

PERFORACIÓN MANUAL *VERSUS* PERFORACIÓN MECÁNICA EN LA PREHISTORIA. APORTACIONES DESDE LA TRACEOLOGÍA

Manual drilling *versus* mechanical drilling in Prehistory.
Contributions from Traceology

CARMEN GUTIÉRREZ SÁEZ *, PEDRO MUÑOZ MORO *,
MARÍA CRISTINA LÓPEZ RODRÍGUEZ * e IGNACIO MARTÍN-LERMA **

Resumen: Los estudios funcionales están aportando un conocimiento más exhaustivo de la tecnología prehistórica gracias a detallados análisis de materiales arqueológicos, bien contrastados con conjuntos experimentales. En este trabajo nos centramos en una actividad específica como es la perforación por rotación. Hemos querido comprobar tanto la eficacia de la rotación manual frente a la de los taladros de arco y bailarina, de giro continuado, como las huellas derivadas de cada una. Hemos usado estos sistemas con perforadores experimentales de piedra y metal ampliando el catálogo de huellas funcionales, ya iniciado por otros autores. El análisis funcional posibilita detectar, además, el sistema empleado en las labores de perforación que alude a herramientas simples en perforación manual o complejas como taladro de arco y bailarina en sistemas mecánicos, realizados a partir de elementos orgánicos y que no permanecen en el registro arqueológico.

Palabras clave: Perforador, Broca, Punzón metálico, Taladro de arco, Bailarina, Huellas de uso.

ABSTRACT: Functional studies are providing a more thorough knowledge of prehistoric technology thanks to detailed analysis of archaeological materials well contrasted with experimental collections. In this paper, we focus on a specific activity, the perforation by rotation. We wanted to prove both the efficacy of the manual rotation compared with that of the bow-drills and pump-drills, with a continued rotation, and the resultant

* Dpto. de Prehistoria y Arqueología, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid. *carmen.gutierrez@uam.es; pedro.munnoz@predoc.uam.es; mariacristina.lopez@predoc.uam.es*

** Dpto. de Prehistoria, Arqueología, H.^a Antigua, H.^a Medieval y CCTT Historiográficas, Universidad de Murcia (España). *ignacio.martin@um.es*

Fecha de recepción: 04-06-2016. Fecha de aceptación: 09-01-2017.

use-wear patterns. We have used these systems with experimental perforators of stone and metal to expand the catalogue of functional traces, already proposed by other authors. Furthermore, the functional analysis allows the detection of the system used in the drilling tasks. This refers to simple tools in manual or complex drilling, such as bow-drill and pump-drill in mechanical systems, which are made from organic elements and are not preserved in the archaeological record.

Key words: Perforator/Borer, Drill Bit, Metal Awl, Bow-Drill, Pump-Drill, Use-Wears.

1. INTRODUCCIÓN

Entre los distintos materiales arqueológicos que nos quedan de las sociedades prehistóricas, algunos muestran ciertos tipos de perforación por rotación intencionada. El motivo general parece ser la suspensión de ese material en algún tipo de cordaje o la inserción en un ropaje u objeto mediante cosido o atado. Entre los objetos más comunes con perforaciones se desarrollan abundantes elementos de adorno personal sobre materias primas muy diversas, pero también otros con finalidades distintas como los brazales de arquero, los llamados ídolos placa del mundo megalítico, las oquedades para los remaches metálicos o algunas cerámicas reparadas, las conocidas lañas, entre otros. Más abundante debió de ser el perforado de materias perecederas, como maderas y pieles, con fines diversos. La tradición de perforar los materiales se remonta a los orígenes de los humanos modernos en África entre 120-60 ka (Henshilwood y Lombard, 2014), si bien su desarrollo en Eurasia es común a partir del 40 ka.

