividades de cantería destinadas a la formatización del soporte han quedado evidenciadas, por ejemplo, sobre los bordes de los molinos, en forma de negativos de extracción de lascas. Sin embargo, hasta la fecha no tenemos constancia de que éstas hubiesen tenido lugar en el interior de los poblados, dada la ausencia de las propias lascas extraídas por percusión y de otros desechos que atestigüen la producción de instrumentos macrolíticos[66]. Lo que sí podemos asumir con relativa certeza, si bien indirectamente, es la realización de trabajos periódicos de mantenimiento de los instrumentos macrolíticos en espacios de producción, en los que el uso conduciría a su desgaste, haciéndose necesario retocar las superficies activas. Igualmente, no podemos descartar que los trabajos de acabado de los artefactos líticos tuviesen lugar en estos contextos. En todos estos casos, las tareas generan un polvo de fracción milimétrica que difícilmente puede ser registrada en el depósito arqueológico.

El programa de experimentación que atañe al trabajo de la piedra ha sido configurado en relación a las observaciones descritas, considerando dos tipos de tareas. La primera se enmarca en lo que llamamos el mantenimiento de los artefactos de molienda, concretamente el (re)avivado de sus superficies activas, por lo que también podríamos considerarla dentro de la consecución de los experimentos realizados con los molinos cerealistas. El rendimiento de un molino de vaivén está estrechamente ligado con la materia prima de la que se ha elaborado y con los requerimientos sociales del consumo que a su vez tiene implicaciones en la frecuencia con la que se muele. Ambos aspectos determinan el mantenimiento de la superficie activa del artefacto que, en primera instancia, permitirá mantener la operatividad del instrumento y, en última, condicionará su vida de uso. Dado que depende de tantas variables, los datos respecto a la frecuencia de reavivado son muy dispares (Figura 4.1.23). Dubreuil (2002) pudo comprobar experimentalmente que tras 5 horas de molienda los resultados aún eran satisfactorios, sin necesidad de reavivado.

Como apuntábamos en el apartado correspondiente a los experimentos de molienda, todo parece indicar que los molinos de micaesquisto granatífero no sólo son más resistentes al desgaste por fricción sino que además conservan un grado de rugosidad determinado durante más tiempo. Frente a ellos los molinos de conglomerado requerirían con mayor periodicidad la aplicación de tareas de mantenimiento sobre sus superficies activas. En este sentido, una de las cuestiones planteadas de cara al programa experimental fue observar la reacción de ambos litotipos frente a tareas de avivado, bajo al hipótesis de que el micaesquisto también aparecería como aquél que resiste mejor los impactos del percutor, mientras que el conglomerado perdería más materia. En cuanto al percutor lítico, nos interesaba observar posibles diferencias del tipo de desgaste en contacto con materias primas de diversa dureza, textura y granulometría. Los percutores que habitualmente se documentan en los inventarios macrolíticos del Sudeste peninsular son de gabro, cuarcita y cuarzo. Bajo estas premisas, los experimentos se abordaron con los siguientes instrumentos macrolíticos:

[66] Es cierto que la ausencia de la evidencia no implica inexistencia de actividades de formalizado de los artefactos macrolíticos. Bien podría tratarse de un hecho determinado por el propio proceso de excavación, durante el cual este tipo de hallazgos, sin forma definida alguna, hayan sido ignorados. Sin embargo, hoy por hoy, no podemos más que cuestionar la realización de estas etapas de producción de artefactos macrolíticos en los contextos de hábitat.

- el molino de micaesquisto granatífero utilizado en los experimentos de molienda
- el molino de conglomerado utilizado en los experimentos de molienda
- un percutor de gabro de grano medio-grueso y 86x77x51 cm

Cada etapa de reavivado se limitó a 15 minutos de trabajo con el percutor sobre la superficie de molienda. El mismo percutor era empleado sobre los dos molinos, reservando siempre un frente (superior o inferior) para cada uno de ellos. El programa experimental resultó en 4 ciclos y un total de 6 superficies de trabajo, de las cuales sólo las del percutor presentan huellas de carácter acumulativo, formadas durante dos momentos diferentes, respectivamente (Figura 2.2.21).

Nº exp./ Nº ítem	Soporte A	Litología	Morfología	Cara	Tiempo (minutos)	Materia de contacto	
						B	C
24/23	Molino	Micaesquisto granatífero	Convexo-convexo	Reverso	15	Percutor-gabro	-
28/23	Molino	Micaesquisto granatífero	Convexo-convexo	Anverso	15	Percutor-gabro	-
24/2	Percutor	Gabro	Convexo-convexo	Superior	15	Molino-micaesquisto granatífero	-
28/2	Percutor	Gabro	Convexo-convexo	Superior	30	Molino-micaesquisto granatífero	-
26/14	Molino	Conglomerado	Convexo-convexo	Reverso	15	Percutor-gabro	-
43/14	Molino	Conglomerado		Reverso	15	Percutor-gabro	-
26/2	Percutor	Gabro	Convexo-convexo	Inferior	15	Molino-conglomerado	-
43/2	Percutor	Gabro		Inferior	30	Molino-Conglomerado	-

Figura 2.2.21: Experimentos de avivado de superficies de molienda y características de los materiales que entran en contacto durante los mismos.

En todos los casos se trataba de acondicionar la superficie para la molienda, y, en algunos de ellos, estas tareas implicaban la eliminación de huellas de abrasión formadas durante etapas de molienda precedentes. El percutor se manejaba con una mano, manteniendo un ángulo inclinado con respecto a la superficie del molino y proporcionando, de esa manera, golpes oblicuos que la cubrían con fosillas de percusión reconocibles *de visu*. La materia desprendida, polvo compuesto por matriz detrítica y fragmentos de cantos, en el caso del conglomerado, y material micáceo y granates en el caso del micaesquisto, era recogida y pesada al término de cada etapa de 15 minutos. Si bien el peso del material perdido es similar en todos los casos, se observa que el conglomerado es el litotipo que tiende a perder más material bajo las mismas condiciones de percusión, frente al micaesquisto (Figura 2.2.22). La matriz carbonática y/o detrítica del conglomerado no resulta suficientemente fuerte como para mantener la cohesión de los minerales del esqueleto, disgregándose con relativa facilidad durante los trabajos de percusión. Además la trayectoria de la fuerza del impacto transcurre en favor de los puntos de contacto entre matriz y elementos del esqueleto, por lo que, a menudo, estos últimos abandonan la roca en estado completo, incrementando la pérdida de materia por unidad de tiempo. También en el caso del micaesquisto, granates enteros o agregados pueden desprenderse de la matriz micácea, pero por el contrario, la cristalización del cuarzo llega a soldar los minerales de la roca, confiriéndole una mayor resistencia. Si tenemos en cuenta que los molinos son artefactos utilizados durante un

tiempo prolongado que puede abarcar varios años, podemos asumir que el efecto acumulado de los trabajos de mantenimiento sobre el conglomerado conduciría a un agotamiento más rápido del artefacto.

Litotipo reavivado por percusión	Tiempo de percusión (minutos)	Peso perdido (gr)
Micaesquisto granatífero	15	22,6
Micaesquisto granatífero	15	19,54
Conglomerado	15	23,83
Conglomerado	15	23,59

Figura 2.2.22: Molino de micaesquisto en proceso de avivado de su superficie activa y materia prima generada durante el mismo (obsérvense las fosillas de color claro, situadas en la cara anversa arriba); peso de los desechos de avivado obtenidos con un percutor de gabro sobre molinos de micaesquisto granatífero y conglomerado (abajo).

La percusión con un canto de gabro sobre las superficies de los molinos utilizados en los experimentos de molienda de cereal ha generado huellas por pérdida de materia que dependen de la textura de las rocas. En el conglomerado las fosillas observadas pueden afectar a un solo grano o a matriz y granos, y en la mayoría de los casos desarrollan morfologías irregulares en planta y sección (Figura 2.2.26). Las fosillas observadas en el micaesquisto granatífero se forman a favor de la esquistosidad de la roca, lo cual propicia a menudo fracturas escalonadas, cuando fragmentos de la matriz micácea son arrancados llevándose consigo varios granates (Figura 2.2.26 y 49d). La sección de las fosillas es más amplia y menos profunda que en el conglomerado. Adicionalmente se han observado algunos casos aislados de granates que han abandonado la roca de forma individual, dejando su negativo sobre ella.

En cuanto a las huellas presentes en el percutor de gabro, hemos podido diferenciar fácilmente el frente utilizado para percutir contra el molino de conglomerado, por un lado, y el frente que entró en contacto con el micaesquisto, por el otro. Si bien la morfología de las fosillas analizadas en uno y otro frente son comparables, el contacto

con el conglomerado ha generado patrones de dimensiones mayores (fosillas anchas y profundas) frente a las que se registran en contacto con el micaesquisto (Figura 2.2.48e-f).

El segundo ciclo experimental llevado a cabo en este último apartado se dedicó al trabajo de la piedra por abrasión, concretamente la regularización de una placa de pizarra mediante un canto rodado. Con ello, pretendíamos a) aproximarnos al tiempo de producción requerido para una placa de afilar, tal y como se conocen en numerosos contextos arqueológicos europeos (p. ej., Sangmeister 1964) y b) poner a prueba la eficacia de una determinada categoría de artefacto en su elaboración, el alisador con ranura central que igualmente aparece representado en los inventarios macrolíticos del Sudeste. Con respecto al primer punto, hasta la fecha no se han realizado estudios pormenorizados que permitan hacerse una idea de la inversión de trabajo que implica la producción de las placas líticas, para las cuales acostumbran a utilizarse rocas esquistosas o pelitas. Basándose en las observaciones realizadas sobre un ejemplar semi-acabado de El Argar (Schubart y Ulreich 1991: Taf. 87, 394), Risch propuso la secuencia de talla - corte o aserrado - pulido - perforación para su elaboración (Risch 1995: 215ss.). Teniendo en cuenta que en sus experimentos necesitó unos 10-15 minutos para rebajar 1 mm de material psamítico o micáceo con un instrumento de micaesquisto granatífero, concluye que el tiempo requerido para la elaboración de tal instrumento abarcaría 3-4,5 horas de trabajo continuado. La morfología de las superficies laterales de estos artefactos es a menudo convexa en el eje transversal, formando planos de abrasión continuados, en unos casos, y facetas de abrasión cubiertas por estrías oblicuas, en otros. El redondeamiento generalizado de los bordes de las placas permite pensar, al menos en el primer caso, en posibles tratamientos mediante superficies líticas que se corresponden morfológicamente con los bordes de las plaquetas, envolviéndolos durante los trabajos de abrasión. En este sentido, quisimos comprobar los efectos de este tipo de contacto en los alisadores con ranura central. Para ello utilizamos los siguientes objetos experimentales:

- un canto rodado de arenisca de 82x70x27 cm
- un fragmento de pizarra de 129x36x8 cm

La experimentación generó un solo ciclo de trabajo en el que ambos ítems funcionaban en contacto recíproco en tres intervalos de 30 minutos, cada uno. De esta manera, se consiguieron cinco superficies de desgaste, de las cuales sólo la ranura del alisador pudo observase a lo largo de tres momentos de experimentación (Figura 2.2.23).

Nº exp./ Nº ítem	**Soporte A**	**Litología**	**Morfología**	**Cara**	**Tiempo (minutos)**	**Materia de contacto**	
						B	**C**
12/20	Alisador	Arenisca	Convexo-convexo	Anverso	30	Placa-pizarra	-
20/20					60		
21/20					90		
12/19	Placa	Pizarra	Irregular	Derecha	30	Alisador-arenisca	-
20/19			Irregular	Izquierda	30		
21/19			Recto-irregular/ recto-recto	Superior-inferior	30		

Figura 2.2.23: Experimentos de pulimento de piedra y características de los materiales que entran en contacto durante los mismos.

Dado que, por su forma tabular y sus dimensiones, la placa de pizarra ya presentaba características aproximadas al objeto final, el tratamiento se redujo a la regularización de sus bordes por abrasión. El plano de dichas superficies estaba orientado transversalmente a la esquistosidad de la pizarra. Durante el trabajo ambos ítems eran mantenidos en las manos, realizando, indistintamente con uno o con el otro, movimientos de vaivén a lo largo de la superficie opuesta. La disparidad métrica entre las anchuras de ambas superficies de contacto, hizo que tras pocos minutos de trabajo, el borde de la placa comenzase a dejar un surco sobre la superficie anversa del alisador, que era mucho más amplia que este último. Sin embargo, el desgaste que ejercía el alisador sobre los bordes de la placa también se hizo evidente desde el principio (Figura 2.2.24). El polvo que se iba desprendiendo de la pizarra, debía ser retirado regularmente para impedir que ambas superficies resbalasen una sobre la otra y seguir garantizando la abrasión. Tras 90 minutos de trabajo sobre las caras superior, inferior, derecha e izquierda de la placa de pizarra, se rebajaron 4 gr del peso total del soporte, lo que supone 3 mm en cada eje longitudinal y transversal. Sin embargo, los bordes aún no habían adquirido una sección regular en su eje longitudinal y además aún habría sido necesario pulir las caras anversa y reversa. Con todo, la propuesta que hace Risch para el tiempo total de elaboración de una placa parece estar en consonancia con los experimentos.

Figura 2.2.24: Aspecto de los elementos experimentales tras el trabajo de la piedra por abrasión: alisador con ranura central y detalle de la confluencia entre las superficies pulidas superior y lateral de la placa de pizarra.

El experimento destinado a la regularización de los bordes de la placa de pizarra con el canto de arenisca resultó exitoso, si bien, como veremos en los próximos capítulos, las huellas que deja este tipo de contacto no han podido ser reconocidas entre los artefactos arqueológicos análogos. La presencia de granos arrasados, la microtopografía estriada y el lustre incipiente, característicos en el interior de la ranura del alisador, carecen de equivalentes arqueológicos (Figura 2.2.49c-e). Por su parte, el desgaste de los bordes de la placa, consistente principalmente en una microtopografía nivelada, exenta de estrías y cubierta de un ligero lustre (Figura 2.2.49d), tampoco se refleja entre estos materiales,

con lo cual será necesario explicar el proceso de producción de placas bajo otras premisas.

2.2.2 Resultados

En este apartado resumimos tubularmente los resultados en torno al programa de experimentación que hemos descrito arriba (Figura 2.2.25). Hemos incluido un total de 13 litotipos en las diversas actividades de trabajo que hemos reproducido experimentalmente, con los cuales se han obtenido 27 superficies bajo sistemas de contacto diferentes (Figura 2.2.26). Basándonos en ellas proponemos el sistema de documentación de huellas que pasamos a describir en el apartado siguiente.

Materia A	Materia B	Materia C	Movimiento
Conglomerado*	Madera	Cebada desnuda	Abrasión
Conglomerado*	Metapsamita*	Cebada desnuda	Abrasión
Conglomerado*	Gabro*		Percusión
Micaesquisto granatífero*	Metapsamita*	Cebada desnuda	Abrasión
Micaesquisto granatífero*	Madera	Cebada desnuda	Abrasión
Micaesquisto granatífero*	Gabro*		Percusión
Micaesquisto granatífero*	Piel fresca		Abrasión
Micaesquisto granatífero*	Piel seca		Abrasión
Arenisca*	Pizarra*		Abrasión
Gabro*	Arcilla		Abrasión
Microgabro*	Gabro*	Cobre caliente	Percusión
Microgabro*	Arcilla		Abrasión
Esquisto micáceo*	Cobre caliente		Abrasión
Esquisto micáceo*	Cobre frío		Abrasión
Esquisto psamítico*	Cobre caliente		Abrasión
Esquisto psamítico*	Cobre frío		Abrasión
Caliza bioclástica*	Mármol*	Óxido de hierro	Percusión/abrasión
Caliza bioclástica*	Caliza silificada*	Calcita	Percusión/abrasión
Cuarcita*	Caliza	Micaesquisto granatífero	Percusión/abrasión

Figura 2.2.25: Relación de materiales, su estado y el movimiento a través del cual entran en contacto. * indican los materiales que se han analizado traceológicamente.

Litotipo	Materia(s) de contacto	Localización	Forma de la superficie	Aspecto de la macrotopografía	Aspecto general microtopografía	Microtopografía baja	Unidades minerales		Patrones de huellas									
							Aspecto	Contorno	Tipo	Extensión	Trama	Incidencia	Morfología longitudinal	Orientación	Disposición	Dimensión long.	Dimensión travns.	Morfología tranvs.
Conglomerado	Madera; cebada	R	CX	PL	SI	IN	EM MFR	NIT	AL LU RES	CU CO SU	SE SE SE	SUP SUP SUP	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	CX
	Metapsamita; cebada	R	CX	PL	LI	IN	ARS MFR NI	NIT	AL ES FE RES	CU CO CO SU	CT CE SE SE	PRO SUP SUP SUP	- - RC -	- - LG -	- - PL -	- - CO -	- - AN -	RT - SU -
	Gabro	R	CX	IR	RU	DS	MFR	NIT	GA	CU	CE	SUP	IR	TV	-	-	AN	IR
Micaesquisto granatífero	Madera; cebada	R	CX	PL	SI	IN	EM	NIT	AL RES	SU SU	SE SE	SUP SUP	- -	- -	- -	- -	- -	CX -
	Metapsamita; cebada	A	CX	PL	LI	IN	ARS ARC MFR AN NI	NIT	AL RES	SU CO	CE SE	SUP SUP	- -	- -	- -	- -	- -	RT -
	Gabro	R A	CX	IR	RI	DS	ARC MFR	NIT	GA FE	CU SU	CE CE	SUP SUP	CIR IR	TV OB	- -	- -	AN AN	SU SV
	Piel fresca	D	CX	ON	RU	DS	AN MFR RED	NIT	AL LU	CO SU	CE SE	PRO SUP	- -	- -	- -	- -	- -	- -
	Piel seca	D	CX	ON	SI	IN	AN EM MFR	DIF	AL LU	CO SU	CT CT	SUP SUP	- -	- -	- -	- -	- -	CX -
Metapsamita	Conglomerado; cebada	R	CX	PL	LI	IN	NI MFR	NIT DIF	AL ES	CU -	CE -	SUP -	- -	- -	- -	- -	- -	CX -
	Micaesquisto granatífero; cebada	A	CX	PL	LI	IN	NI ARC MFR ARS	DIF	AL ES RES	CU CO SU	CT CE CE	SUP SUP PRO	- RI -	- TV -	- PL -	- CO -	- AN -	RT IR -
Arenisca	Pizarra	A	RT/ CV	PL	LI	DS	NI ARS MFR ARC	NIT	AL ES LU RES	CU CU CU SU	CT CE CE CE	PRO SUP SUP PRO	- RC - -	- LG - -	- PL - -	- CO - -	- FI - -	- SU - -
Pizarra	Arenisca	S I D X	RT/ CX	PL	SI	IN	NI	DIF	AL	LU	CU SU	CT CE	PR O SU P	- -	- -	- -	- -	- -