Durante el Paleolítico superior, además de herramientas como agujas y armas como arpones, hay ingentes cantidades de elementos de adorno perforados en concha, asta, marfil y diversos tipos de roca. Para la perforación por rotación, los útiles de trabajo son bastante sencillos pero eficaces y se limitan a perforadores líticos de punta corta y algunos becs (Avezuela *et al.*, 2011). En algún caso, se han utilizado pequeños elementos apuntados como pueden ser los golpes de buril (Martín, 2015). El grueso del trabajo se realizaría manualmente haciendo el útil perforante directamente con la mano, o insertado en un mango, y la labor requeriría un importante esfuerzo muscular, al menos en las materias más duras. En Kostenki XVII en el Paleolítico superior temprano (Boriskovskii, 1963; Hoffecker y Holliday, 2013) hay referencias al uso de un taladro rotatorio manual. Semenov (1981:151) indica para algunas piezas de este yacimiento, así como para unos discos perforados de Kostenki IV, el empleo de un perforador insertado en una varilla con movimiento bidireccional rotado por las manos, pero añade que su alcance es limitado al no poder aplicar mucha fuerza.

A partir del Neolítico los perforadores líticos diversifican su morfología y dimensiones. Es especialmente significativo el desarrollo de los denominados “taladros”, de punta muy larga en relación a los perforadores (Juan Cabanilles, 2008). Igualmente aparecen auténticas “brocas” a partir de laminillas espesas de superficie pulida desde el Neolítico antiguo en Mezraa Teleilat, Turquía (Coşkun, 2008:29) o en el Neolítico más avanzado de Gavá (Noáin 1996:51). Finalmente abundan

“microperforadores” y “microtaladros” de reducido tamaño en varios conjuntos neolíticos de Franchthi (Grecia), Schela Cladovei (Rumanía) o Kovacevo (Bulgaria) (Gurova *et al.*, 2014). Esta diversidad parece ligada al desarrollo de herramientas mecánicas compuestas para perforar, como el taladro de arco y el de disco o bailarina que empezarían a sustituir los más tradicionales perforadores manuales y taladros de varilla. La presencia de arcos está documentada en el yacimiento neolítico de Balajni y en la cueva Djebel, ambos en Turkmenistan (Semenov, 1981:155). En Tell Mureybet (Siria), los perforadores gruesos y cortos de perfil menos simétrico desaparecen entre el PPNA y PPNB lo que se ha interpretado como la sustitución del sistema manual por el mecánico (Ibáñez *et al.*, 2007:157).

Se ha identificado el uso recurrente de punzones metálicos como elementos perforantes en conjuntos ornamentales alicantinos y albaceteños de la Edad del Bronce (Barciela, 2015). Sin embargo, no está claro cuando se empieza a aplicar el metal a esta labor, pese a que a lo largo de esta etapa y con la consolidación de la metalurgia, esta materia irá sustituyendo definitivamente a la piedra y al hueso para la elaboración de adornos, armas y herramientas. Faltan estudios traceológicos detallados del empleo del metal como perforador, en comparación con los líticos, que nos permitan establecer claramente esta sustitución del utillaje.

Para adentrarnos en estas cuestiones y tratar de discriminar el sistema de rotación empleado, manual o mecánico, así como el tipo de punta, lítica o metal, hemos abordado una experimentación paralela de elementos perforantes en sílex y bronce utilizados con ambos procedimientos. La vía para identificarlos y reconstruir el proceso tecnológico sobre material arqueológico, es a partir de las huellas de manufactura conservadas en los propios orificios perforados, al menos cuando un uso intenso o un fuerte proceso postdeposicional no hayan borrado estos vestigios. A ello hay que unir el estudio funcional de los posibles instrumentos en metal y piedra de los contextos asociados. Estas huellas arqueológicas deberán ser contrastadas con los resultados del programa experimental.

2. LA EXPERIMENTACIÓN

Esta experimentación tiene como objetivo documentar estos trabajos y hacer un estudio comparativo de la eficacia entre punzones de metal y perforadores de sílex. En este sentido se han analizado, por un lado, las huellas de uso resultantes en los útiles de trabajo y por otro, las perforaciones y los estigmas generados en ellas. Igualmente, se emplean distintos instrumentos, simples y complejos, para realizar las perforaciones de manera que puedan compararse los mismos en términos de efectividad.