Litotipo	Materia(s) de contacto	Localización	Forma de la superficie	Aspecto de la macrotopografía	Aspecto general microtopografía	Microtopografía baja	Unidades minerales		Patrones de huellas									
							Aspecto	Contorno	Tipo	Extensión	Trama	Incidencia	Morfología longitudinal	Orientación	Disposición	Dimensión long.	Dimensión travns.	Morfología tranvs.
Gabro	Arcilla	A	CX	PL	SI	IN	EM NI	NIT DIF	AL LU ES LPG	CU CO SU SU	CT CE CE SE	SUP SUP SUP SUP	- - RI RI	- - OB OB	- - PL PL	- - CO CO	- - AN AN	CX - SV -
	Conglomerado	I	CX	IR	RU	DS	MFR EM	NIT	GA FE PL/ES	CU SU	CT SE	PRO SUP	CIR ZC	LG LT	- -	- -	AN FI	SU SV
	Micaesquisto granatífero	S	CX	ON	RU	DS	MFR EM	DIF	GE PL/ES	CU	CT	SUP	CIR	LG	-	-	FI	SU
	Microgabro; cobre caliente	S	RT	ON	RU	IN	EM	NIT	RES LU	SU SU	SE CE	PRO SUP	- -	- -	- -	- -	- -	CX -
Microgabro	Gabro; cobre caliente	S	RT	ON	SI	IN	EM	DIF	RES LU	SU SU	CT CT	PRO SUP	- -	- -	- -	- -	- -	CX -
	Arcilla	A	CX	PL	LI	IN	NI EM	DIF	AL LU ES GE LPG	CU CO CO CO SU	CT CT CE ES CE	PRO SUP SUP SUP SUP	- - RC CIR RI	- - OB OB OB	- - PL - PL	- - CO - LA	- - FI FI FI	- - SV IR -
Esquisto micáceo	Cobre caliente	A	CX/ RT	PL	RU	DS	NI MFR	NIT	ES TE RES	CU CO SU	CT CT CE	PRO SUP SUP	RI - -	LG - -	PL - -	LA - -	AN - -	SV - -
	Cobre frío	I	RT/ RT	PL	LI	DS	ARS MFR	NIT	ES RES	CU SU	CT SE	PRO SUP	RC -	LG -	PL -	CO -	FI -	SV -
Esquisto psamítico	Cobre caliente	I	CX/ CX	PL	RU	IN	EM MFR	NIT	AL RES	CU CU	CE CE	SUP SUP	- -	- -	- -	- -	- -	- -
	Cobre frío	A	CX/ RT	PL	LI	IN	ARS MFR NI	NIT	AL RES	CU SU	CE SE	SUP SUP	- -	- -	- -	- -	- -	- -

Litotipo	Materia(s) de contacto	Localización	Forma de la superficie	Aspecto de la macrotopografía	Aspecto general microtopografía	Microtopografía baja	Unidades minerales		Patrones de huellas									
							Aspecto	Contorno	Tipo	Extensión	Trama	Incidencia	Morfología longitudinal	Orientación	Disposición	Dimensión long.	Dimensión travns.	Morfología tranvs.
Caliza bioclástica	Mármol; óxido de hierro	A	CV	PL	RU	DS	AN MFR EM	NIT	GA RES FE LPG	CO SU CO CO	CT CE CE CE	SUP PRO PRO SUP	IR - IR RI	LG - LG LG	- - LT PL	- - - CO	AN - AN FI	IR - IR -
	Caliza silificada; calcita	R	RT	PL	SI	IN	AN MFR	NIT	AL GE	SU SU	SE SE	SUP SUP	- STR	- LG	- -	- -	- FI	- SU
Mármol	Caliza bioclástica: óxido de hierro	A	RT	IR	RU	DS	AN MFR EM	DIF	GA RES ES FE	CU SU SU SU	CT CE CE SE	PRO PRO SUP PRO	CIR - RI IR	LG - LG LG	- - PL -	- - LA -	AN - AN AN	SU - SV SV
Caliza silificada	Caliza bioclástica; calcita	S	CX	IR	RU	IN	AN MFR	DIF	FE RES	CO SU	CE SE	SUP PRO	RC -	TV -	- -	CO -	FI -	SV -
Cuarcita	Caliza; micaesquisto granatífero	S	CX	PL	RU	DS	EM MFR	NIT	GE RES	SU SU	SE SE	SUP PRO	CIR -	LG -	- -	- -	FI -	SU -

Figura 2.2.26: Relación de los patrones de desgaste obtenidos durante la fabricación y el uso de instrumentos macrolíticos experimentales. Para ver el significado de los códigos, consultar anexo 2.

2.2.3 Sistema descriptivo y documentación de huellas

En el capítulo sobre los ensayos en torno a las propiedades mecánicas de los materiales líticos fue tratada la cuestión de los mecanismos que generan el desgaste y los aspectos que definen la capacidad abrasiva de un material. De ello se desprenden dos ideas fundamentales que retomamos brevemente en el presente apartado y que se resumen en:

a) La doble dimensión del desgaste, que ha de ser definido desde los puntos de vista del instrumento así como de la superficie de trabajo.

b) La posibilidad de actuación de varios mecanismos de desgaste sobre una sola superficie, lo cual puede conducir a la eliminación de huellas generadas con anterioridad.

En términos generales, el desgaste se define como deterioro de la materia a lo largo de su participación en sistemas de contacto determinados, debidos a su propia elaboración o al uso. Contactos por frotamiento o percusión acarrean deformaciones plásticas, que se manifiestan mediante fisuras, pérdida de materia o adición de materia. Este perjuicio se produce a nivel de la zona de contacto, se trate de una superficie de trabajo o de prensión, o bien a nivel general de la pieza, si ésta se fractura. En cualquier caso, todas estas formas de desgaste conducen a lo largo del tiempo a la deformación de la herramienta y a la alteración de su volumen.

En la mayoría de los casos, la alteración del volumen es debida a pérdida de materia por percusión o por abrasión, sin embargo, los efectos de estos contactos pueden tanto reducir como aumentar el desarrollo de la rugosidad[67], de manera que caracterizar el desgaste a nivel de superficie conduce a resultados que pueden tener poco que ver con la realidad, si no se tiene en cuenta la cantidad real de material perdido. Además un solo instrumento de trabajo puede presentar varias superficies desgastadas, con lo cual el error aún resultaría mayor. De ahí la necesidad de valorar el desgaste siempre en referencia a los dos parámetros, superficie y soporte. La medición de este último resulta relativamente fácil, si tenemos en cuenta la pérdida de volumen o de grosor del instrumento[68]. Frente al *grado de desgaste del instrumento*, el *tipo de desgaste del instrumento* también puede ser documentado en los instrumentos macrolíticos partiendo de la idea general de que superficies naturales convexas pasan por morfologías rectas y finalmente cóncavas, a medida que el desgaste aumenta. La caracterización de la superficie implica una problemática diferente. En el caso de los ensayos en laboratorio, descritos en el capítulo anterior, describíamos el *grado de desgaste de la superficie* con datos relativos a la rugosidad, la cual consiste en la cuantificación de las elevaciones y depresiones desarrolladas a partir de una superficie de rugosidad "0". En el presente capítulo sustituimos la caracterización de la rugosidad por la caracterización del *tipo de desgaste superficial*, como un parámetro cualitativo que nos permitirá realizar inferencias sobre la naturaleza de las materias primas en contacto con los instrumentos macrolíticos (Figura 2.2.27).

[67] Un buen ejemplo de ello lo constituyen los molinos, puesto que las etapas de uso (molienda) y mantenimiento (reavivado de superficie activa) por las que pasan durante su vida operativa, conduce a secuencias de "desgaste" por pérdida paulatina de materia que generan superficies poco rugosas, en el primer caso, y superficies más rugosas, en el segundo.

[68] En el caso de los instrumentos arqueológicos, podemos calcular los índices de desgaste mediante la relación entre longitud y grosor, y mejor aún, si tenemos datos sobre la métrica de los soportes naturales inalterados.

	Instrumento macrolítico	Superficie del instrumento macrolítico
Grado de desgaste	Métrica del instrumento (volumen/grosor perdido)	Características cuantitativas: rugosidad
Tipo de desgaste	Morfología del instrumento	Características cualitativas y semicuantitaivas: morfología de las huellas

Figura 2.2.27: Aspectos del análisis y la caracterización del desgaste a nivel artefactual y superficial.

Con respecto al punto b, tanto el grado como el tipo de desgaste dependen de mecanismos determinados de formación de desgaste por adhesión, abrasión, fatiga y triboquimismo. Ya hemos indicado que los efectos que estos mecanismos tienen sobre las variables graduales, son tendencialmente reductivos y acumulativos, a excepción de algunos casos en los que la adhesión de sustancias podría ocasionar un aumento de peso que, en cualquier caso, influye a escala muy pequeña. Sin embargo, los efectos de dichos mecanismos sobre las variables morfológicas del desgaste pueden coexistir en la misma superficie, tal y como ocurre, por ejemplo, con la propagación del nivelado (abrasión) a partir de una microfractura (fatiga). En otros casos, la formación de estrías puede verse truncada por el desarrollo de nuevas huellas lineares que llegan a eliminar las preexistentes. Cuando se intercala un tercer cuerpo entre dos instrumentos macrolíticos, la progresión en el procesado del mismo puede suponer la obstrucción de los poros y las depresiones de las superficies líticas, generando un ambiente en el cual la presión o la fuerza se reparte más homogéneamente sobre la superficie, lo cual conduce a la disminución de la fatiga en los puntos más acusados. Estos casos ejemplifican que la aparición de huellas sobre las superficies, a medida que el desgaste se desarrolla, no tiene carácter acumulativo y mucho menos lineal. La complejidad en el desarrollo del desgaste se debe a cambios en toda una serie de variables que pueden ir desde la introducción de nuevas materias de contacto a cambios de conducta material, acontecidos puntualmente a lo largo de un tipo determinado de contacto.

Manteniendo presentes los puntos comentados arriba, el objetivo de este apartado es presentar un sistema de documentación de huellas de carra al estudio del desgaste de superficies macrolíticas, para lo cual nos basamos en los resultados obtenidos a raíz del programa de experimentación.

Datos técnicos: limpieza de superficies y condiciones de observación

La limpieza de las superficies desgastadas durante los experimentos tiene como objetivo despojarla de los restos o grasas vegetales, animales o minerales que puedan haber quedado atrapadas en los intersticios de las superficies a observar. Tal y como se desprende de la bibliografía, lejos de haberse definido un único tratamiento destinado a la preparación de las superficies líticas experimentales para la observación meso- y microscópica, parece que las características cualitativas de los materiales son las que determinan, al menos en gran medida, la viabilidad e idoneidad del mismo. La limpieza puede llevarse a cabo bajo el implemento de un amplio abanico de alternativas que van desde tratamientos más "suaves" a sistemas de limpieza más "agresivos" (Gutiérrez 1996: 80; Lerner *et alii* 2006: 6). Entre los primeros se aplican baños de agua caliente con jabón o detergente que pueden tener lugar en una cubeta ultrasónica, lo cual acelera la separación física de las substancias adheridas. La acetona, la lejía, el agua oxigenada y el ácido acético, diluidos en agua a diferentes proporciones, son otras sustancias de las

que se puede hacer uso en el marco de las intervenciones menos agresivas, mientras que una limpieza fuerte puede alcanzarse con ácido clorhídrico e hidróxidos de sodio o de potasio. Para el aclarado de las sustancias químicas remanentes es habitual utilizar agua destilada.

En lo que respecta al material macrolítico, los sistemas de limpieza comúnmente utilizados se reducen al cepillado y al baño en agua jabonosa o desionizada. La eliminación de las sustancias grasosas se realiza con ayuda de alcohol, en el marco de una segunda intervención (Dubreuil 2002; Hamon 2006). En nuestro caso el material macrolítico se sometió a una limpieza en agua jabonosa con ayuda de un cepillo; sólo en casos excepcionales, cuando no se trataba de una roca carbonática y cuando se consideró necesario, las superficies se trataron con un chorro de ácido clorhídrico, disuelto al 10%. Con ello pretendíamos observar el modo de deposición y la asociación entre las diversas fracciones de la superficie y las partículas remanentes del objeto procesado entre dos instrumentos macrolíticos.

En cuanto a los equipos ópticos que posibilitan el análisis traceológico, la mayor dificultad que presentan los inventarios macrolíticos se deriva de sus dimensiones, a menudo inadecuadas para su exposición bajo el aparato de observación. Una de las posibles soluciones es la realización de réplicas de las superficies desgastadas a través de un "molde negativo" y la obtención ulterior del positivo en el que quedan marcadas las improntas de la superficie (Dubreuil 2002). Los materiales industriales que se utilizan para ello, látex, elastómero dentario o silicona, acetato y resinas sintéticas, ofrecen diversos niveles de resolución[69]. Unos primeros experimentos preliminares llevados a cabo con látex y resina para la obtención del negativo y el positivo, respectivamente, concluyeron en la importancia de conseguir una textura del producto lo suficientemente consistente como para permitir su fijación pero, al mismo tiempo, lo suficientemente líquida como para penetrar hasta el fondo de los intersticios de la roca. Adicionalmente hemos observado que el contacto de la superficie arqueológica con algunas de estas sustancias químicas puede impregnarlas dejando una impronta de aspecto graso que difícilmente puede ser retirada.

Respecto a los aumentos en los que debería basarse el análisis traceológico, hoy día hay consenso en considerar que, a menor tamaño de grano, se requieren mayores aumentos, siendo esta constatación válida tanto para el material tallado como para el macrolítico. Las dificultades aparecen, sobre todo en el segundo grupo de registro, a la hora de elegir el sistema de observación idóneo para el reconocimiento de cada huella, dado que existen determinados tipos que sólo se reconocen a través de aumentos específicos del orden "bajo" o "alto". En este sentido, zonas de abrasión que se extienden a lo largo de varios milímetros difícilmente se reconocerán una vez rebasado cierto umbral de aumentos, por el contrario el análisis del micropulido o "coalescence" requiere del uso de microscopios metalográficos con aumentos considerables, en caso contrario, no puede ser observado. En términos generales, aumentos de hasta aproximadamente 80x se consiguen con la lupa binocular y permiten observar desconchados, fracturas, alisado, estrías, redondeamiento, fosillas de reavivado, nivelado, desgaste intersticial, arrancamiento y microfractura de granos e incluso su morfología, contornos y caras.

[69] Tanto las superficies originales como las réplicas pueden requerir de tratamientos posteriores por coloración, aurificación etc., a efectos de su análisis mediante equipos ópticos específicos (Dubreuil 2002; Lerner 2006: 1-12). Si las superficies han de ser observadas bajo el microscopio electrónico, es necesario cubrirlas con una capa áurea o de polvo de aluminio que favorezca su conductividad.

Entre las huellas reconocibles a aumentos de 100-500x figura un tipo específico de estrías y el micropulido para lo cual se requiere de microscopios ópticos de luz transmitida y de luz incidente así como microscopios electrónicos de barrido.

A pesar de las ventajas y desventajas que presenta un tipo y otro de observación, se reconoce, incluso desde la traceología del sílex, la importancia que tiene la amplitud del campo visual y la conveniencia de realizar una primera "exploración" (barrido) a leves aumentos, que permita localizar zonas de desgaste más acusado, para, a continuación realizar *zooms* sobre puntos seleccionados. Sólo de esta manera se podrán entender, desde un marco global, los mecanismos de desgaste que afectan a la superficie. En el caso concreto de los instrumentos macrolíticos sus propiedades granulométricas (coexistencia de granos finos y gruesos) y mineralógicas (diversos colores y texturas de las inclusiones minerales) se traducen en superficies heterogéneas e irregulares bajo el microscopio, lo cual dificulta el enfoque. En estos casos, dependiendo del equipo microscópico, los grandes aumentos pueden resultar ineficientes por la baja resolución que se alcanza con los numerosos desniveles existentes entre los minerales (Dodd 1979).

Si bien todo parece indicar la idoneidad de la utilización complementaria de diversos aumentos, para una mejor documentación de las huellas, nosotros hemos optado por un primer análisis traceológico de los inventarios macrolíticos del Sudeste peninsular mediante la observación a bajos aumentos. Ello no depende exclusivamente de las limitaciones técnicas que teníamos, sino también de la alta variabilidad litológica y artefactual que abraca el inventario, tal y como mencionábamos al inicio de este capítulo. Por estas razones, resultaba más operativo y realista afrontar un estudio de los rasgos generales que afectan al desgaste y salvar de esta manera, al menos de momento, las dificultades expuestas en el párrafo anterior. Los análisis traceológicos llevados a cabo a efectos de este trabajo tanto sobre superficies experimentales como arqueológicas, pudieron realizarse directamente gracias a una lupa estereoscópica trilocular que estaba adaptada a objetos de grandes dimensiones y provista de una fuente de luz externa. Las fotografías se realizaron con una cámara digital conectada al tercer ocular de la lupa.

Las observaciones del desarrollo del desgaste han tenido lugar aproximadamente cada 30 minutos, dado que a partir de este tiempo de experimentación los efectos del desgaste empiezan a manifestarse sobre las superficies activas (Dubreuil 2002; Hamon 2006).

Niveles de observación en la descripción de las superficies

A lo largo de este capítulo venimos aludiendo a diversos niveles en los que puede manifestarse el desgaste. Estos niveles son convencionales y dependen en gran medida de las propiedades técnicas del equipo de observación empleado. Sin embargo, su sentido en el estudio de huellas no difiere de otras tipologías desarrolladas desde la arqueología para clasificar los tipos cerámicos, óseos etc. En este sentido, la definición de los niveles de observación no es más que una jerarquización artificial de la realidad, que depende de los propósitos que con ella se persiguen y en la cual se dota a elementos reales de una mayor o menor entidad de cara a la caracterización del objeto de estudio. Esto quiere decir que la separación en cuatro niveles que aquí presentamos, pretende ser

viable y operativa a efectos de este estudio, y que por lo tanto, puede y debería ser adaptada bajo circunstancias diferentes de análisis que así lo requieran.

El desgaste siempre afecta de una forma determinada a una superficie sólida. Dependiendo de la proximidad entre esta superficie y la persona que observa, se manifestará a nuestros ojos de formas diferentes, de las cuales podemos extraer patrones que indiquen tipos de contacto concretos y descarten otros. Dentro de los límites establecidos por los propios aumentos a los que se ha trabajado, diferenciamos cuatro niveles de observación que describimos a continuación:

1. Topografía: Según Adams (2002: 58) la topografía se refiere a las variaciones entre las elevaciones observadas de *visu* sobre una superficie. En el presente trabajo consideramos que la *tropografía* de un artefacto está compuesta por elevaciones (zonas altas) y depresiones (zonas deprimidas;Figura 2.2.29). De esta manera, cada elevación estará limitada por una depresión a cada lado, de la misma forma que cada depresión estará limitada por una elevación a cada lado.

La morfología de la topografía se describe mediante los ejes longitudinal y transversal. Partiendo de un canto rodado natural como soporte, podemos atribuir un aumento de desgaste de una superficie con forma convexa (CX) a una recta (RT), y de una plana (RT) a una cóncava (CV). Las posibles asociaciones de estas tres formas básicas pueden generar desarrollos intermedios o mixtos, p. ej. la yuxtaposición de una sección convexa seguida de una cóncava y otra nuevamente convexa, que se prolonga lateralmente, puede formar una superficie ondulada o una ranura.

Cuando se trata de dos superficies líticas en contacto por abrasión o percusión, la métrica y el gesto realizado conducen a una modificación morfológica de las superficies (Figura 2.2.28). A nivel macroscópico pueden reconocerse algunos de estos criterios se pueden considerar evidentes.