2.1. Las variables independientes

Si atendemos a las variables independientes trabajadas son las comunes en una experimentación de funcionalidad. Con el conjunto de variables se ha desarrollado

un programa con un total 49 experimentos (tabla 2). Para los útiles de perforar, las materias primas empleadas han sido el sílex y bronce. Todas estas variables se explican a continuación.

2.1.1. *Materia prima de los perforadores*

2.1.1.1. Los perforadores líticos

Los perforadores de sílex se han realizado sobre soportes laminares y lascas apuntadas (lám. 1). Para fabricar la parte activa se utilizó la presión con asta obteniendo un retoque abrupto. Así mismo se utilizó como subvariable la dirección del retoque, distinguiendo entre unifacial y bifacial. En algunos casos, para acomodar la zona pasiva del útil al mango del instrumento, las piezas fueron fracturadas intencionalmente mediante percusión directa con percutor duro.

Para la configuración de los distintos perforadores líticos se ha optado por seguir la clasificación propuesta por Juan Cabanilles (2008), basada a su vez en las sugerencias de Cauvin (1968:115) con esquemas puramente morfológicos. En ella se especifican dos tipos de instrumentos, perforadores y taladros, aunque morfológicamente ambos coinciden en el apuntamiento intencional por retoque de alguno de sus extremos, siendo este, aparentemente, la parte funcional principal del instrumento.

- ✓ Perforadores: se definen como “*lasca, lámina o laminita presentando un saliente aguzado recto, desviado o incurvado, de dimensiones pequeñas, netamente despejado por retoques bilaterales*” (Juan Cabanilles, 2008:41). Para esta morfología, Juan Cabanilles registra el destaque de la punta o saliente de forma clara marcando un espaldón u hombro. Esta punta siempre es de longitud inferior a la del resto del cuerpo del soporte.
- ✓ Taladros: se trataría de “*hojas u hojitas, raramente lascas, parcial o totalmente apuntadas por retoque abrupto bilateral*” (Cauvin, 1968:154 cita en Juan Cabanilles, 2008:41). En los taladros el apuntamiento no debe dibujar un espaldón, aunque esta característica es admisible cuando la parte apuntada es mayor que el resto del cuerpo en reserva.

Tomando esta distinción morfológica como punto de partida, se fabricaron un total de 24 útiles. Los aspectos funcionales relativos a la eficacia de ambos tipos serán comentados más adelante.

2.1.1.2. Los punzones metálicos

Los punzones empleados son elementos de base cobre (Cu), aleados con estaño (Sn). Para la elección de los porcentajes de la aleación, nos hemos basado en ejemplares similares estudiados por Rovira Lloréns y Gómez Ramos (2003).

Es común en la metalurgia prehistórica inicial que el metal sea cobre arsenicado, con porcentajes de arsénico en torno a 2% (Rovira *et al.*, 2003). Para replicar esto, hemos hecho una serie de 12 punzones con una aleación de cobre al 2% de estaño dado que las características mecánicas serían similares a las del cobre arsenicado (Northover, 1989:113). Con el objetivo de comparar la dureza y la deformación de ambas series en las mismas condiciones de uso, decidimos hacer otro pequeño conjunto de 10 punzones al 8% de estaño, acorde con una tecnología prehistórica de Bronce pleno en la Península Ibérica.

La fabricación de los punzones ha constado de tres fases: fundición con vertido en molde de arena, forja sobre yunque en frío y pulido de las superficies para regularizar la forma (lám. 2). La dureza de las piezas metálicas depende tanto de la intensidad de los procesos postfundición, principalmente la forja, como del porcentaje de estaño, siendo más duras las piezas con mayor contenido de este metal (Montero Ruiz, 2010:171). Todos los punzones han sido elaborados con el mismo procedimiento por lo que las diferencias de dureza de las piezas dependen, en este caso, del contenido en estaño y no del proceso tecnológico.