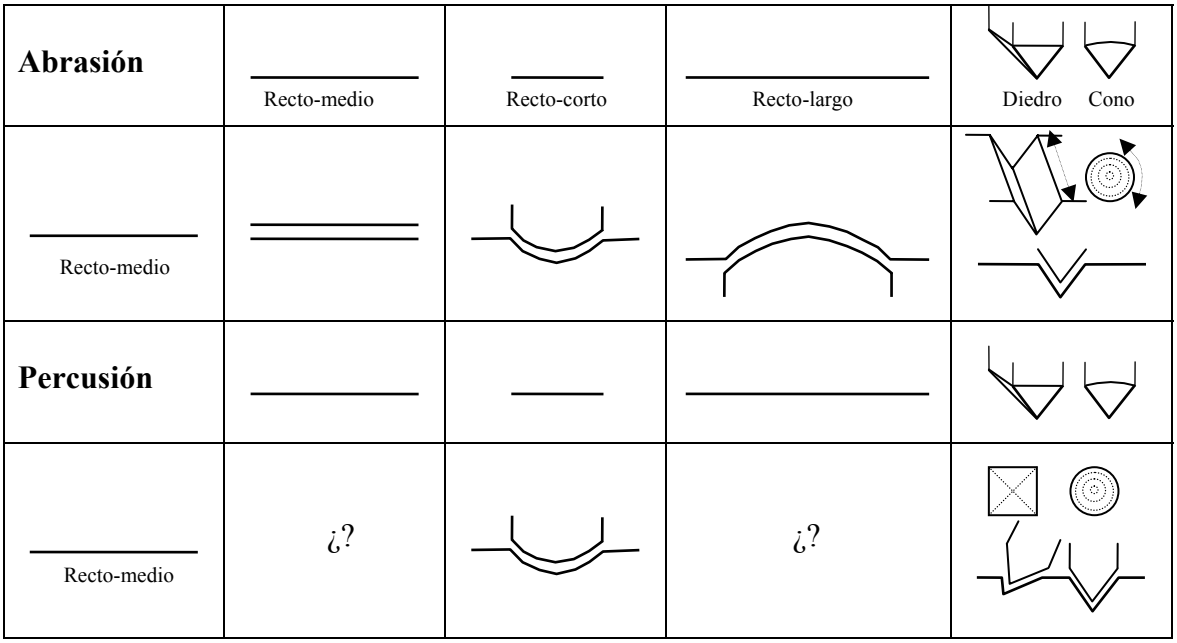


Figura 2.2.28: Formas de contacto que dependen de la métrica de las superficies y del tipo de desplazamiento en el espacio (direccional o rotatorio), tienen como resultado morfologías específicas.

2. Microtopografía: Algunas actividades de trabajo sólo producen leves indicadores de desgaste que no quedan reflejados en las variaciones topográficas. En estos casos, éste sólo podrá ser reconocido en un segundo nivel de observación en el que la topografía esté "desglosada" en fracciones más pequeñas que constituyen la microtopografía. Ésta está compuesta por la yuxtaposición de protuberancias (p. ej. cúspides de los granos) y anfractuosidades (p. ej. intersticios; Figura 2.2.29). Cada protuberancia está limitada por una anfractuosidad a cada lado, de la misma manera que cada anfractuosidad estará limitada por una protuberancia a cada lado.

Para su descripción se requiere de la observación bajo la lupa binocular, si bien los aumentos necesarios para ello varían dependiendo del tamaño de los granos y los minerales.

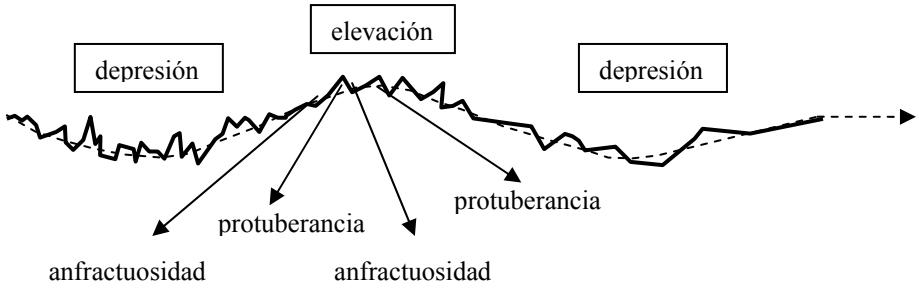


Figura 2.2.29: Elementos morfológicos que componen la topografía (arriba) y la microtopografía (abajo).

La relación entre las dos primeras dimensiones, la *topografía* y la *microtopografía,* ha sido ampliamente descrita desde la tribología o la ciencia del frotamiento. Desde el punto de vista de la correspondencia física entre dos superficies, la tribología diferencia necesariamente entre el macrocontacto y microcontacto (Figura 2.2.4). El primero define el contacto existente entre dos *(macro)topografías* y tiene carácter aparente, pues numerosos puntos de la misma que se intuyen en contacto, en realidad no lo están. El *microcontacto* caracteriza el contacto real que se realiza a través de la *microtopografía*. En consecuencia, describiremos el aspecto de un perfil topográfico a través de una superficie como *plano, ondulado* o *irregular*, mientras que el desarrollo de un perfil microtopográfico se definiría como *liso, sinuoso* o *rugoso*. A continuación se presentan todas las combinaciones posibles que podríamos encontrar teóricamente entre los perfiles topográficos y microtopográficos mencionados (Figura 2.2.30).

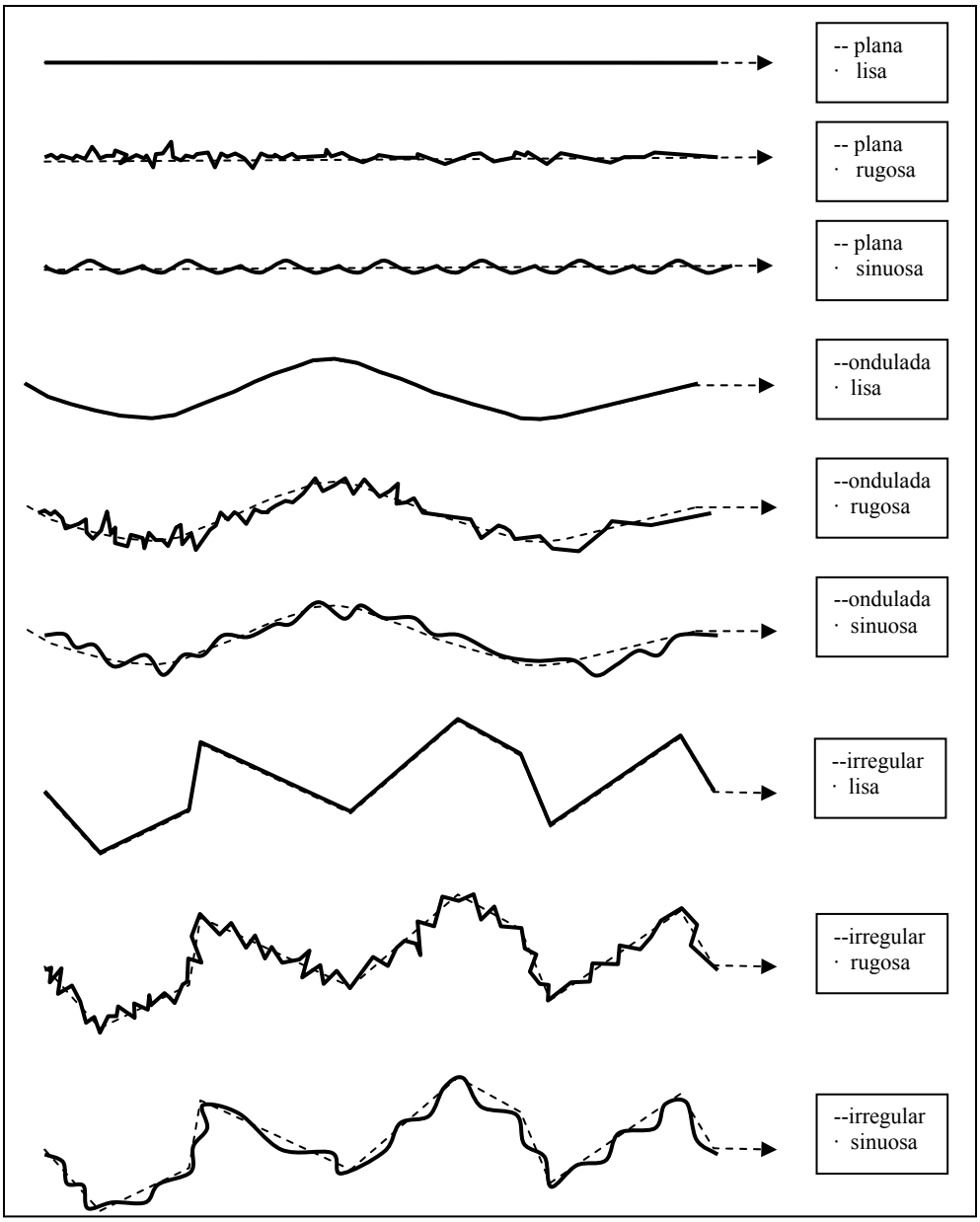


Figura 2.2.30: Posibles combinaciones entre secciones a lo largo de *topografías* (línea discontinua) y *microtopografías* (línea continua) de diversa morfología.

La relación entre ambos niveles es necesaria a efectos de realizar una aproximación válida a la funcionalidad de los instrumentos estudiados. Bajo ningún concepto podemos afirmar que el contacto real es el determinante a la hora de realizar un análisis traceológico, de la misma manera que no podemos prescindir de un análisis macrocópico del desgaste a estos efectos. El alisado de una piel posicionada sobre un suelo de tierra batida puede desarrollar una microtopografía muy similar a la generada durante el alisado de la piel mantenida en la mano. El nivel de observación que permitirá discernir entre uno y el otro tipo de trabajo es la topografía que en el primer caso será más localizada y en el segundo más extensa, debido a los diferentes grados de rigidez del suelo y la mano.

3. Microtopografía alta/baja: Hasta ahora hemos aludido a dos niveles de observación operativos en la descripción del aspecto de una superficie en sentido horizontal. Sin embargo, el grado en el que el aspecto general de la microtopografía (rugoso, sinuoso, liso) queda reflejado a través del eje vertical de la misma, resulta interesante a efectos de valorar el microcontacto que ha configurado el desgaste. En este sentido, diferenciamos entre microtopografía alta y baja, y consideramos necesario indicar si esta última aparece afectada por o exenta de desgaste. En el primer caso, en el cual el desgaste (del tipo que sea) llega a transformar los espacios intergranulares y las anfractuosidades de la roca, la describimos como *desgastada* y, en el segundo, en el cual el desgaste ha sido puntual, limitándose a las protuberancias, como *intacta*.

Sólo si caracterizamos las superficies desgastadas en base a los parámetros descritos, será posible discernir entre desarrollos de desgaste específicos como, por ejemplo, una macrotopografía sinuosa en la que la materia de contacto ha sido suficientemente flexible como para penetrar en las anfractuosidades (microtopografía baja), y una macrotopografía sinuosa en la que la materia de contacto ha sido suficientemente flexible como para penetrar en depresiones pero que únicamente afecta a la microtopografía alta (Figura 2.2.31). Esta descripción proporciona informaciones sobre las cualidades de rigidez/flexibilidad del material de contacto y de su capacidad de adaptación o deformación en torno a las protuberancias de la superficie lítica. Sin embargo, otros parámetros relativos a la intensidad, la fuerza del gesto o la forma de la superficie de contacto, son detalles que no se contemplan a este nivel. Para ello cabrá concretar el patrón de desgaste, es decir, el tipo específico de huella y el grado de *incidencia* de la misma (ver abajo).

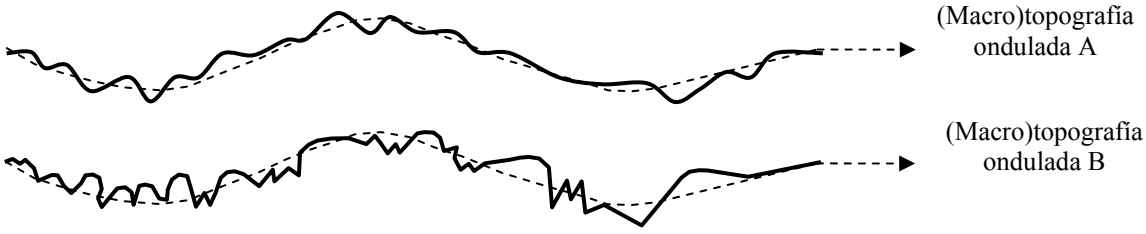


Figura 2.2.31: a) Microtopografía con anfractuosidades desgastadas; b) Microtopografía con anfractuosidades intactas.

4. Granos, cristales y poros: Las inclusiones minerales representan en nuestro sistema la unidad mínima de análisis. En términos generales podemos afirmar que, a menor tamaño de grano, se requerirá de mayores aumentos. Sin embargo, ninguno de los cuatro niveles que describimos aquí está sujeto a un intervalo de aumentos específico, puesto que esto depende directamente de la granulometría[70]. En este sentido, la observación de los cantos centimétricos incluidos en un conglomerado podrá realizarse a pocos aumentos, siendo posible describir huellas concretas localizadas que se encuentran sobre sus caras, como, por ejemplo, estrías o fracturas. Por el contrario, la observación del esqueleto de grano fino de una calcarenita, acabará probablemente en la

[70] En este sentido no es posible establecer una asociación entre aumentos y huellas, tal y como lo hace Hamon para inventarios neolíticos centroeuropeos de arenisca (Hamon 2006: 103).

descripción de los rasgos morfológicos generales del nivel 2 ó 3. Aquí es donde nuestro método de observación llega a sus límites, quedando algunos granos o minerales de tamaño micrométrico excluidos del análisis.

En la figura 32 hemos representado gráficamente algunas de las formas en las que el desgaste puede afectar a los granos individuales y a las porosidades. Si el material que entra en contacto con la superficie lítica, tiene propiedades similares de dureza y rigidez que ésta, entonces el alisado se conforma a partir del nivelado o el arrasamiento de los vértices de los granos. En el primer caso los vértices de los granos son rebajados por abrasión, quedando sobre ellos un pequeño plató sobreelevado y rodeado de anfractuosidades intactas. En el segundo, la abrasión ha favorecido la reducción total de las protuberancias hasta el nivel de la matriz. Cuanto mayor sea la flexibilidad del material de contacto, mayor será también la adaptabilidad y, por consiguiente, el microcontacto entre ambas superficies, apareciendo en estos casos, el redondeamiento del grano como patrón más recurrente. El grado de redondeamiento puede abarcar la totalidad de las protuberancias y las depresiones (p. ej. piedra contra cuero) o afectar a los puntos más expuestos de la microtopogafía (p. ej. piedra contra hueso o madera). Se entiende que la yuxtaposición de granos desgastados de una manera determinada (p. ej. redondeamiento), forma morfologías microtopográficas con desarrollos correspondientes (p. ej. sinuosa), tal y como los reconocemos en la Figura 2.2.32.

Si bien no es habitual encontrar la asociación entre algunas manifestaciones (p. ej. redondeamiento y fractura), los diversos patrones de desgaste que pueden afectar a los granos individuales no son necesariamente excluyentes entre sí, pudiendo coexistir en la misma superficie por varias razones:

a) Los granos pueden estar presentando estadios de desgaste diferentes dentro de un mismo tipo de contacto, dependiendo de la exposición de los mismos sobre la superficie (p. ej. nivelado y arrasamiento).
b) La coexistencia de condiciones mineralógicas diversas en una sola superficie puede propiciar formas de desgaste diferenciadas. P. ej. La madera, que es un material más blando y flexible que la piedra, puede llegar a nivelar los minerales blandos de una roca (micas) y pulir los más duros (cuarzo).
c) Cuando la superficie es reutilizada en tareas diferentes, entre las trazas generadas con el último material de contacto, pueden reconocerse trazas remanentes y cualitativamente muy diferentes (p. ej. pulido lustroso y fractura).

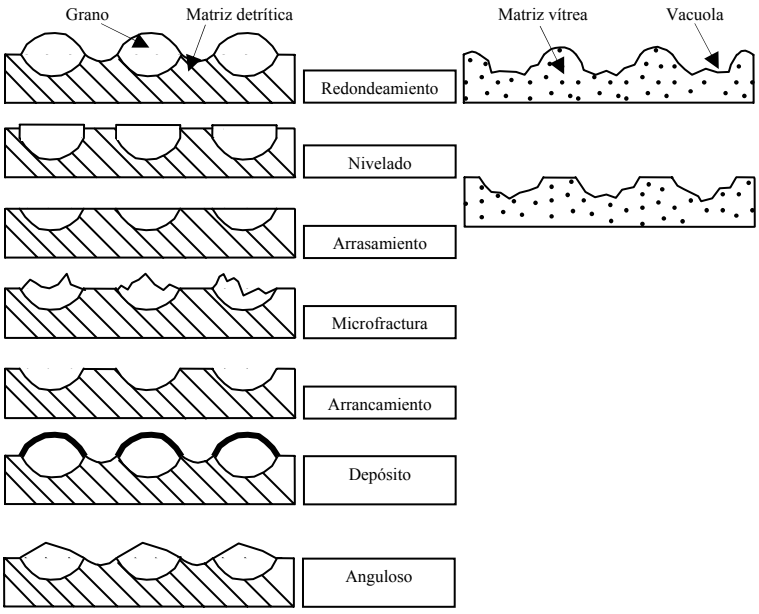


Figura 2.2.32: Representación gráfica de algunas de las formas en las que puede manifestarse el desgaste de inclusiones minerales individuales y porosidades (modificado a partir de Adams *et alii* en prensa: fig. 5).

En algunos casos se han reconocido diferencias en el grado de nitidez de los límites de los granos, lo cual tiene implicaciones a la hora de individualizar los granos; por esta razón hemos distinguido entre contornos *nítidos* y *difusos*.

Una vez hemos descompuesto la superficie en las fracciones descritas mediante los cuatro niveles de observación y el aspecto que éstas pueden adoptar, nos resta describir los patrones de desgaste concretos que pueden formarse a partir de una forma y yuxtaposición determinadas de las deformaciones plásticas que el desgaste propicia. Partiendo del aspecto que las unidades mínimas de análisis, los minerales, pueden adoptar bajo condiciones de contacto determinadas, tratamos a continuación los diversos tipos de huellas que pueden aparecer representadas sobre una superficie desgastada y en cualquiera de los cuatro niveles descritos, dependiendo, como hemos dicho, de la granulometría de la roca. Asimismo, aludiremos a los mecanismos de desgaste que influye en la formación de cada una de ellas.

Tipo de huellas

El carácter diagnóstico de los diversos tipos de huellas está aún lejos de garantizar una interpretación exacta del material de contacto, a falta de la existencia, sobre la mayoría de las superficies líticas, de residuos remanentes, que den cuenta de su naturaleza. Algunos patrones de desgaste observados sobre materiales cuarcíticos y otros esquistosos empleados en contacto con piel fresca y carne presentan coincidencias, así como otros patrones generados durante trabajo hueso y asta (Lass 1990: Abb. 25). En este sentido, los resultados que se desprenden de los análisis traceológicos realizados hasta la fecha sobre materiales líticos no silíceos, dejan claro que la capacidad informativa de los mismos no va más allá de grandes familias de materiales como son sustancias animales blandas (piel seca, piel fresca, carne), sustancias animales duras (hueso y asta), vegetales leñosos (madera), vegetales oleosos (p. ej., grano), materias

primas minerales duras y materias minerales blandas (Schulte-Dornberg 2002b: 51-64; Dubreuil 2002, 2004; Hamon 2006: fig. 110).

En lo que respecta al material macrolítico analizado en el presente estudio, gracias al análisis detallado de las huellas de desgaste es posible inferir los parámetros en torno al proceso de producción del que dichos instrumentos forman parte. Entendemos bajo *huellas de producción* todas aquellas transformaciones reconocibles sobre las superficies líticas debidas al trabajo y, que como tal, se asocian a la actividad humana. Entre ellas distinguimos las *huellas de fabricación o tecnológicas* y las *huellas de uso*. Las primeras se forman sobre el ítem macrolítico cuando éste actúa como objeto de trabajo (el trabajo es realizado sobre él), mientras que las segundas se deben a su utilización como medio de trabajo (el trabajo es realizado con él). Los mecanismos de desgaste que forman ambos tipos de huellas son idénticos, si bien los fenómenos sociales que los propician son de diversa índole, originándose bien durante la elaboración o bien durante el consumo del ítem.

Hasta el momento nos hemos dedicado a describir el aspecto que adquieren las superficies a través del desgaste, hasta el nivel de observación de las inclusiones minerales. Sin embargo, aún quedan por definir las morfologías concretas en las cuales se manifiesta el desgaste sobre la microtopografía: los patrones de desgaste o las huellas. Dependiendo del modo en el que se articulan las diversas formas en el que las inclusiones minerales pueden ser afectadas por el desgaste, obtendremos patrones de diversa índole. Dicho de otra manera, el modo de organización, yuxtaposición y sucesión del desgaste propicia manifestaciones morfológicas determinadas sobre la superficie (estrías, lustre etc.). En este capítulo presentamos una taxonomía de huellas destinada a la descripción principalmente cualitativa de dichos patrones, tal y como se presentan a lo largo de la microtopografía.

Toda descripción de las huellas de producción ha de pasar inexorablemente por su reconocimiento previo como tales, puesto que existen indicadores de desgaste sobre las rocas que se deben a procesos naturales postdeposicionales o incluso anteriores a su transformación antrópica. Tanto a efectos de discernir entre procesos naturales y antrópicos como a los de hacer un seguimiento del desarrollo del desgaste, desde sus inicios, es sumamente importante conocer las cualidades morfológicas de la superficie experimental en estado natural.

Los materiales macrolíticos en estado natural pueden presentar superficies rodadas generadas a partir del transporte, planos de fractura debidos al desprendimiento de bloques del sustrato, superficies erosionadas o patinadas por agentes meteorológicos etc (Risch 1995; Adams 2002; Gutiérrez 1996: 147). Las superficies frescas fracturadas de forma natural presentan protuberancias y depresiones angulosas, del mismo aspecto y sin diferencias cualitativas entre ellas. Las posibles manifestaciones del desgaste natural, se localizan habitualmente en las zonas más expuestas del soporte, son poco intensivas y su distribución y orientación no siguen patrones recurrentes. Las estrías formadas sobre los cantos rodados en contextos fluviales pueden presentar estrías muy superficiales de distribución irregular y orientación múltiple. Otros indicios de desgaste, como son las pátinas de lustre característicos de entornos de eolización (p. ej. dunas), pueden ser confundidos con el pulido lustroso.

Al margen de las alteraciones naturales que pueda presentar una superficie, también resulta importante conocer las cualidades ópticas de los minerales inmersos en la roca, pues algunos son naturalmente más reflectantes que otros. En rocas que no han sufrido alteración por procesos naturales, los granos localizados en la microtopografía baja y aquéllos expuestos en zonas más altas, no suelen presentar diferencias morfológicas sustanciales.

Contrariamente a lo que sucede con los ítems experimentales, resulta imposible conocer el estado de la superficie inicial de los objetos arqueológicos, a menos que alguna de las caras originales del soporte natural haya permanecido intacta. De cara a la valoración del desgaste correspondiente a los ítems arqueológicos exentos de superficies naturales, asumimos que, bajo condiciones composicional y texturalmente iguales, dos superficies rugosimétricamente diferentes, tenderán a desarrollar huellas similares, pasado un tiempo prolongado en un contacto determinado.

La forma en que los procesos postdeposicionales afectan a superficies portadoras de huellas de producción es una cuestión difícil de estudiar en la actualidad, debido a la imposibilidad de reproducir dichos procesos experimentalmente y a su desarrollo, considerablemente prolongado en el tiempo.

Tras haber expuesto brevemente los problemas y criterios en torno a la diferenciación entre manifestaciones naturales y antrópicas del desgaste, nos resta ahora definir el sistema de inventario de huellas observadas, en este estudio, sobre los objetos macrolíticos del Sudeste peninsular[71]. La mayoría de los trabajos de este tipo se apoyan en la traceología del material tallado, en el cual se describen las huellas principalmente en relación a filos cortantes o superficies de trabajo en forma de vértice apuntado. Su relativa homogeneidad mineralógica y la granulometría fina de estas materias han hecho necesario un adaptamiento de las metodologías destinadas a describir superficies desgastadas macrolíticas que, además de presentar propiedades litológicas mucho más heterogéneas que los materiales tallados, incluyen la condición particular de las superficies extensas, con las que se realizan movimientos percusivos y abrasivos de carácter difuso. La propuesta que aquí presentamos[72] parte del trabajo de Hamon (2006) para el estudio traceológico de inventarios centroeuropeos, de arenisca cuarcítica, a leves aumentos, si bien hemos introducido variables descriptivas complementarias de otras fuentes bibliográficas (p. ej. Adams 1989, 1994, 2002; Hayden 1987; Dubreuil 2002). El número de variables asociadas a la descripción de cada uno de los tipos de huellas depende de su potencial informativo. Entre ellas, muchas pueden llegar a informar sobre el tipo de materia prima de contacto, pero sólo algunas de ellas permiten inferir el gesto realizado durante la tarea. A grandes rasgos podemos distinguir entre tres tipos fundamentales de huellas: estrías, lustre y trazas de reavivado o fosillas (Dubreuil 2002: 100).

[71] Los tipos de huellas que presentamos en el sistema de inventario son únicamente aquéllas que se reconocen entre el material estudiado, por lo que es muy probable que la aplicación de éste al estudio de otros restos macrolíticos requiera de ciertas modificaciones y/o de la inclusión y definición de nuevas huellas.

[72] Un avance del sistema de inventario de huellas fue presentado en el congreso *UISSP* que se celebró en el 2006 en Lisboa (Adams *et alii* en prensa).

Huellas lineares: estrías y rascadas

Las huellas lineares han sido tratadas pormenorizadamente desde la traceología del sílex y el cuarzo, lo cual se refleja en la publicación de numerosas propuestas para su estudio (Hayden y Kamminga 1979; Keeley 1980; Mansur-Franchomme 1980; Semenov 1981; Odell 1981; Sussman 1988: 14; Vaughan 1985; Hayden 1987: 89). En las observaciones realizadas sobre el material macrolítico hemos documentado la existencia de estrías, rascadas y, en menor medida, líneas de pulido (Grace 1989), todas ellas, asociadas principalmente a litotipos de grano medio-fino.

Las primeras se diferencian en función de su anchura, siendo ésta en el caso de las estrías de ≤0,5 mm y en el de las rascadas de >0,5 mm. Se trata de huellas lineares que presentan bordes más o menos irregulares y se forman a partir de la extracción sucesiva y direccionada de material, por excavación o microfractura. Se producen en un contexto de desgaste abrasivo, bien por tracción o arrastre de partículas erráticas o bien por deslizamiento de otras partículas protuberantes del material de contacto. Los resultados del análisis traceológico realizado sobre las superficies experimentales, indican una correlación positiva entre la presencia de estrías y el tamaño de grano medio-fino para los trabajos de abrasión. La baja presencia de estrías sobre artefactos de molienda de grano grueso, como el conglomerado, se limita a granos individuales cuya textura y superficie (p. ej. cantos rodados de cuarzo) propician la formación de (micro)estrías. No obstante, este patrón también ha sido reconocido en instrumentos utilizados por percusión para el reavivado de superficies de molienda (Hayden 1987).

Estrías y rascadas han sido descritas mediante las siguientes variables:

Extensión: Hace referencia al grado en el que las huellas están presentes sobre la superficie. Diferenciamos entre *cubriente*, si las estrías abarcan la totalidad de su totalidad, *suelta*, en el caso en el que las estrías aparezcan dispersas en diversas zonas de la superficie y *concentrada*, cuando éstas se limitan a una zona muy concreta de la misma (Figura 2.2.33). Estos parámetros proporcionan información sobre la forma de uso de la superficie activa, por lo que pueden dar cuenta indirectamente del gesto realizado y la prensión del artefacto.

Trama: Esta variable hace alusión al grado de proximidad que una estría mantiene con la siguiente, por unidad espacial. La trama se definirá como *separada,* si las estrías se encuentran distanciadas entre sí, *cercana*, en caso de mantenerse próximas y *conectada*, si se encuentran vinculadas físicamente (Figura 2.2.33). En el caso de las estrías, una trama conectada puede denotar intensidad de uso, aunque la capacidad abrasiva (dureza y número de partículas protuberantes) del material de contacto también influye en la formación de estrías por unidad de tiempo. Esto quiere decir que la densidad de estrías no equivale a intensidad de uso en el sentido de que, sobre todo en el caso de las superficies extensas, un solo movimiento puede generar varias estrías.

Algunos autores han observado la formación de una mayor cantidad de estrías durante actividades de procesado de cereales salvajes frente a los cultivados (Korobkova 1981, 1993; Unger-Hamilton 1985), mientras que otros no registran diferencias cuantitativas (Anderson 1988).

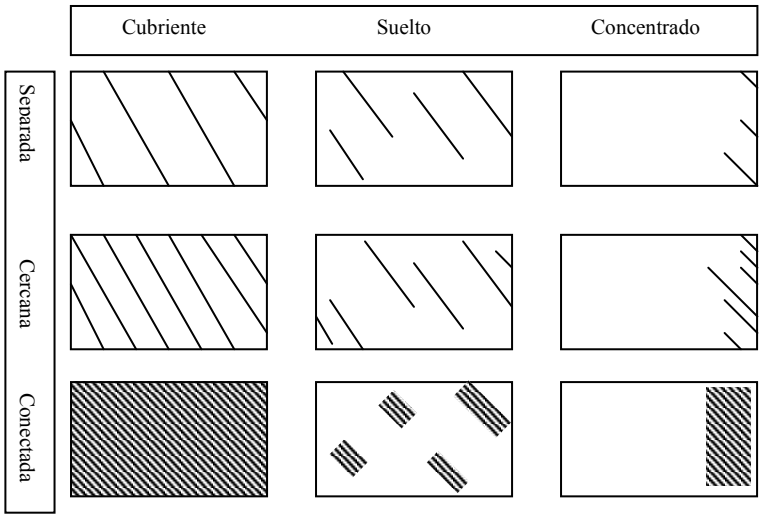


Figura 2.2.33: Representación esquemática de las relaciones que pueden establecerse entre la extensión y la trama de las estrías (Adams *et alii* en prensa).

Incidencia: La incidencia de las huellas a través del eje vertical de la superficie, puede ser *superficial* o *profunda*. El grado de incidencia de las estrías en una superficie lítica está relacionado con las propiedades mecánicas de ambos materiales en contacto. Cuanto menos dura y cohesiva sea la roca y más duro y rugoso el material de contacto, se generarán estrías de mayor profundidad. A nivel microscópico el ángulo de las partículas que inciden desde el material de contacto así como el grado al que éstas sobresalen de la matriz, determina la profundidad de una estría.

Orientación: Este es uno de los elementos más informativos de las estrías, las rascadas y las huellas lineares, en general. Con él se describe la orientación que adopta el movimiento de fricción con respecto al eje longitudinal de la pieza, que puede ser *longitudinal*, *transversal* u *oblicuo*.

Este parámetro, sirvió para discernir entre muelas y molinos de piedra recuperados en algunos poblados del Neolítico Antiguo renano (LBK). Las primeras presentan huellas lineares, reconocibles *de visu*, paralelas al eje transversal, mientras que las huellas observadas en los instrumentos pasivos se orientan a lo largo del eje longitudinal (Zimmermann 1988).

La formación de desgaste sobre las superficies activas de nuestros bruñidores experimentales, ha permitido inferir ciertos aspectos de la cinemática aplicada durante el trabajo. Los movimientos de vaivén realizados oblicuamente con un canto rodado en la mano izquierda, suelen conducir a girar el canto ligeramente sobre su eje transversal y en sentido de las agujas del reloj, lo cual genera huellas lineares oblicuas en la cara anversa, orientadas de superior-izquierda a inferior-derecha. En oposición a ello, el manejo del canto en la mano derecha genera huellas lineares que transcurren de la zona superior-derecha a la inferior-izquierda de la superficie. El carácter diagnóstico de la lateralidad basado en las huellas lineares depende, en el caso de los ejemplares arqueológicos, de la orientación de la pieza, ya que la trayectoria de las huellas se corresponde con el movimiento únicamente si tomamos el eje longitudinal como referencia (Figura 2.2.34). Sin embargo, a efectos de una manejabilidad óptima de cualquier canto rodado, que presente uno de los ejes más largo que el otro, puede

asumirse que su prensión se efectuará alrededor del eje menor, validando, de esta manera, el patrón descrito.

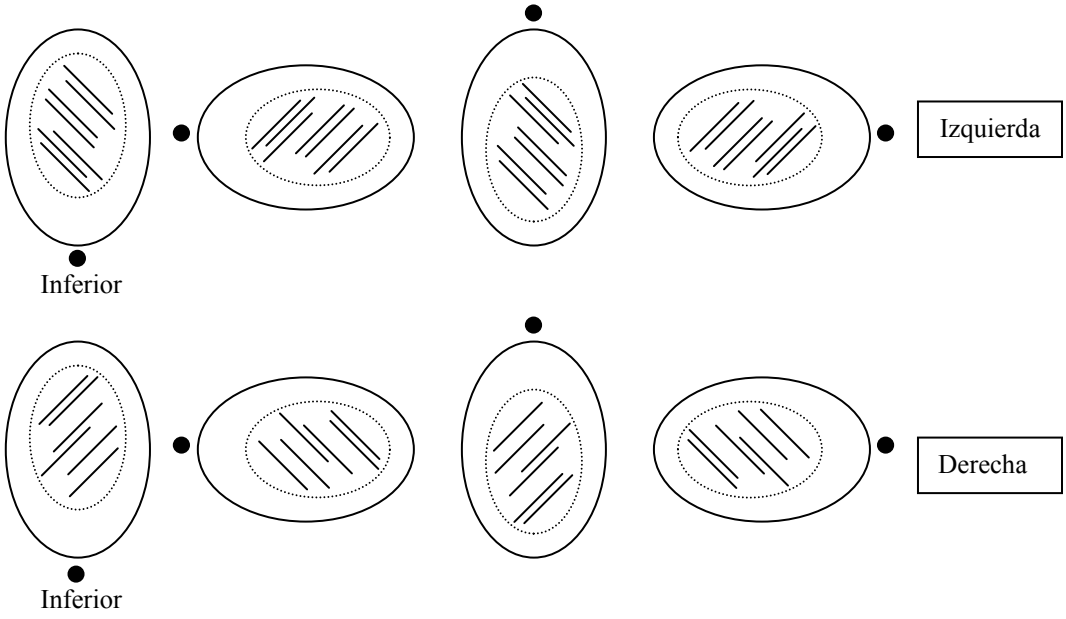


Figura 2.2.34: Dirección de las huellas lineares en artefactos experimentales manejados con una mano y criterios de lateralidad.

Disposición: Esta variable describe la forma en la que las estrías se organizan espacialmente y se articulan entre sí, pudiendo ser *aleatoria*, cuando las estrías se cruzan sin disposición preferente, *circular*, en caso se organizarse concéntricamente alrededor de un punto, *lineal*, si se suceden entre ellas, *paralela*, cuando se ordenan lateralmente, o *perpendicular*, cuando aparecen en forma aproximada a la de una cruz. Si la orientación permitía concretar la direccionalidad del movimiento, la disposición puede detallar la frecuencia con la que varias direcciones coexisten y/o se superponen en una misma zona de la superficie.

En sus experimentos, Dubreuil constata la dificultad de diagnosticar el gesto aleatorio sobre una superficie de abrasión (Dubreuil 2002). En nuestro caso, únicamente hemos experimentado con movimientos de vaivén, lo cual ha quedado evidenciado en forma de conjuntos de estrías, aproximadamente paralelas, en el caso de las muelas, los bruñidores de cerámica y los pulidores de metal.

Morfología en planta**:** La trayectoria de las estrías y rascadas, presenta normalmente una planta *recta* que puede tener un trazado *continuo* o *discontinuo* (intermitente). El primer tipo suele aparecer en rocas mineralógica y granulométricamente homogéneas, y se presentan más marcadas, cuanto menor es el tamaño del grano y mayor la diferencia de dureza con el material de contacto (p. ej. pizarra-cuarzo). Entre las superficies experimentales analizadas, las líneas rectas y continuas se reconocen más claramente en los bruñidores de microgabro que en los de gabro. Las líneas discontinuas se forman, sobre todo en asociación con una alta variabilidad mineralógica de la roca (p. ej. metapsamita) y la presencia de granos de gran tamaño (p. ej. conglomerado). En estos

casos, podemos encontrar estrías que se limitan a la superficie de un solo grano blando y que reaparecen en otro punto más avanzado del mismo trazado, donde vuelven a darse las condiciones necesarias para su formación. Sin embargo, también pueden aparecer en rocas de grano fino, como el microgabro, cuando el trazado de la estrías es interrumpido por anfractuosidades en las que el material de contacto rígido, p. ej. la cerámica, no penetra en ellas.

Una variante poco común son las líneas que siguen una trayectoria en *zig-zag*, a pesar de estar relacionadas con un movimiento "rectilíneo". Este tipo de estrías puede formarse cuando el movimiento se ve interceptado por inclusiones minerales de alta dureza que además, se encuentran especialmente cohesionadas en la matriz de la roca (Figura 2.2.35). Ello conduce a un leve cambio en el rumbo del trazado de las protuberancias del material de contacto que "esquivan", de esta manera, las inclusiones del soporte macrolítico extrayendo material colindante más blando. Con ello se forman líneas en cig-zag de trazado continuo. Bajo condiciones de baja cohesión intergranular y granulometría heterogénea, la extracción de algunos granos enteros de gran tamaño que no se encuentran exactamente en el centro de la trayectoria del trazado, pueden rebasarla lateralmente y propiciar irregularidades similares. El hecho de que la trayectoria quede marcada de forma continua depende de la diferencia de dureza que mantienen ambos materiales en contacto.

	Líneas rectas		**Líneas en zig-zag**	
	continuas	**discontinuas**	**continuas**	**discontinuas**
Diferencia de dureza entre ambos materiales en contacto	mayor	menor	mayor	menor
Homogeneidad mineralógica y granulométrica del soporte macrolítico	alta	baja	baja	baja
Cohesión mineralógica del soporte macrolítico	alta	alta	baja	alta

Figura 2.2.35: Relación que mantienen algunas propiedades petrográficas en la formación de diversos patrones lineares.

Dimensiones longitudinal y transversal: La dimensión longitudinal de las huellas lineares se mide en *larga* o *corta*, teniendo como punto de referencia la extensión de la superficie en la que éstas aparecen. Si las estrías cubren un 100-50% de la superficie se clasificarán como largas y si ocupan <50% como cortas.

En lo que respecta a la dimensión transversal, ya hemos indicado anteriormente que estrías y rascadas se diferencian en función de su anchura, donde el umbral es 0,5 mm. Dentro del límite establecido para cada uno de los dos patrones, reconoceremos variantes *anchas* y *finas*, dependiendo de si las anchuras se acercan o se alejan del umbral establecido.

Tal y como lo indican los resultados traceológicos, la anchura del surco que deja el material de contacto depende, más que de las dimensiones de la partícula incidente, de la granulometría y la cohesión intergranular, siendo más pronunciada cuanto mayor sea el tamaño del grano y menor su la cohesión intergranular.

Morfología en sección: La morfología en el eje transversal del surco se emplea habitualmente, en relación a elementos cortantes de registros tallados, metálicos etc., para inferir la forma y la naturaleza de la materia prima que lo ha generado. Las secciones de una estría o una rascada pueden ser *en U* (semicirculares), *en V*, *cuadrangulares*, *asimétricas* o *irregulares*. Las tres primeras se forman cuando el material de contacto, que tiene una forma específica, incide perpendicularmente a la superficie de trabajo. En el caso de los instrumentos cortantes, a menudo se generan secciones asimétricas, las cuales indican el ángulo de incidencia del filo desde abajo, arriba, la derecha o la izquierda.

El grado de regularidad en la que aparezca reproducida una de las formas geométricas mencionadas, está directamente relacionado con las mismas variables que influencian la morfología en planta (Figura 2.2.35). En los casos analizados ha sido difícil observar el interior de las estrías, debido a sus diminutas dimensiones y a que la luz no incidía suficientemente como para alcanzar el fondo del surco. La descripción se limitó a discernir entre secciones en U y en V.