Para la tipología de los punzones metálicos se ha tomado como base la elaborada por Pérez Arrondo y López De Calle Cámara (1986). En esta clasificación se hace hincapié en las bases y en las secciones de los punzones. Los empleados en la experimentación son del tipo *P230*, del grupo de “punzones de base truncada”, con sección cuadrangular en la parte mesial y circular en la distal. Se ha mantenido la base truncada, pero haciendo sección cuadrangular en toda la pieza.

TABLA 1
MEDIDAS DE LOS PUNZONES

	Longitud	Anchura	Peso
Cu+Sn 2%	39.22 mm	3.55 mm	3.89 gr
Cu+Sn 8%	32.72 mm	3.91 mm	3.87 gr

Las medias de peso y tamaño de los punzones experimentales, en la tabla 1, se han elaborado a partir de las recogidas en los estudios de Rovira Lloréns *et al.*, (2003) para cada período cronológico. Para el Calcolítico hay una media de 78,3 mm de longitud, 3,7 mm de grosor y 3,9 gr de peso. En el Bronce antiguo las medidas son de 74,4 mm de longitud, 4,3 mm de grosor y 3,7 gr de peso. Se ha respetado el peso y la anchura de los punzones, pero hemos optado por acortar la longitud puesto que, en nuestro caso, los punzones han sido utilizados a modo de brocas.

2.1.2. *Materia Trabajada (M.T.)*

Las perforaciones se han realizado sobre placas de hueso, arenisca y variscita.

- ✓ *Hueso*: constituye la materia más blanda que se ha perforado durante la experimentación. Se han escogido fragmentos de huesos largos de vacuno. Su dureza en hueso fresco ha sido estimada en 2.5 alcanzando a 3 en el hueso hervido (Carrera, 2013).
- ✓ *Arenisca* (SIO₂): se trata de una roca de carácter sedimentario, de origen mecánico, tipo detrítico y dureza 3-4 en la escala de Mohs. Son arenitas que tienen granos de diversos tamaños a base de cuarzo, feldespato, mica o calcita y unidos mediante un cemento formado por sílice (Mottana *et al.*, 1997:431-432).
- ✓ *Variscita* (Al[PO₄]·2H₂O): De dureza 4-5 en la escala de Mohs. Es un mineral compuesto de fosfato de aluminio di-hidratado de color verde-azulado, aunque puede variar hasta un color rojizo. Es una piedra semidura, no exfoliable que rompe con fractura concoide en superficies muy lisas (Mottana *et al.*, 1997: lámina 147). Es un fosfato parecido al ópalo formado por la circulación de aguas fosfatadas sobre rocas ricas en aluminio (Medembach y Sussieck-Fornefeld, 1990:180).

2.1.3. Aditivos (*Ad.*)

Con el objetivo de comparar la facilidad de perforación y las huellas resultantes tanto en los perforadores como en las propias perforaciones, se han probado tres modalidades: directamente sin aditivos, añadiendo agua en unos casos y arena en otros.

2.1.4. La acción (*Acc*)

Para realizar las perforaciones se han empleado tres métodos (lám. 3):

- ✓ Perforación Manual (P.M.): el perforador se introduce en un mango asido directamente con la mano, que trabaja mediante presión con un movimiento rotatorio bidireccional, con giros alternativos de 180° cada uno.
- ✓ Perforación con taladro de arco (P.A.): el uso del arco está documentado etnográficamente (Noaín Maura, 1996:53) y ha aparecido en varios yacimientos de cronologías neolíticas (Semenov, 1981). Se trata de un vástago de madera en cuyo extremo inferior se inserta el perforador. Este vástago que actúa de eje vertical va enrollado a la cuerda de un arco colocado transversalmente al mismo. Mediante un movimiento de vaivén realizado con el arco, el eje vertical rota de forma bidireccional, pero debe ser sujetado en el extremo superior por un mango o tope de piedra, madera o cuero. En los arcos contruidos por nosotros el movimiento era de dos giros completos consecutivos (360°+360°) en ambos sentidos.
- ✓ Perforación con taladro de disco o bailarina (P.B.): documentada también etnográficamente (Arenas y Bañolas, 1989:50; Noaín, 1996:53), consiste en