En definitiva, los aspectos principales de los que informa son la actuación de la abrasión como mecanismo de desgaste, la direccionalidad del movimiento, y, en casos particulares, la posición del artefacto activo sobre el pasivo, por incidencia perpendicular u oblicua de la estría (en V simétrica o en V asimétrica igual que fosillas).

Finalmente, las líneas de pulido y de pigmento también se han incluido en este apartado por tratarse también de huellas lineares, para cuya descripción pueden utilizarse algunas de las variables descritas (extensión, trama, incidencia, morfología en planta, disposición, orientación, dimensión). No obstante, su origen se encuentra en mecanismos de desgaste triboquímicos o de adherencia.

Alisado y pulido lustroso

El alisado de una microtopografía puede aparecer asociado al redondeamiento, al nivelado y/o al arrasamiento de granos y se considera una de las condiciones precedentes, sin la cual el brillo lustroso no puede llegar a desarrollarse (Adams 1989a). Por esta razón hemos incluido ambas manifestaciones en este apartado, lo cual no implica necesariamente que toda aquella superficie alisada terminará provista de lustre.

En la configuración de una superficie lítica alisada actúan los mismos mecanismos de desgaste que hemos descrito para las huellas lineares, con la diferencia de que, en este caso, el desgaste abrasivo propicia una microtopografía homogénea e ininterrumpida, tenga ésta un aspecto liso o sinuoso. En un primer momento del proceso de fricción, en el que las protuberancias de los cuerpos sólidos entran en contacto por movimiento, las partículas más blandas y/o menos cohesionadas se desprenden de la roca, aflorando una nueva superficie. Si las propiedades de la roca (mineralogía, granulometría, cohesión) lo propician, la superficie puede sufrir una atenuación del relieve por disminución de la distancia vertical entre inclusiones y matriz, lo cual supondrá una nueva estabilización en la que la presencia de protuberancias habrá disminuido sustancialmente, dándole un aspecto regular y homogéneo. Cuando esto ocurre, a menudo se forman platós alisados, más o menos aislados y exentos de anfractuosidades que, en el caso de los molinos, llegan a desarrollar una extensión horizontal centimétrica que aumenta con el

incremento del desgaste de la superficie a lo largo del tiempo. Estos *planos de homogenización*, pueden presentar secciones rectas o ligeramente abombadas (Procopiou 1998: 198ss; Dubreuil 2002; Hamon 2006). Debido a su exposición sobre la superficie, también pueden aparecer otros tipos de huellas como estrías o fosillas. En este último caso, las fosillas suelen representar los fondos de huellas residuales de reavivado de la superficie activa, previo al uso.

Sobre las superficies alisadas o los planos de homogenización se registran a menudo zonas pulidas, de aspecto brillante. El pulido o *pulido lustroso* (tal y como lo denominamos en este trabajo), ha sido definido por varios autores como una alteración visible de la superficie natural que incrementa la reflectividad de la misma (Grace 1989: 38) o hace que ésta reflecte la luz de forma diferente al resto (Plisson 1985). Si bien estas definiciones son válidas para observaciones realizadas tanto a bajos como a altos aumentos, podemos afirmar que, tal y como ocurre con el resto de las huellas, su aspecto varía dependiendo de los aumentos utilizados, desde su fácil reconocimiento hasta su desaparición total. Nosotros únicamente hemos observado y descrito este patrón a leves aumentos, aunque sí hemos constatado la dificultad de reconocer las zonas reflectantes, a partir de 60-80x. En este sentido, Nowatzyk menciona la posibilidad de que los pulidos observados microscópicamente sean diferentes de los que se observan a grandes aumentos (Nowatzyk 1988).

Si bien el lustre que hemos observado, tanto en superficies experimentales como en otras arqueológicas, va siempre acompañado de un intenso alisado, los mecanismos de formación de uno y otro parecen ser diferentes. Mientras que para el alisado el mecanismo determinante es el abrasivo, tal y como hemos descrito arriba, el origen del pulido lustroso aún constituye un tema de debate.

En términos generales, podemos resumir la polémica reflejada en la bibliografía en torno a la comprensión de la formación del lustre sobre materiales tallados en dos posturas, que la definen como mecanismo reductivo y aditivo, respectivamente (Yamada 1993). La primera basa sus argumentos explicativos en el desarrollo del pulido observado sobre superficies metálicas (Rabinowicz 1967 citado en Sussman 1988). Según este proceso, el desgaste abrasivo de dos superficies en contacto, propicia el desprendimiento de moléculas por fricción, lo cual resulta en una pérdida gradual de materia sobre la superficie (Dauvois 1977, Diamond 1979, Kamminga 1979, Meeks *et alii* 1982; Yamada 1993; Levi-Sala 1993). Los datos empíricos que apuntan a procesos reductivos consisten en la constatación de la pérdida de peso en los materiales metálicos. El desarrollo del pulido lustroso depende según estos autores del grado de humedad del material, su dureza así como la presencia/ausencia de abrasivo (Kamminga 1979: 154; Sussman 1988: 14-16).

La postura que hoy día defiende un origen aditivo del pulido lustroso se ha limitado hasta ahora a explicar la presencia del lustre de cereal, en calidad de sílice depositada y solidificada sobre la superficie. Se basa en una asunción inicial de que el pulido lustroso es el resultado de la fusión y redistribución de la materia localizada en la microtopografía más alta en forma de película reflectante. El intenso calor liberado por la fracturación de los granos durante el proceso de frotamiento se entendía como el único factor causante del lustre (Witthoft 1955). Actualmente los investigadores que se apoyan en el carácter aditivo del lustre, no aceptan el calor de fricción como proceso que determina el lustre, afirmando que éste es generado en un fenómeno de disolución

de la superficie lítica criptocristalina que consiste en la deposición sobre la misma de la sílice hidrolizada, en forma de gel amorfo (Anderson 1980). El carácter aditivo de dicha película ha podido ser demostrado, por un lado, mediante difracción electrónica, la cual indica una estructura diferente de la superficie lítica, en la que se registran flores de sílice y residuos de materia trabajada. Por otro lado, Knutsson consiguió retirar la película de lustre sobre artefactos de cuarzo mediante ataques químicos, descubriendo bajo ella otras huellas, en este caso, de abrasión (Knutsson 1988: 88-89).

Si bien el objetivo de este trabajo no es esclarecer la naturaleza reductiva o aditiva del pulido lustroso, parece que en la formación del lustre intervienen tanto mecanismos mecánicos como mecánico-químicos, proceso que se ha llegado a denominar en algunas publicaciones como *translocation* (Hurcombe 1997: 487-497).

La única autora que se ha detenido a explicar los mecanismos de formación del pulido lustroso sobre materiales macrolíticos se basa en las interpretaciones que llegan desde la tribología y que parecen estar en consonancia, a grandes rasgos, con el fenómeno mixto de la *translocation* (Adams 1988, 1989a). Según ella, este patrón se forma a partir de residuos o productos de reacción generados en procesos triboquímicos, en los que interactúan mecanismos de adhesión, abrasión y fatiga. La microfractura de los granos y la transformación de las sustancias adicionales intercaladas entre las superficies de contacto, libera calor de fricción a través del cual queda determinado el ambiente de formación de películas y óxidos. Estos productos de reacción se reconocen mediante su brillo, siempre y cuando otros mecanismos destructivos no los hayan eliminado poco después de su formación.

La falta de acuerdo que ha existido en la explicación del origen del lustre sobre superficies líticas, se refleja también en la discusión sobre la posible relación entre tipos diferentes de lustre y diversas formas de contacto. En la traceología del material lítico tallado algunos autores afirman que el desarrollo de determinadas huellas obtenidas mediante el contacto con vegetales no leñosos, depende de su contenido en sílice (Anderson 1980) así como de la flexibilidad y la anchura de los tallos (Unger-Hamilton 1983), puesto que establecen vínculos causales entre la variabilidad de huellas. El número de estrías y la anchura de la zona lustrada sobre el filo parecen ser otras características traceológicas condicionadas diferencialmente por el contacto con vegetales domésticos y salvajes (Korobkova 1981; Unger-Hamilton 1985). En otros trabajos se llega a hablar de micro-pulidos lustrosos propios del contacto con madera, con hueso etc (Keeley 1980: 22-23).

En el estudio de inventarios macrolíticos se mencionan a menudo las sustancias orgánicas aceitosas (cereales, semillas de girasol, cuero y, en menor medida, hueso fresco) como las más propensas a generar pulido lustroso sobre superficies líticas (Adams 1989a; 1994; Dubreuil 2002; Hamon 2006). Excepcionalmente el trabajo de piedra grasa o esteatita (*Speckstein*) también parece haber generado lustre (Delbene y Shelley 1979, citado en Nowatzyk 1988). Además de observarlo sobre las propias superficies de uso, el lustre puede aparecer en las caras pasivas utilizadas en la prensión de un instrumento, tal yo como se ha podido registrar en algunos ítems de basalto de grano fino que su utilizaron durante más tres de meses, asidos en la mano (Hayden 1987: 94-96). Comparaciones con ejemplares experimentales han permitido lanzar la hipótesis de que el alisado brillante de ciertas piezas puede testimoniar la

transformación de cereales vestidos en la que el cascabillo no ha sido completamente eliminado (Procopiou *et alii* 2002: 111-126; Hamon 2006).

En otros trabajos el valor diagnóstico del pulido lustroso ha sido cuestionado (Grace *et alii* 1985; Newcomer *et alii* 1987; Plisson y Gijn 1989) o bien matizado. Levi-Sala reconoce que diversas materias pueden generar pulidos lustrosos coincidentes y viceversa, que un tipo de material puede desarrollar pulidos de diverso aspecto (Levi-Sala 1988: 83). De esta manera, los efectos que tiene sobre una superficie lítica el contacto abrasivo con la sílice no parecen ser diagnósticos, puesto que se han obtenido resultados idénticos mediante la abrasión de pasta de diamante. Variar la presión del trabajo tampoco implica diferencias entre pulimentos; una vez está completamente instalado en la microtopografía y ha adquirido un aspecto reconocible macroscópicamente, el incremento del tiempo de trabajo no aumenta la intensidad del pulido (Grace 1989: 58; Gutiérrez 1996: 142).

Por lo que se desprende de la bibliografía, resulta difícil atribuir un patrón de pulido lustroso a un tipo de contacto material concreto. Las características cualitativas o los atributos del pulido (extensión, brillo, textura, distribución sobre los bordes etc.) indicarían más bien diversos estadios en el desarrollo del mismo. Una observación recurrente y coincidente en trabajos que abordan la cuestión del pulido lustroso, tanto sobre materiales tallados como sobre instrumentos macrolíticos, relaciona la facilidad de su desarrollo con las propiedades mineralógicas, granulométricas y cohesivas de la roca. Experimentos destinados a pulir diferentes materiales líticos con un agente abrasivo concluyeron en el desarrollo de "micropulido" sobre riolita mientras que éste permaneció ausente en el caso de la anfibolita (Mansur-Franchomme 1997: 465-486). Los resultados obtenidos por Adams y Hamon con rocas de arenisca, también son divergentes a este respecto con los que presenta Dubreuil sobre rocas basálticas. En términos generales puede afirmase que los pulidos se desarrollan más lentamente sobre materiales líticos de grano grueso que sobre los de grano fino (Vaughan 1985; Gutiérrez 1996: 138; Hamon 2006: 116).

Los experimentos realizados en el marco de nuestro estudio, permiten corroborar la relevancia de las propiedades texturales y mineralógicas del propio material sobre el cual el pulido lustroso está presente o ausente. Entre las superficies experimentales observadas, se han registrado patrones de alisado con pulido lustroso en contactos del tipo piedra contra piedra y piedra contra arcilla seca. En ambos ejemplos, el material de contacto es de naturaleza mineral y está lejos de contener sustancias aceitosas o blandas, sin embargo, pudimos comprobar que el calor de fricción juega un papel de cierta importancia en el desarrollo del desgaste entre piedra y arcilla, puesto que la superficie del bruñidor se calentó considerablemente durante el trabajo.

Los experimentos de molienda de cebada, llevados a cabo con molinos de conglomerado y de micaesquisto granatífero no permitieron reconocer superficies extensamente lustradas, pasados los 90 minutos de trabajo. Estos resultados son aplicables a los experimentos en los que se utilizó tanto una muela de piedra como una de madera, si bien el uso de la segunda sobre un molino de conglomerado afectó a granos aislados con un ligero lustre apenas visible. En el caso de la muela de metapsamita, se pudo constatar que la superficie activa presentaba una pátina brillante inmediatamente después de interrumpir el trabajo, la cual desapareció fácilmente durante el lavado en agua jabonosa (Figura 2.2.39). La escasez de pulido lustroso sobre

los tres tipos de rocas utilizados en los experimentos de molienda podría explicarse aludiendo a) al tiempo de experimentación, que con 90 minutos pudo resultar insuficiente para permitir su desarrollo, b) a la heterogeneidad granulométrica y/o mineralógica de la roca. Teniendo en cuenta que el contacto con gramíneas favorece la formación rápida de pulido, el argumento de peso ha de encontrarse en la naturaleza de la propia roca. La presencia de partículas minerales de muy diversa naturaleza y tamaño conduce tanto a su transformación diferencial como a una reflectividad de la luz heterogénea. Las microfracturas y la extracción de grano documentados sobre algunas de estas superficies conforman otras irregularidades que propician la renovación constante de la microtopografía por aparición de nuevos minerales mecánicamente inalterados.

El único ejemplo en el que hemos reconocido microrrelieves claramente reflectantes sobre rocas compuestas por inclusiones minerales de gran tamaño, es en el alisado de piel y cuero con un canto de micaesquisto granatífero (Figura 2.2.44). El importante componente grasiento del material de contacto propicia la impregnación de la superficie de una película brillante. Sin embargo, tampoco aquí se ha observado este patrón en todos los estadios de desgaste, lo cual indica la dificultad de reconocer dicho tipo de desgaste en rocas mineralógicamente heterogéneas. La matriz, rica en cuarzo y mica, presenta cualidades mecánicas y cromáticas-reflectantes que contrastan claramente con las inclusiones oscuras de granates.

En oposición a los experimentos mencionados, durante los trabajos de bruñido de la placa cerámica llevados a cabo con cantos rodados de rocas ofíticas, el pulido lustroso comienza a desarrollarse rápidamente, tras pocos minutos de experimentación. La arcilla contiene partículas abrasivas que en un primer momento pueden desprenderse o simplemente quedar inmersas en su matriz arcillosa, actuando como abrasivo y generando estrías sobre la superficie del bruñidor. Sin embargo, a medida que los efectos de la fricción avanzan, el polvo arcilloso que se desprende de la placa obstruye los poros de la misma y las partículas remanentes que sobresalen en la superficie son rebajadas y embotadas por desgaste. Todo ello conduce a que la presión que ejercen ambos cuerpos recíprocamente quede mejor distribuida sobre sus respectivas superficies. Esta nueva situación, favorece un mejor deslizamiento entre ambos cuerpos, lo cual disminuye el índice de fricción, y permite que las partículas minerales permanezcan expuestas en la superficie durante más tiempo. Con ello se dan las condiciones de formación de lustre, tanto en el material lítico como en el arcilloso (Figura 2.2.47e-f). La prolongación del ambiente descrito durante cierto tiempo, podría llevar a la eliminación de las estrías formadas inicialmente. Es importante hacer hincapié en las evidencias de residuos de color pardo, muy probablemente materia arcillosa, que acompañan al lustre. Adicionalmente, con motivo de los experimentos de bruñido de cerámica, hemos podido comprobar la rapidez con la que se forma un lustre uniforme sobre rocas de grano fino (microgabro) frente a las de grano grueso (gabro) y su intensidad diferencial. Sobre la superficie del gabro los grandes y claros cristales de plagioclasa parecen tener un comportamiento diferencial al resto, ralentizan la formación del brillo y éste se presenta de forma sutil.

El segundo tipo de contacto a raíz del cual hemos documentado superficies cubiertas de pulido lustroso, es el alisado de los bordes de una plaqueta de pizarra que se frotaron en el interior de la ranura de un alisador de arenisca (Figura 2.2.49c-d). Este patrón de desgaste era evidente, en el caso de la plaqueta, pasados los primeros 30 minutos,

mientras que sobre la superficie activa del alisador apareció tras 60 minutos de trabajo. En este último ejemplo, los abundantes granos de cuarzo tardan más en contribuir a la estabilización de la superficie por nivelación, oponiendo mayor resistencia. En la pizarra el proceso es más rápido debido a su menor dureza. Tal y como lo constata Adams (1989a, 1994), una reducción de la topografía de la superficie, permite la formación de productos reactivos observable a leves aumentos. Una vez niveladas, las superficies dejan de renovarse a la velocidad a la que lo hacían anteriormente, se "agotan", y resbalan una contra otra. Si la relación entre inclusiones y matriz se mantiene al mismo nivel y las mismas partículas minerales permanecen expuestas sobre la superficie durante un tiempo suficientemente prolongado, pueden quedar cubiertas por un lustre brillante. Los efectos que el desgaste tiene a partir de aquí en la evolución del lustre (perduración, interrupción), son cuestiones que no se han abordado en nuestro programa experimental. Para ello sería necesario retomar los experimentos y prolongar el contacto entre piedra y piedra.

Resumiendo lo descrito arriba, podemos afirmar, sin miedo a equivocarnos, la existencia de rocas que, bajo las mismas condiciones de contacto, presentan una mayor propensión a desarrollar pulido lustroso que otras. La clave para su desarrollo parece estar en la capacidad de la roca de retener las partículas minerales expuestas en la superficie durante un tiempo determinado, para lo cual se requiere de una granulometría fina, una alta homogeneidad mineralógica y una cohesión intergranular elevada. Bajo estas premisas se darán las condiciones de permanencia de las mismas partículas minerales sobre una superficie favoreciéndose el desarrollo del pulido lustroso. Por lo tanto, más que la naturaleza de la sustancia trabajada o el tiempo de trabajo cargado sobre la superficie, es la capacidad de la roca de mantener expuestas al contacto por fricción las mismas inclusiones minerales, lo que favorece o impide el desarrollo del pulido lustroso. Visto que el procesado de cebada apenas generó lustre, al menos en los ejemplos que aquí hemos presentado, las propiedades petrográficas prevalecen claramente sobre las propiedades de la sustancia trabajada.

Las huellas de alisado y el pulido lustroso han sido descritas como sigue:

Extensión: El marco de referencia para la caracterización del alisado y/o pulido lustroso en el eje horizontal está definido por la cara del instrumento en el que aparece el mismo. El patrón se describe como *cubriente* cuando abarca la totalidad de la superficie, *concentrado*, cuando las huellas se limitan a una zona concreta y *suelto* cuando aparecen dispersas en varias zonas pero no llegan a afectar a la superficie en su integridad (Figura 2.2.36).

Trama: En el caso del alisado y el pulido lustroso, la trama indica la uniformidad de la huella allí donde aparece, en su eje horizontal. Hablaremos de trama *conectada* en los casos en los que las huellas presenten la mayor uniformidad, es decir, cuando su desarrollo sea continuado. Las huellas que aparezcan en proximidad espacial sobre una misma superficie se caracterizan con una trama *cercana*. Finalmente, aquéllas que se encuentren distantes unas de las otras se describen con una trama *separada* (Figura 2.2.36). Las zonas intercaladas entre las huellas pueden ser en principio, tanto anfractuosidades como protuberancias y no representan otra cosa que la distancia a la que una huella se encuentra de la otra.