un travesañ de madera horizontal en cuyos extremos se atan los remates de una cuerda insertada en una varilla vertical; esta varilla que actúa de eje, atraviesa el centro del travesañ horizontal y en su extremo inferior hay una caja en la que embute el perforador. En el tercio inferior de esta misma varilla se coloca un peso para favorecer la inercia rotatoria. El movimiento rotatorio se consigue aplicando fuerza con el travesañ horizontal hacia la parte inferior del eje vertical para que la cuerda se enrolle en su parte superior. Después con rapidez se levanta el travesañ, lo que permite que la cuerda se enrosque en sentido contrario y se repite el movimiento hacia abajo (Muñoz, 2015). Con esta modalidad se consiguen dos tipos de movimiento, uno giratorio de presión y otro de percusión en sentido vertical, incentivado por el peso de los elementos insertados en el eje. Su movimiento se basa en la ley de la inercia (Semenov, 1981:157). En las bailarinas que hemos construido los giros son de $360^{\circ}+180^{\circ}$ aproximadamente en ambos sentidos.

Debemos puntualizar que tanto para el arco como para la bailarina, la rotación hace una o más vueltas completas dependiendo de la longitud de la cuerda. En nuestro caso el arco giraba 2 vueltas y la bailarina una y media. Como se verá en el estudio de las huellas, este aspecto influye en el recorrido de las estrías.

2.1.5. Tiempo (T)

Los perforadores líticos se han trabajado durante 1 hora en dos intervalos de 30 minutos en que fueron limpiados y analizadas las huellas con el microscopio. Los metálicos, por su parte, trabajaron los 60 minutos seguidos.

TABLA 2
CUADRO DE VARIABLES INDEPENDIENTES



2.1.6. *Limpieza y medios de observación*

Previamente a cada observación y registro de huellas las piezas fueron limpiadas con dos procedimientos. Para los perforadores líticos se aplicó un baño en cubeta de ultrasonidos con detergente neutro (Tween) seguido de una inmersión de 10 minutos en ácido acético al 10% y otra posterior de agua oxigenada al 10% el mismo período de tiempo. El metal se limpió únicamente con un baño en cubeta y el mismo detergente.

Los medios de observación fueron una lupa triocular estereoscópica WILD (M3C) y un microscopio petrográfico LEICA (modelo LEITZ M3C) a los que se adaptó una cámara digital Canon EOS 500D con el programa EOS Utility 2. Para cada imagen se obtuvieron varias fotografías en serie tratadas con Helycon focus 5.0.

3. LAS HUELLAS GENERADAS: LAS VARIABLES DEPENDIENTES

Como hemos indicado anteriormente, los análisis de huellas se han efectuado no sólo en los instrumentos líticos y metálicos empleados en el trabajo, sino también a las perforaciones llevadas a cabo con ellos.

3.1. Los instrumentos

3.1.1. *Los perforadores líticos*

Si atendemos a la configuración de la zona activa, los perforadores de sílex muestran un ápice deformado por el uso que se traduce en un embotamiento intenso. Éste, que aporta al extremo apical una forma fuertemente redondeada, tiene dos variantes en función de si la rotación ha sido manual o mecánica.

Los perforadores empleados manualmente presentan un tipo de modificación sin morfología circular, ya que en estas piezas la intensidad del trabajo es menor lo que provoca un ápice más irregular constituido por una franja curvada (lám. 4:3, 4:4 y 4:7). Entre las piezas con trabajo mecánico, esta modalidad sólo se ha documentado en un perforador que trabajó arenisca insertado en un arco. El aspecto de las huellas, con presencia de macroescamas, recuerda a las características de los percutores. Hay un ápice plano con borde embotado que trabajó variscita (lám. 4:8).