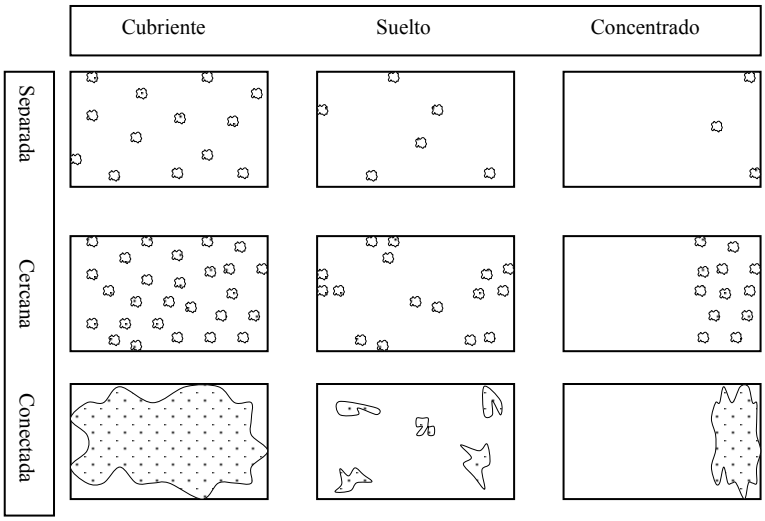


Figura 2.2.36: Representación esquemática de las relaciones que pueden establecerse entre la extensión y la trama del pulido.

Como hemos mencionado más arriba, en las superficies activas de los artefactos de molienda, este tipo de huellas aparece a menudo sobre planos de homogenización de sección recta o convexa, separados, en este caso, por anfractuosidades. Sobre ellos el alisado suele presentar una trama conexa. Si el desgaste de la propia superficie es muy pronunciado, dichos planos de homogenización pueden llegar a conectarse con otros adyacentes, hasta formar una trama conectada de extensión cubriente (Figura 2.2.36).

Incidencia: En el desarrollo del alisado y el pulido lustroso, la incidencia está directamente relacionada con el grado de flexibilidad del material de contacto, es decir, su capacidad de de "invadir" la microtopografía de la superficie lítica en su eje vertical. Diferenciamos de esta manera entre una incidencia *superficial*, que se genera durante el contacto con un material relativa o altamente rígido, y una incidencia *profund*a, originada en el contacto con un material flexible tendente a acceder a puntos más profundos de la microtopografía.

Morfología en planta: Esta variable, que hace alusión a la forma de la huella en su sentido bidimensional, no ha sido tenida en cuenta en relación al tipo de huellas que aquí nos ocupa, puesto que durante las observaciones al binocular, la mayoría de ellas tenían un aspecto irregular y, dentro de su irregularidad, variado. Pensamos que ello está condicionado por propiedades intrínsecas de la propia roca, es decir, formas tridimensionales determinadas de las protuberancias que afloran sobre una superficie natural o percutida, propiciarán otras formas concretas en planta, a medida que, durante la fricción, sus cúspides van rebajándose y su base extendiéndose. En este sentido entendemos también la formación de las *líneas de pulido*. Cuando la topografía alta se compone de zonas oblongas y los efectos de la fricción sobre ella avanzan, pueden llegar a formarse bandas de lustre que se limitan a las cúspides de dichas zonas, desarrollando lo que parecen *líneas de pulido*. Sin embargo, por lo que hemos podido observar en las superficies analizadas, estos patrones poco tienen que ver con huellas lineares, al menos tal y como las describe Grace (1989: 41). Este "efecto óptico" se ha podido observar en las superficies del bruñidor de cerámica experimental, realizado sobre un canto de microgabro. Sobre su superficie activa estriada se registraron patrones alargados cubiertos de lustre. Tras un análisis más detallado pudimos comprobar que los

flancos exentos de lustre, adyacentes a estos patrones, constituían en realidad el fondo de las estrías, lo cual contrastaba con la microtopografía alta claramente lustrada. Por consiguiente, pensamos que anotar la morfología en planta, la orientación así como la disposición de estos patrones no comporta conocimientos más allá de la estructura interna y textura de la propia roca.

Morfología en sección: Hemos tenido en cuenta esta variable siempre y cuando los patrones de alisado y/o lustre forman planos de homogenización rodeados de anfractuosidades intactas. Las secciones de dichos planos pueden ser *rectas* y *convexas* (abombadas). Mientras las primeras se asocian a contactos abrasivos tipo "piedra contra piedra", las segundas morfologías son típicas del contacto abrasivo tipo "piedra-cereal-piedra" (Dubreuil 2002).

Una propiedad que no hemos introducido en la descripción de los lustres observados sobre las superficies activas de los instrumentos macrolíticos es el grado de reflectividad relacionada con ellos. En los trabajos de referencia la reflectividad se ha descrito en función de su opacidad, su intensidad, la coloración de la zona afectada así como su textura (Dubreuil 2002: 212; Hamon 2006). No obstante, queda claro que se trata de un patrón que presenta serias dificultades para ser valorado de forma objetiva, por no hablar de los lustres macroscópicos, generados durante el procesado de cereal, que desaparecen con un simple lavado. Este último hecho que hemos podido constatar al término de los experimentos de molienda de cebada desnuda, también es mencionado por Dubreuil para el trabajo del trigo desnudo (Dubreuil 2002). Por las razones citadas y dada la heterogeneidad de los litotipos objeto de estudio, nos hemos limitado a documentar la presencia o ausencia del lustre y, en el primer caso, las variables descriptivas definidas arriba.

Fosillas de impacto

Recordemos que tanto las fosillas como el resto de las huellas presentadas en este capítulo han sido definidas a partir de observaciones mesoscópicas y, en nuestro caso, son patrones diferentes a los registrados en relación al material tallado. Para la observación de las fosillas del segundo tipo se requieren aumentos de >100x. Estas huellas son diminutas cavidades formadas a partir del desprendimiento de fragmentos minerales y aparecen por fatiga de una superficie de cuarzo o de sílex que frotado contra otra en contacto repetido (Diamond 1979, Sussman 1988). El material de contacto que ha conducido a la formación de fosillas sobre superficies silíceas a cuarzosas es principalmente la madera. Sobre algunos de los materiales que fueron utilizados para trabajar el cuero se registraron fosillas de planta circular, las cuales se atribuyen al calor de fricción. Además existen patrones específicos como las fosillas con cola de cometa, que se observan a aumentos muy elevados (200x), dispuestas paralelamente en dirección del movimiento. Éstas se han obtenido experimentalmente durante el trabajo de hueso fresco, asta húmeda y en el corte de hierba.

Las fosillas que hemos reconocido sobre las superficies macrolíticas son mayoritariamente, huellas de impacto, tal y como las describe Hayden para los percutores de basalto (Hayden 1987), que pueden ser observadas *de visu* y/o mesoscópicamente. Su formación se debe al desprendimiento de granos en un contexto de compresión, en el que la fatiga parece actuar como mecanismo dominante

conjuntamente con el desgaste abrasivo. Adams observó fosillas experimentalmente sobre superficies de percusión y abrasión de cereal, arcilla, cerámica y concha (Adams 1989a, 1994). Si bien las estrías, tal y como hemos descrito, constituyen huellas formadas por sucesión direccionada de la extracción de partículas minerales, las fosillas se forman mediante fractura y extracción localizada de materia, a través de contactos percusivos o abrasivos. Hay diversas formas en las que la extracción de material, sean fragmentos de granos, granos aislados o conjuntos de granos, puede generar fosillas. Cuando un cuerpo sólido impacta contra la superficie se propaga una fractura hacia el interior, volviendo después a la superficie original siguiendo una forma habitualmente elíptica. La propagación de la fractura se realiza bien en favor de los puntos de unión entre los granos y la matriz o bien aprovechando un plano débil a través de un solo mineral. La forma en la que la fuerza de impacto afecta a la propagación de la fractura depende del ángulo, perpendicular u oblicuo, en el que ésta incide sobre la superficie (Figura 2.2.37).

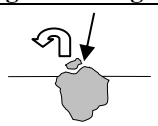
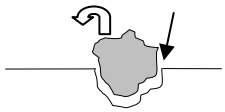
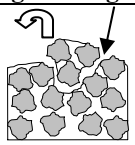
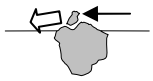
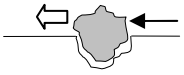
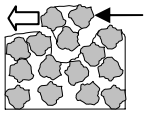
	Fragmento de grano	**Grano entero**	**Agregado de granos**
Percusión (impacto)			
Abrasión (arrastre)			

Figura 2.2.37: Formación de fosillas a partir de la fractura y el desprendimiento localizado de materia, mediante percusión y abrasión. En gris, inclusiones minerales; en blanco, matriz.

En todos estos casos es la cohesión intergranular la que determinará si la extracción de materia se realiza en forma de fragmento de grano, grano entero o agregado de granos, mientras que la granulometría determinará el tamaño de la fosilla.

Aunque generalmente la formación de fosillas tiende a incrementar el grado de rugosidad de la superficie, hay casos particulares en los que el efecto obtenido es contrario. Si la superficie de partida es extremadamente irregular, una actividad de percusión puede llegar a regularizarla por medio de pequeñas fosillas de extracción de materia que, si incidir en la roca, se limitan a la microtopografía alta.

Los criterios que hemos utilizado para la caracterización de las fosillas son los siguientes:

Extensión: Tal y como hemos descrito para las estrías, la repartición horizontal de fosillas sobre la superficie, da cuenta del área de contacto que ésta ha mantenido con el material trabajado. Hablaremos de nuevo de *cubriente, suelta* y *concentrada* (Figura 2.2.38).

Trama: La proximidad que presentan las fosillas se define igual que en el caso de las estrías como *conectada, cercana* o *separada* (Figura 2.2.38). Sin embargo, contrariamente a lo que sucedía con éstas últimas, la densidad de las fosillas indica claramente intensidad de uso, pues normalmente un movimiento genera una sola fosilla.

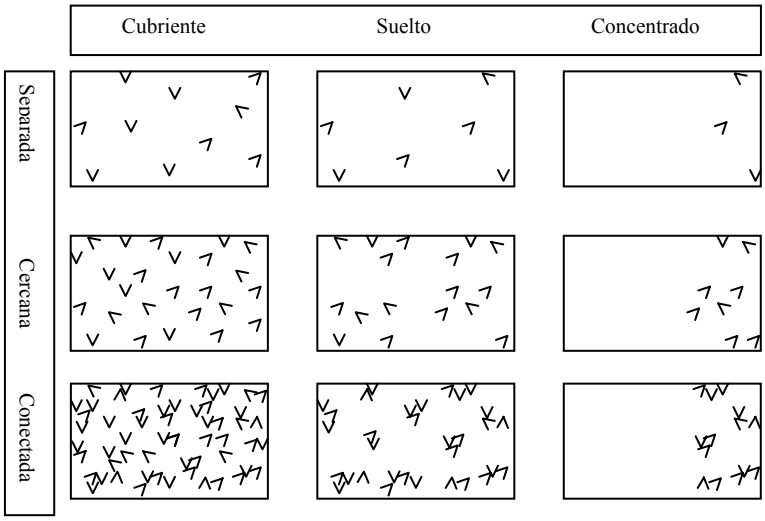


Figura 2.2.38: Representación esquemática de las relaciones que pueden establecerse entre la extensión y la trama de las fosillas de percusión.

Incidencia: La incidencia *superficial* o *profunda* de las fosillas, en el eje perpendicular a la superficie, se corresponde con la nomenclatura de fosillas superficiales y fosillas profundas (ver anexo 2). En el caso de las fosillas, se asume que a mayor fuerza de impacto, la profundidad de las fosillas aumenta, si bien ésta es una asunción que no hemos contrastado empíricamente[73]. Pensamos que tanto la morfología del cuerpo incidente como la cohesión del material que recibe el impacto, son propiedades que condicionan la profundidad de las fosillas. Por lo contrario, parece ser una variable que, en este caso particular, está estrechamente relacionada con la anchura de las huellas, que comentamos más abajo, pudiendo variar con la granulometría del material de contacto.

Orientación: Esta variable indica la disposición de las huellas en relación al eje longitudinal de la superficie, pudiendo ser *longitudinal*, *transversal* u *oblicua* y proporciona información sobre la cinemática del movimiento realizado.

Morfología en planta: Las formas observadas entre las fosillas de percusión son mayoritariamente geométricas y, en cualquier caso, presentan bordes definidos que las hacen fácilmente reconocibles. Las morfologías que hemos reconocido entre nuestro material experimental son *circular*, *triangular*, *irregular* y, excepcionalmente, *en estrella*, *en cola de cometa* y *en cuña*. Las del primer tipo, que son también las más frecuentemente observadas, se desarrollan a partir de la propagación elíptica de la fractura, tal y como hemos descrito arriba. Las formas irregulares representan antiguas fosillas que han quedado cortadas por otras formaciones posteriores, lo que les confiere un aspecto indefinido. Entre los patrones del segundo grupo, las fosillas con planta en estrella se forman cuando la fuerza de impacto avanza radialmente, a lo largo de la superficie, desde un epicentro. Las fosillas con planta en cola de cometa, representan claramente huellas que combinan percusión (fosilla o núcleo de impacto) y posterior arrastre, el cual propicia surcos múltiples y paralelos, generalmente menos profundos

[73] Sí queda claro, tras la realización de los experimentos, que la aparición simultánea de fosillas y fracturas indica la aplicación de una mayor fuerza de impacto.

que la propia fosilla ("cola"). Finalmente, las fosillas en cuña se pueden considerar una variante de las fosillas con planta triangular, aunque presentan un fondo desplazado del punto central, debido a la fuerza de impacto que ha afectado a la materia de forma oblicua, que también se refleja en planta (Figura 2.2.45h).

Dimensiones: La dimensión de las fosillas se describe con una sola variable, relativa al diámetro máximo de las mismas. De esta manera distinguimos entre fosillas *anchas* y *finas*. Como hemos dicho anteriormente, esta variable está directamente relacionada con la incidencia de las fosillas, puesto que, cuanto mayor es la incidencia mayor acostumbra a ser también la anchura.

Los experimentos de reavivado de superficies de molienda indican una relación directa entre las dimensiones de estas huellas y la granulometría del material de contacto, siendo éstas más anchas cuanto mayores sean las inclusiones minerales en la superficie percutida (Figura 2.2.48e-f).

Morfología en sección: La morfología en sección es normalmente simétrica, pudiendo adoptar la forma *de U* o *de V*. En casos excepcionales se observan secciones *irregulares* o *asimétricas*, las últimas de las cuales indican la incidencia lateral del material de contacto (p. ej. fosillas en cuña).

Resumiendo las fosillas, tal y como las hemos descrito en nuestro estudio, se forman principalmente a través de mecanismos de fatiga aunque los de abrasión también pueden jugar un papel importante, especialmente, si actúan sobre un punto muy localizado de la superficie.

Fracturas

Estas huellas aparecen en forma de melladuras que han sido descritas, sobre todo, en relación a los márgenes de los filos de instrumentos tallados en sílex y en cuarzo, denominándose, en estos casos, *edge damage* (Keeley 1980; Sussman 1988; Grace 1989). Son resultado de la presión recibida por el filo y pueden afectar al mismo en diversos grados, que van desde la modificación casi irreconocible hasta su desintegración total. Dependiendo de los aumentos a los que se observan, estas huellas pueden informar acerca del gesto realizado con el instrumento (longitudinal o transversal al filo), así como del tipo de materias, duras o blandas, manipuladas con él, si bien el ángulo del propio filo es una variable que condiciona igualmente el desgaste.

Respecto al material macrolítico analizado, las *fracturas* han sido observadas sobre superficies extensas en asociación con las fosillas, en los casos en los que la percusión resulta especialmente intensa y aproximadamente perpendicular a la superficie de contacto. En oposición a lo que ocurre con las fosillas, las fracturas presentan límites irregulares, tanto en planta como en sección. Los mecanismos de desgaste que actúan en su formación son los mismos que generan las fosillas y se deben principalmente a la fatiga. Dicho patrón de desgaste está favorecido por la carga que actúa durante la percusión y que se concentra sobre la superficie, bien debida a la fuerza aplicada por la persona que ejecuta el gesto o bien debida al propio peso del objeto que percute. La resistencia que la roca opone a estas condiciones desencadenará mejor o peor los rasgos propios de una fractura.

Además del tipo de fractura descrito, entre el material estudiado, hemos reconocido otros dos tipos específicos que se asocian a zonas periféricas de superficies de percusión, en las que la honda expansiva del impacto corre oblicuamente y cerca de la superficie, extrayendo materia en forma de lascas y/o esquirlas. Dichas zonas periféricas coinciden normalmente con el punto de intersección de dos caras, sea en forma abrupta (ángulo) o continuada. Entre las fracturas más frecuentemente registradas figuran las fracturas *escalonadas* (Figura 2.2.48d), que se forman cuando la honda expansiva del golpe se ve interceptada por una heterogeneidad estructural del material que imposibilita su progresión elíptica, lo cual conduce a su terminación en un ángulo recto o abrupto (Sussman 1988: 17; Grace 1989: 35; 48-49). Hayfen documenta este tipo de huellas en los filos o ápices de los picos y percutores de basalto utilizados en la preparación de artefactos de molienda (Hayden 1987: 91-97). Entre el material analizado suelen ser frecuentes en los bordes de los frentes de los percutores esféricos mallorquines, en los que también aparecen asociadas a fosillas como las descritas arriba. Como una variante que probablemente representa una reminiscencia de la fractura escalonada, Hayden menciona los *checks*, que también documentó sobre picos y percutores de basalto (Hayden 1987: 85-96; fig. 2.49). Los *checks* son fracturas de forma alargada, que se disponen paralelamente al borde de trabajo y pueden tener sección en V o cuadrada.

Un segundo tipo considerado entre estas huellas específicas está representado por las fracturas *concoidales*, tal y como abundan entre las rocas de textura isótropa, sobre todo, el sílex (Grace 1989: 35). Se trata de negativos de extracción (por retoque o por uso), cuya morfología particular permite reconocer la dirección en la que se ha propagado la fractura, a partir de un punto de impacto situado en el extremo más estrecho de la fractura. Entre el material macrolítico analizado, esta morfología se ha detectado sobre superficies de percusión de cuarzos y metabasitas, así como sobre los flancos laterales de molinos de micaesquisto y conglomerado, tratados por percusión.

Con todo, consideramos las fracturas como huellas indicadoras de intensidad en las actividades de percusión, si bien otros tipos específicos, como las escalonadas o las concoidales, parecen estar favorecidas por litologías concretas. Los criterios descriptivos utilizados para su caracterización son los mismos que hemos definido a propósito de las fosillas de impacto.

Aspecto escarchado

Este patrón ha sido definido por Adams y representa una asociación de huellas, esto es, fisuras, fosillas y rascadas, que confieren a la superficie un aspecto congelado o escarchado (Adams 1989a; 1994). Según esta autora los mecanismos responsables del desarrollo de dicho patrón son la fatiga y el desgaste abrasivo. La aplicación de fuerza, durante el movimiento, sobre la superficie rígida, conduce a que la presión se concentre sobre un área mucho más restringida que en el caso de las materias flexibles[74]. Ello resulta en la formación de fisuras superficiales y en el colapso de los granos de la roca y en la fractura de las elevaciones más pronunciadas, lo cual libera partículas que a

[74] Contrariamente a lo que ocurre con los cuerpos rígidos, la capacidad de deformación de las materias flexibles, provoca una dispersión de fuerzas que incide en la amplitud del área de contacto evitando, al mismo tiempo, su fracturación.

continuación pasan a participar en mecanismos abrasivos. Esta deformación plástica de las partículas expuestas al desgaste conlleva un reacondicionamiento de la superficie, hasta que la fuerza incidente se reparte de forma uniforme en una superficie más extensa, de manera que el material se estabiliza y resiste nuevamente la presión.