En todas las piezas que han trabajado con bailarina, y casi todas las de arco, el ápice adquiere forma esférica (láms. 4 y 5) donde, a menudo, el pulimento y las estrías tienen una distribución concéntrica en torno al eje central (lám. 6:5 y 6:6), incluso con la mitad del tiempo trabajado (lám. 6:2, 6:3, 6:4 y 6:6), que derivan de la rotación continua del taladro (Groman-Yaroslavski y Bar-Yosef, 2015:86).

En dos piezas (lám. 6:2, 6:3 y 6:4) hay fuertes surcos circundando el eje del ápice. Esta característica ya destacada por Semenov como indicativa del empleo de taladro con arco, ha sido encontrada también en perforadores manuales por Coşkun

(2008:33), aunque indica que en estos el trazado de las estrías es incompleto e irregular. Para Groman-Yaroslavski y Bar-Yosef (2015:86) los surcos profundos se forman por una punta perforante irregular que debería ser retocada, mientras que los anillos de diferentes profundidades en torno al ápice son provocados por la mezcla de aditivos de grano fino y grueso.

Los casos más intensos de deformación se producen con el empleo de la bailarina y el añadido de aditivos, agua o arena, para hacer avanzar la acción y resultan menos pronunciados al sustituir la bailarina por el arco. Tanto con un instrumento como con el otro, el agua provoca una alteración del ápice más acusada, a la vez que facilita en mayor medida la perforación, llegando a eliminar las aristas de los bordes contiguos al ápice.

3.1.1.1. Huellas

Su presencia es muy variable a lo largo de los distintos bordes. Las huellas son pulimento, embotamiento, estrías y otras como desconchados y/o macroescamas.

En los ápices destaca el embotamiento que, como se ha comentado, provoca una remodelación de toda la zona en diversas piezas. También se aprecia pulimento intenso, pero únicamente en 4 piezas, todas trabajadas sobre arenisca, 3 de ellas utilizando agua o arena mediante arco y bailarina y la cuarta sin abrasivo perforando con bailarina. Las perforaciones manuales apenas han desarrollado pulimento a pesar de la fricción y el redondeamiento generalizado, como también han señalado Unger-Hamilton *et al.* (1989:145) y Gurova y Bonsall (2017:163 y 166).

Las áreas de los bordes más próximas al ápice ofrecen, un panorama similar. Hay una mayor incidencia del pulimento en las piezas que han trabajado arenisca con bailarina y, claramente con el añadido de abrasivos tanto empleando bailarina como arco. Los pulimentos bien desarrollados son los más escasos y alcanzan únicamente al 12,5% de los ápices frente a la presencia de aquellos de escaso desarrollo (26,0%) o brillo indefinido (18,7%). Un 38,5% de los bordes carece de esta huella. Además, el pulimento es más frecuente sobre ambas caras de un borde, generalmente el izquierdo, y la arista dorsal próxima a ese mismo borde. El embotamiento, por su parte, no siempre es apreciable según nos alejamos del extremo apical, pero tiende igualmente a concentrarse sobre ambas caras del borde izquierdo y especialmente en la arista dorsal izquierda cuando esta es pronunciada.

Las estrías más detectadas son las típicas de percusión, tanto aditivas como en cinta, propias de bordes retocados (lám. 4:6). Las estrías de uso varían en relación a la intensidad del pulimento. En áreas poco pulimentadas se observan escasas estrías, tanto de fondo oscuro como claro y con posición perpendicular o ligeramente oblicua al eje de la pieza y, en algún caso sobre las aristas laterales (lám. 1:3). En zonas de pulimento intenso sobre el ápice hay presencia múltiple de estrías de fondo oscuro, muy finas y concéntricas, asociadas a numerosos rasgos lineares en la misma dirección (lám. 6:5). Hay un único caso donde la posición de las estrías varía y es en un perforador usado para trabajar variscita con arco en cuyo ápice se

observa un pulimento estriado que en vez de ser concéntrico muestra una disposición lineal (lám. 5:8). Cabe insistir también en la presencia de auténticos surcos (lám. 6:2, 6:3 y 6:4) formados ya a la media hora del trabajo sobre dos piezas que trabajaron arenisca con bailarina.

Otras huellas percibidas son los desconchados y las macroescamas. Los primeros son difíciles de atribuir al uso, teniendo en cuenta que se trata de ápices con retoque tanto unifacial como bifacial. Hemos detectado abundantes macroescamas, que constituyen el inicio de desgajamiento de una esquirla y son comunes sobre todos los bordes laterales (lám. 4:5), así como en los ápices de las piezas trabajadas manualmente (lám. 4:3, 4:4 y 4:7). Es común también que entre ellas queden atrapados residuos microscópicos de las materias trabajadas a pesar de que las piezas han sido limpiadas con un ácido seguido de una base.

En general las huellas más pronunciadas aparecen circundando el extremo apical y escasean sobre los bordes laterales y aristas dorsales contiguos. La transición suele ser atenuada, con una pérdida gradual de intensidad, excepto en aquellos casos donde la presencia de zonas cóncavas por retoque marca una diferencia acusada entre las zonas pulidas y no pulidas (lám. 5:4). La presencia casi exclusiva de huellas intensas solo en la cara apical ha sido también destacada por Coşkunsu (2008:33). La arbitrariedad de esta distribución lateral se debe también a la propia morfología irregular, con una parte activa conformada por percusión directa y presión. Esto provoca que aquellas aristas laterales más curvadas o salientes sean las más expuestas a la fricción y, en consecuencia, afectadas por las huellas en mayor medida que aquellas otras rehundidas.

Con respecto a las características del pulimento:

- ✓ *El hueso*. No deja pulimentos intensos y los que aparecen no recuerdan los rasgos característicos generados por ésta materia. Son medianamente compactos, de contorno poco definido, brillantes y de textura con tendencia rugosa, aunque hay algún caso de aspecto escamoso. No llevan asociadas excesivas estrías salvo en algún caso aislado sobre aristas más expuestas.
- ✓ *La arenisca*. Es la materia con la que se han llevado a cabo más trabajos y también la que ha producido pulimentos más intensos cuando ha sido trabajada por sistemas mecánicos especialmente con el añadido de aditivos. Es un pulimento que en las fases iniciales es grisáceo, poco compacto y, cuando se desarrolla, tiene un aspecto brillante, espeso, con tendencia a liso, de contorno nítido. En el caso máximo de desarrollo (lám. 6:5), que solo se ha dado añadiendo agua, es una capa homogénea y compacta que se extiende por toda la superficie con abundantes estrías y rasgos lineares, de aspecto brillante y textura rugosa. Se asocia con embotamiento pronunciado y estrías de uso de fondo liso o, sobre todo, de fondo oscuro.
- ✓ *La variscita*. Es la materia más dura de penetrar, de hecho, como sucede en el metal, sobre el extremo apical se destaca una pequeña punta que va abriendo camino en la perforación. Esta materia genera pulimentos de escaso desarrollo,

en el mejor de los casos empieza como un pulimento de aspecto grisáceo, más diluido y de gran extensión (lám. 5:7) que, según avanza el trabajo, se convierte en más compacto, de brillo luminoso y contorno desflecado, pero de extensión limitada, surcado por abundantes estrías. Salvo esta excepción, apenas se han detectado estrías de uso de esta materia.

3.1.2. Los punzones metálicos

3.1.2.1. Configuración del ápice

Uno de los aspectos más destacados del trabajo de perforación con punta de metal es la deformación de los ápices, visible incluso a simple vista en la mayor parte de los ejemplares. Este hecho destacable supone una profunda alteración plástica que llega a remodelar el ápice original. En la figura 1 se aprecia el estado de los ápices después del uso.