Los patrones descritos fueron observados por Adams en instrumentos abrasivos accionados en dos sentidos, que sirvieron para el procesado de cereal, amaranto, arcilla cerámica y conchas. Hayden menciona formaciones de desgaste similares sobre superficies percusivas, tal y como lo describe para los filos de choppers metamórficos y de picos de basalto, utilizados en el reavivado, por percusión, de artefactos de molienda (Hayden 1987: 18-19).

Desde el punto de vista de las propiedades materiales, el requisito que ha de cumplir la roca para que se formen estos patrones sobre su superficie es la existencia de una granulometría fina y bien cohesionada.

Alteración térmica

Sobre las superficies de algunos instrumentos experimentales y arqueológicos, como alisadores y moldes de fundición, se han observado cambios cromáticos que afectan tanto a la matriz como a las inclusiones minerales de la roca. Consideramos que el mecanismo que interviene en el desarrollo de este patrón es una alteración química de la microtopografía por contacto con temperaturas elevadas que no podemos precisar. El único ejemplo experimental en el que se reconoce este patrón es el alisador de esquisto micáceo que se utilizó en contacto abrasivo con una barra de cobre precalentada a la brasa. Un segundo canto rodado de piedra esquistosa y grano más grueso que el anterior se accionó bajo las mismas condiciones de contacto continuo sin que llegase a desarrollarse el mismo patrón. La forja en caliente de la barra de cobre mediante impactos intermitentes con un martillo de microgabro y un yunque de gabro tampoco generó alteración térmica.

En definitiva, los requisitos que parecen propiciar este tipo de alteración son una exposición continuada de la superficie lítica al calor así como una granulometría fina de la roca.

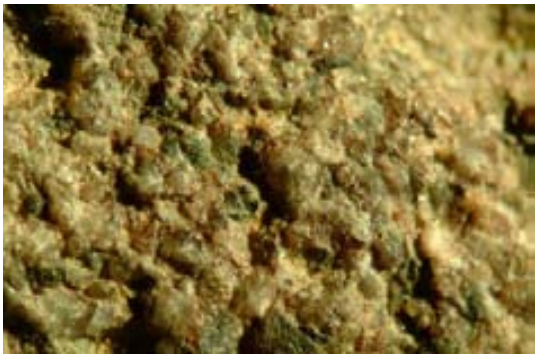
Residuos

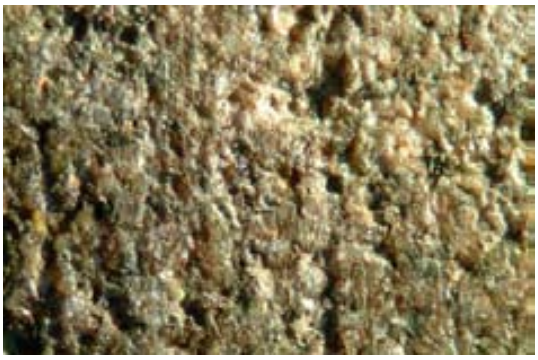
Los residuos son adherencias, por lo que hemos podido observar, procedentes de la sustancia trabajada que es insertada por presión en la microtopografía del instrumento lítico. La presencia de residuos en las superficies experimentales es mucho más frecuente que en las superficies arqueológicas. Sin embargo, prácticamente todas las tareas experimentales han generado residuos que han persistido sobre las superficies activas tras su lavado, por lo que parece evidente que la ausencia de restos de materias trabajadas en los casos arqueológicos se debe a procesos postdeposicionales que han contribuido a su eliminación. Todos aquellos experimentos relacionados con el procesado de cobre por abrasión y por percusión (adherencia de partículas cuprosas), el triturado de ocre, la molienda de cereal, el bruñido de cerámica y la obtención de desgrasante cerámico han dejado restos de las sustancias trabajadas. La excepción la forman la losa de caliza bioclástica utilizada en el triturado de ocre y de desgrasante, el

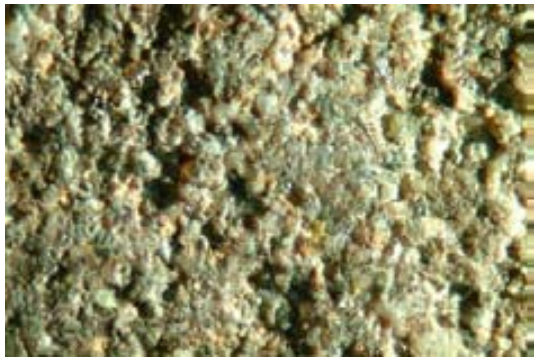
molino de micaesquisto granatífero y la placa de pizarra que se frotó contra un canto de arenisca. El trabajo de la piel y el reavivado de superficies de molienda son tareas que en ningún caso han dejado residuos reconocibles tras su lavado.

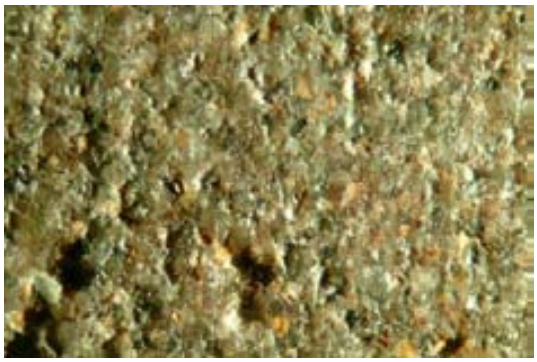
Hemos llamado *líneas de pigmento* a una forma específica en la que se adhieren las substancias procesadas a la superficie lítica. Se trata de residuos que han sido encajados por presión en la microtopografía, dibujando un trazado lineal en sentido del movimiento (Figura 2.2.45g).

MOLIENDA DE CEBADA DESNUDA


a


b


c


d

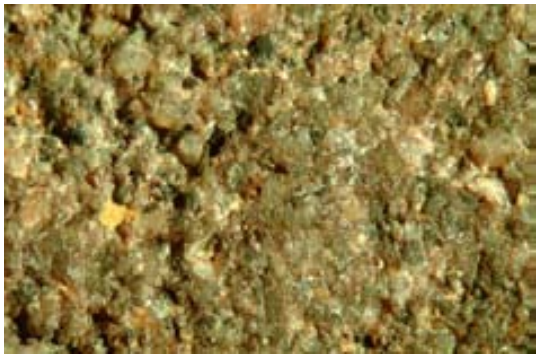
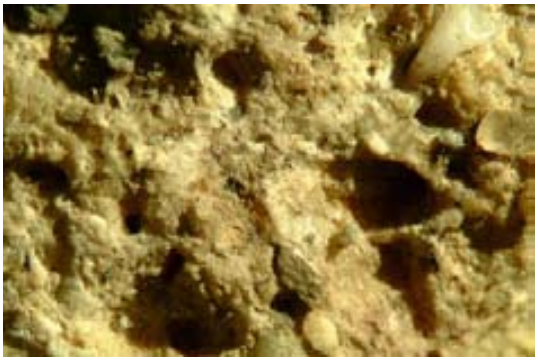
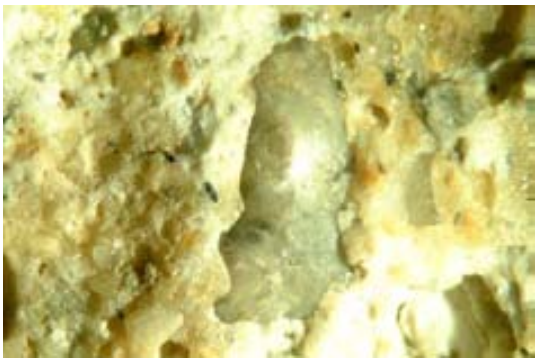

e

Figura 2.2.39: (a) Metapsamita, superficie natural (20x), (b) metapsamita, 75 minutos contra micaesquisto granatífero, superficie nivelada con estrías paralelas de trazado discontinuo (10x), (c) metapsamita, 30 minutos contra conglomerado, superficie ligeramente nivelada y granos de contorno nítido (10x), (d) metapsamita, 135 minutos contra micaesquisto granatífero, plano de homogenización de sección recta, intensamente nivelado con estrías apenas visibles (10x), (e) metapsamita, 90 minutos contra conglomerado, granos de contornos difusos sobre plano de homogenización de sección convexa, frente a granos de contornos nítidos en microtopografía baja (10x).

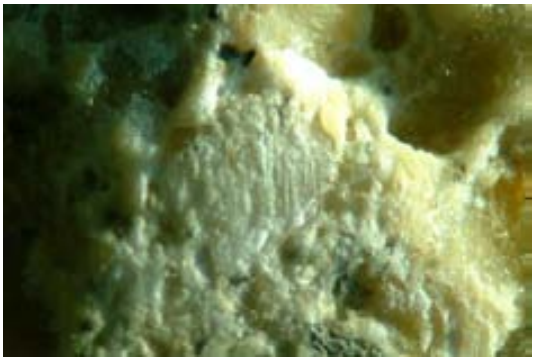
MOLIENDA DE CEBADA DESNUDA


a


b

c

d


e

f

g

Figura 2.2.40: (a) Conglomerado, superficie natural (10x), (b) conglomerado, 30 minutos contra madera, microfractura que afecta a cúspide de grano y a matriz embotados (10x), (c) conglomerado, 30 minutos contra metapsamita, inclusiones minerales niveladas (10x), (d) conglomerado, 60 minutos contra madera, cúspide de grano y matriz a la izquierda embotados, ligero lustre y residuos de cereal encajados en depresión (10x), (e) conglomerado, 60 minutos contra metapsamita, microestrías

paralelas sobre inclusión mineral (10x), (f) conglomerado, plano de homogenización con sección convexa (10x; Adams *et alii* en prensa), (g) conglomerado, inclusiones minerales de la fotografía c, arrasadas hasta el nivel de la matriz formando un plano de homogenización recto.

MOLIENDA DE CEBADA DESNUDA

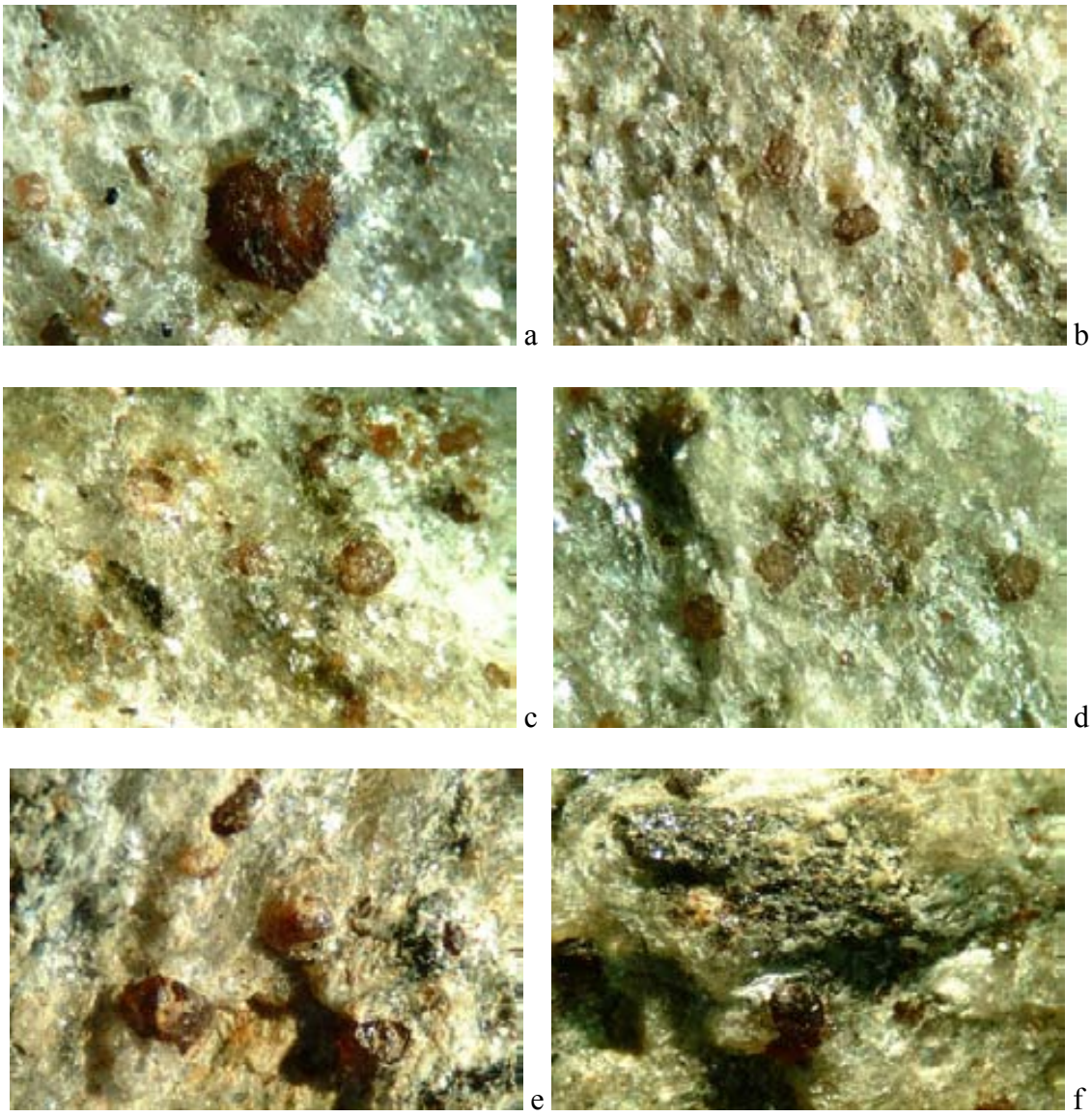


Figura 2.2.41: (a) Micaesquisto granatífero, 30 minutos contra madera, granate en relieve y ligeramente embotado (20x), (b) micaesquisto granatífero, 30 minutos contra metapsamita, granates ligeramente nivelados, aún expuestos en la microtopografía alta (10x), (c) micaesquisto granatífero, 60 minutos sobre madera, granates embotados sobre microtopografía de aspecto sinuoso (15x), (d) micaesquisto granatífero, 60 minutos contra metapsamita, granates y matriz micácea arrasados al mismo nivel y granate intacto en microtopografía baja a la izquierda de la fotografía (20x), (e) Micaesquisto granatífero, superficie natural (10x), (f) micaesquisto granatífero, 60 minutos contra metapsamita, inclusión esquistosa con residuos de harina (10x).

FORJA DE BARRA DE COBRE

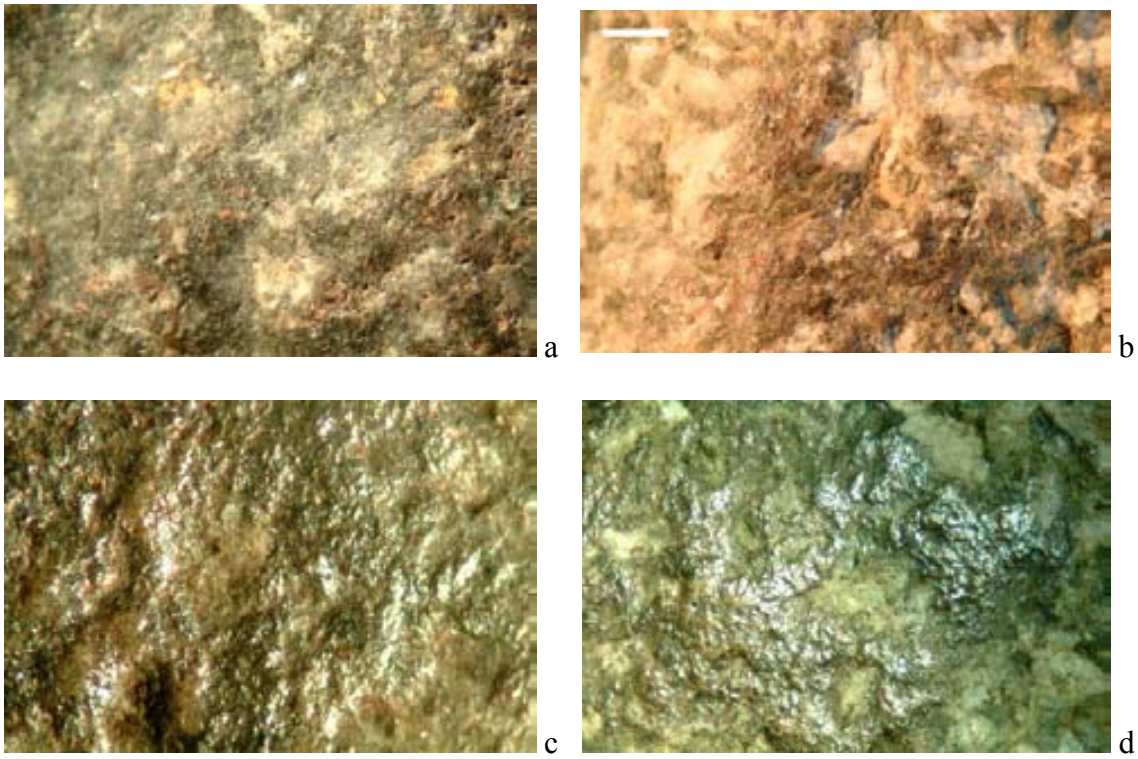
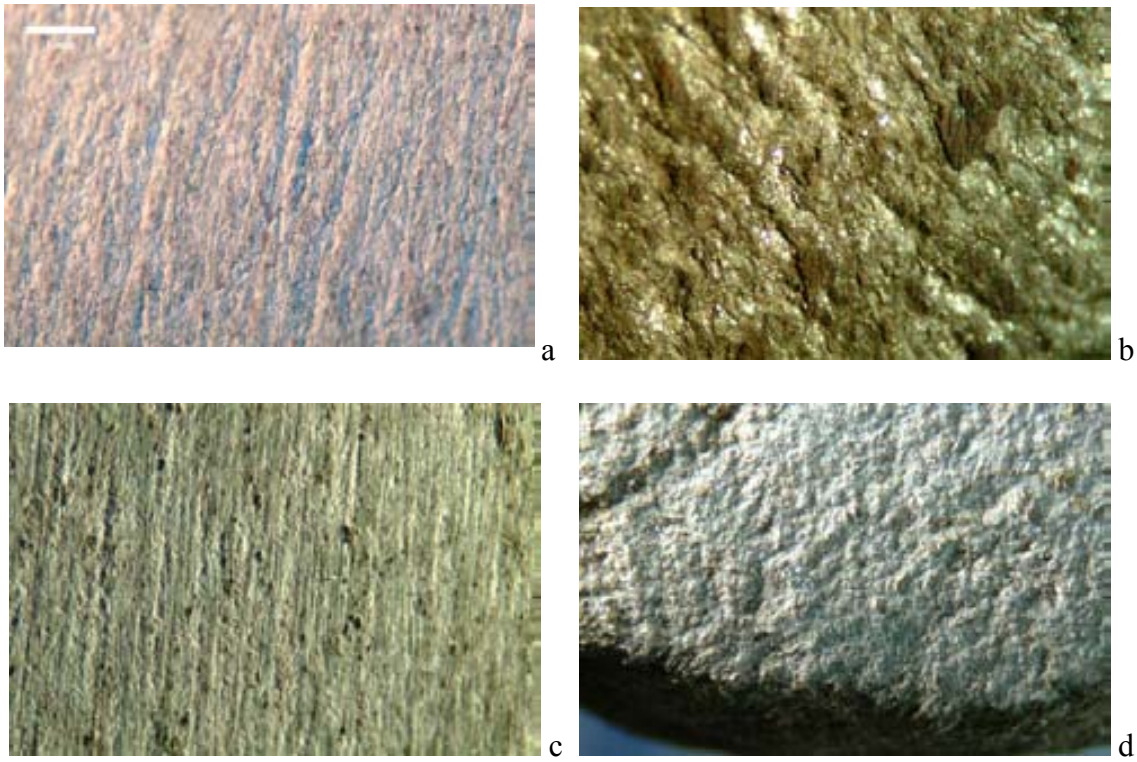


Figura 2.2.42: (a) Martillo de microgabro, 60 minutos, adherencias de cobre sobre frente de percusión (10x; Delgado y Risch 2006: lám 4c), (b) yunque de gabro, 60 minutos, adherencias de cobre sobre frente de percusión (10x; Delgado y Risch 2006: lám 4d), (c) martillo de microgabro, 120 minutos, lustre, partículas cupríferas sobre superficie embotada (10x), (d) yunque de gabro, 120 minutos, lustre de trama cercana sobre protuberancias embotadas (10x).

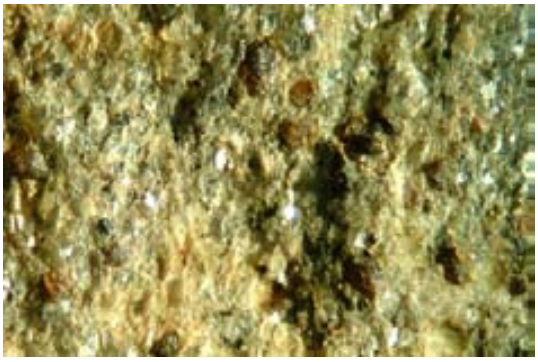
PULIDO DE LÁMINA DE COBRE

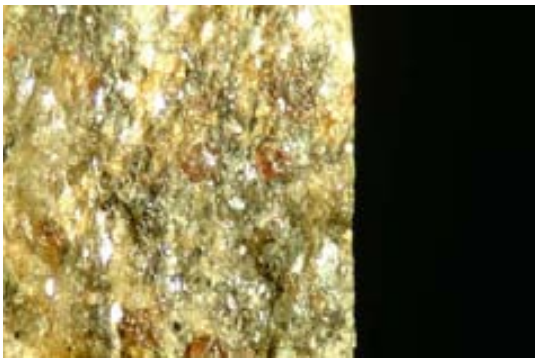


a b c d

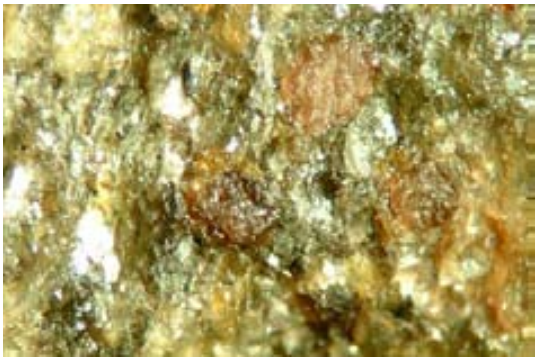
Figura 2.2.43: (a) Esquisto micáceo, 120 minutos contra lámina de cobre en caliente, estrías largas y anchas sobre microtopografía rugosa (Delgado y Risch en prensa; 10x), (b) esquisto psamítico, 120 minutos contra lámina de cobre en caliente, residuos de cobre cubiertos de microestrías en dirección del movimiento y oblicuas a la esquistosidad (15x), (c) esquisto micáceo, 60 minutos contra lámina de cobre en frío, estrías cortas y finas sobre microtopografía lisa (10x), (d) esquisto psamítico, 60 minutos contra lámina de cobre en frío, con aspecto alisado (10x).

TRABAJO DE LA PIEL


a


b

c


d

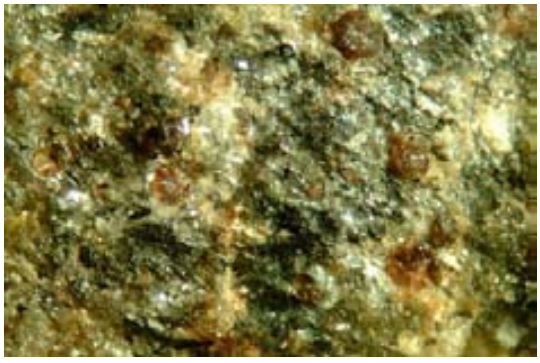

e

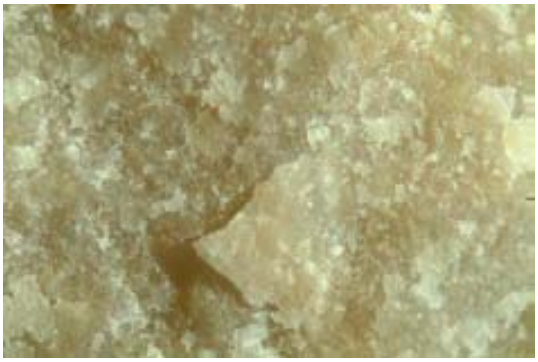
Figura 2.2.44: (a) Micaesquisto granatífero, superficie natural (10x), (b) micaesquisto granatífero, 90 minutos contra piel seca, microtopografía sinuosa e intensamente lustrada (10x), (c) micaesquisto granatífero, 60 minutos contra piel fresca, granates ligeramente redondeados y lustrados (20x), (d) micaesquisto granatífero, 90 minutos contra piel seca, aspecto graso de la microtopografía y granates embotados (20x), (e) micaesquisto granatífero, 60 minutos contra piel fresca, los granates permanecen en relieve y el lustre no es tan intenso como en el contacto con la piel seca (10x).

OBTENCIÓN DE OCRE

Figura 2.2.45: (a) Caliza bioclástica, superficie natural (10x), (b) mármol, superficie natural (10x), (c) caliza bioclástica, 30 minutos contra mármol, acentuación de la superficie accidentada por extracción de materia (10x), (d) mármol, 30 minutos contra caliza bioclástica, estrías de trazo discontinuo, fosillas y residuos de óxido de hierro (10x), (e) caliza bioclástica, 60 minutos contra mármol, fracturas escalonadas (10x), (f) mármol, 60 minutos contra caliza bioclástica, residuos de óxido de hierro sobre

microtopografía alta (zonas grisáceas) y en fondo de fosillas (zonas blancas; 15x), (g) caliza bioclástica, 90 minutos contra mármol, líneas de pigmento cortas (20x), (h) mármol, 90 minutos contra caliza bioclástica, fosilla en cuña (10x).

OBTENCIÓN DE DESGRASANTE DE CALCITA


a

b

c

Figura 2.2.46: (a) Caliza silificada, superficie natural (10x), (b) caliza bioclástica, 30 minutos contra caliza silificada, cúspide fracturada (las manchas negras son impurezas de la superficie debidas a procesos naturales previos a la experimentación; 10x), (c) caliza silificada, 30 minutos contra caliza bioclástica, polvo de calcita de color blanco, depositado en la microtopografía baja; las fracturas escalonadas fueron obtenidas previamente mediante percusión tipo piedra contra piedra (10x).

BRUÑIDO DE CERÁMICA

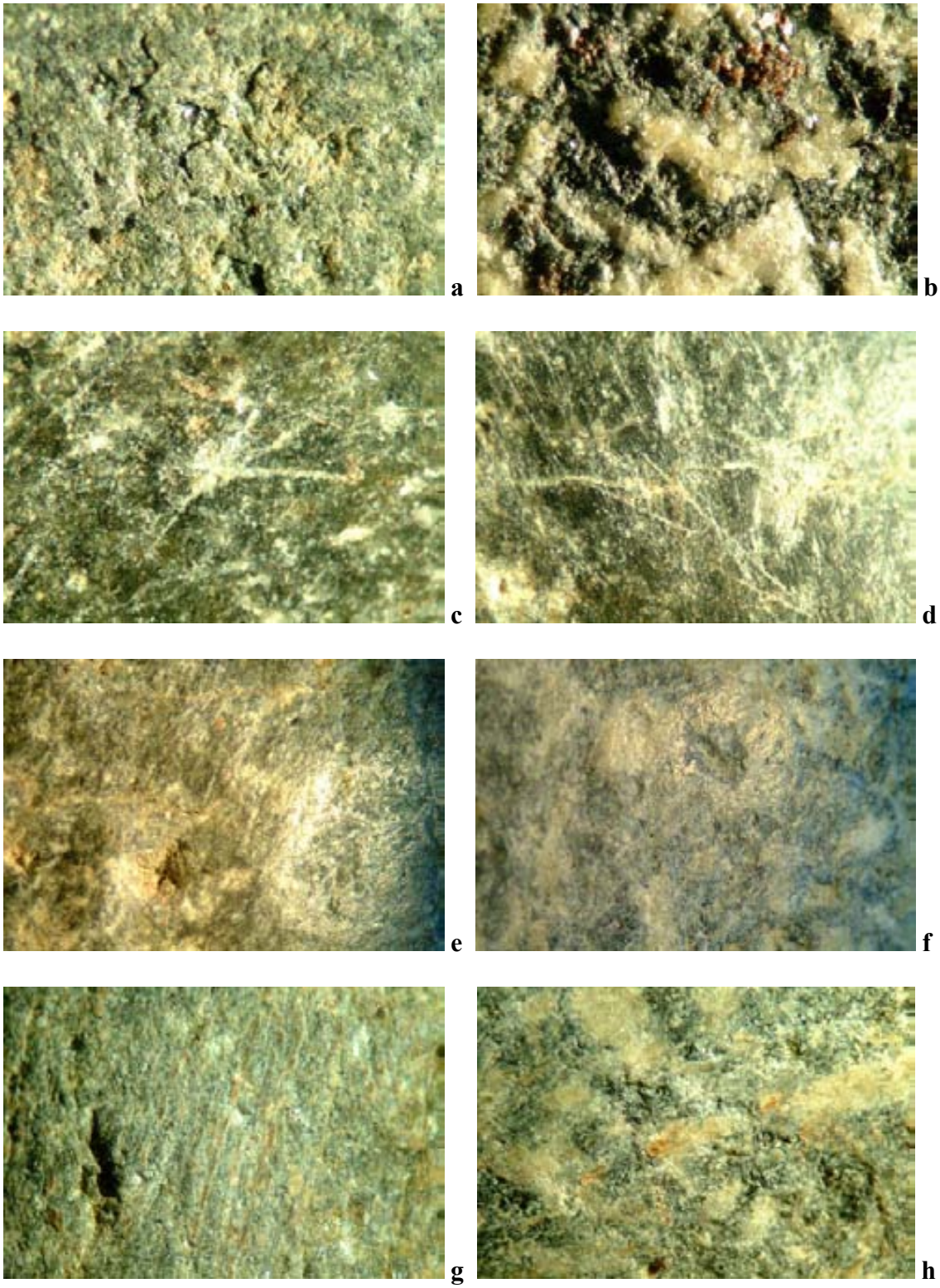


Figura 2.2.47: (a) Microgabro, superficie natural (20x), (b) gabro, superficie natural (20x), (c) microgabro, 120 minutos, fosilla en estrella (20x), (d) microgabro, 120 minutos, estrías (15x), (e) microgabro, 120 minutos, alisado y lustre de trama conexa (20x), (f) gabro, 120 minutos, alisado y lustre de trama inconexa (1x), (g) microgabro, 150 minutos, "líneas de pigmento" sobre microtopografía alisada (15x), (h) gabro, 150 minutos, "línea de pigmento" (15x).

REAVIVADO DE SUPERFICIE DE MOLIENDA

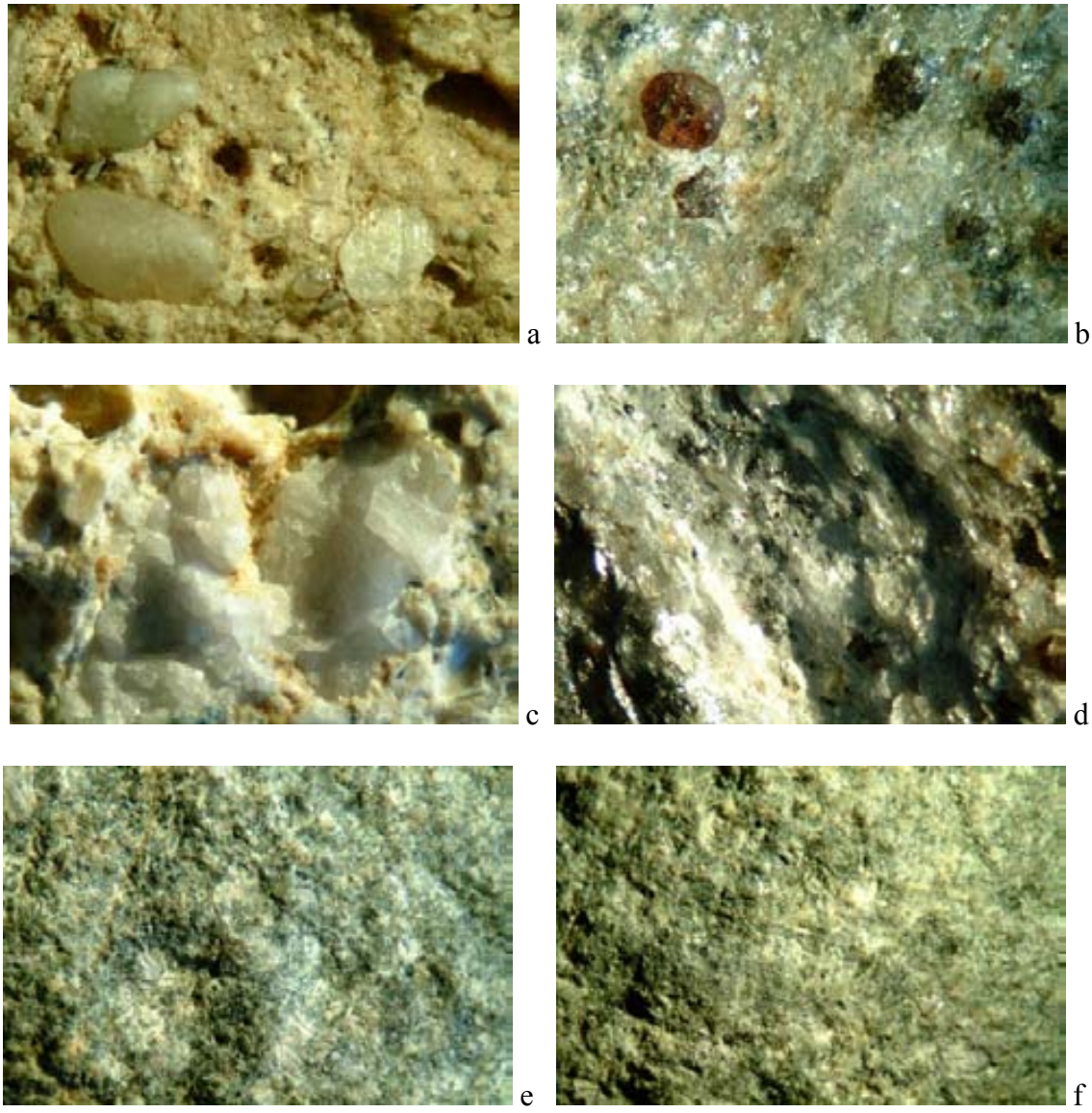


Figura 2.2.48: (a) Conglomerado, superficie natural (10x), (b) micaesquisto granatífero, superficie natural (10x), (c) conglomerado, 15 minutos contra gabro, inclusiones minerales microfracturadas formando fosillas de diversas morfologías (10x), (d) micaesquisto granatífero, 15 minutos contra gabro, fractura escalonada favorecida por la esquistosidad de la matriz micácea (10x), (e) Gabro, 15 minutos, fosillas amplias y profundas formadas por la percusión contra un molino de conglomerado (10x), (f) gabro, 30 minutos, fosillas formadas por la percusión contra un molino de micaesquisto granatífero (10x).

TRABAJO DE LA PIEDRA

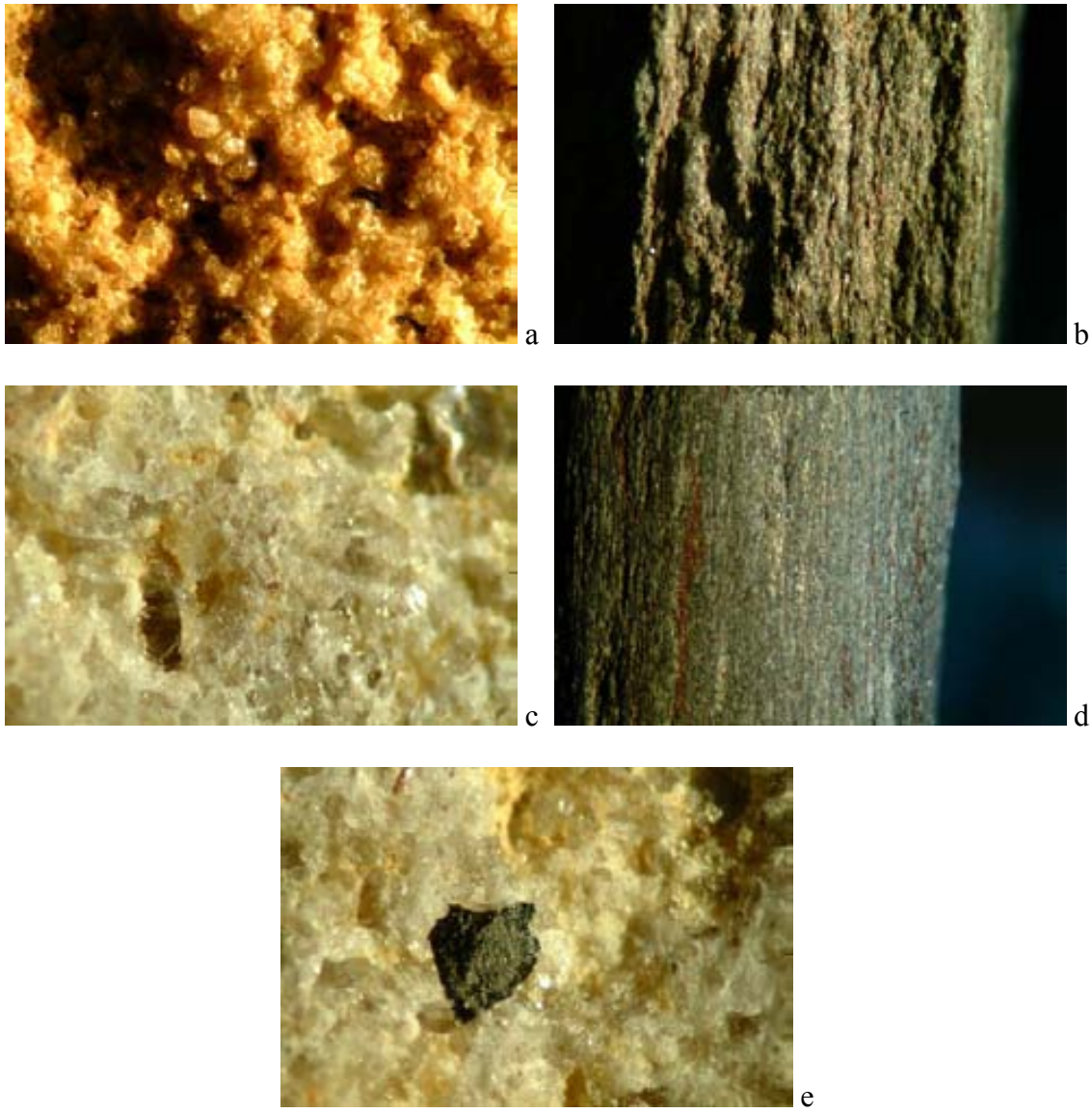


Figura 2.2.49: (a) Arenisca, superficie natural (10x), (b) pizarra, superficie natural (10x), (c) arenisca, 30 minutos contra pizarra, superficie arrasada y estriada (30x), (d) pizarra, 30 minutos contra arenisca, superficie nivelada y ligeramente lustrada (10x), (e) arenisca, grano nivelado y estriado en el interior de la ranura (30x).