A diferencia de los perforadores líticos, esta modificación tiene menor relación con el sistema empleado, manual o mecánico, y está influida principalmente por el grado de dureza de las materias trabajadas. Así, el hueso provoca pocas deformaciones en el ápice mientras que los punzones que han trabajado las materias más duras, arenisca y variscita, ofrecen unos extremos muy alterados. Las deformaciones adquieren distintas intensidades, destacando por su volumen las derivadas de la adición de agua.

Ó s e a	1 Manual 2%	13 Manual 8%	5 Arco 2%	16 Arco 8%	8 Bailarina 2%	19 Bailarina 8%		
A r e n i s c a	2 Manual 2%	14 Manual 8%	6 Arco 2%	17 Arco 8%	10 Bailarina 2%	20 Bailarina 8%	11 Bailarina 2% con agua	21 Bailarina 8% con agua
V a r i s c i t a	3 Manual 2%	15 Manual 8%	7 Arco 2%	18 Arco 8%	12 Bailarina 2%	22 Bailarina 8%		

Fig. 1.—Perfiles de los punzones de metal después del uso.

Sin embargo, hay varios tipos de extremos apicales deformados. Los menos comunes son aquellos donde el redondeamiento del ápice discurre suavemente hacia los bordes contiguos y acaba diluyéndose (fig. 1:14) o los redondeados que se prolongan formando un reborde sobre la superficie original (fig. 1:2 y 1:7).

Más comunes son los ápices fuertemente embotados que se sustentan en una base cuadrangular (fig. 1:3, 1:6 y 1:17) o romboidal donde la deformación continua hacia 2 o 3 de las aristas laterales. Éstas últimas corresponden todas a punzones que han trabajado arenisca con bailarina, sus extremos apicales son muy estrechos y se sustentan en una base más ancha formando un espaldón. A esta modalidad, con espaldón marcado o atenuado, pertenecen todas las piezas de trabajo con bailarina sobre las materias pétreas (fig. 1:10, 1:20, 1:11, 1:21, 1:12 y 1:22), además de un punzón que trabajó variscita con arco (fig. 1:18) y otro que se utilizó manualmente. Es decir, esta morfología se corresponde, en general, con aquellos trabajos que implican una intensa dureza de la materia trabajada y mayor aplicación de fuerza en el sistema empleado.

Por su parte el hueso provoca ápices menos redondeados pero el embotamiento continúa a lo largo del fuste de la pieza en dos aristas generalmente alternas (fig. 1:13, 1:4, 1:16, 1:8 y 1:19). Una huella única sobre punzón que trabajó con arco sobre variscita (fig. 1:18, lám. 10). Es un surco generado entre el extremo apical y el inicio del fuste. Éste recorre tres cuartas partes del diámetro de la pieza y es indicativo de la distribución de las huellas en relación con el tipo de giro que realizan los instrumentos y del que hablaremos más adelante.

También se han desarrollado fisuras que llegan a provocar pequeñas roturas en el extremo apical o han hecho saltar capas superficiales de metal (lám. 7:1, 7:3 y lám. 10). Parecen ser debidas al intenso movimiento rotatorio ejercido y se documentan en un alto número de casos, pero no en igual proporción. Aparecen en el 83,3% de los punzones que han trabajado variscita, el 42,8% hueso y solo el 22,2% de arenisca. Atendiendo al sistema abundan con el empleo de arco y la rotación manual (57,1% y 50% respectivamente) siendo menores las asociadas a la bailarina. En algunos punzones estos estigmas parten de pequeñas fisuras tecnológicas previas.

Hay un caso en el que el ápice se rompió de forma abrupta justo al terminar el experimento (lám. 7:2). Es un punzón de bronce al 2% que trabajó hueso con perforador de arco. La rotura ha dejado un borde abrupto nada común sobre esta materia porque el metal se deforma con facilidad ante el esfuerzo del uso, pero raramente se rompe (Gutiérrez y Martín-Lerma, 2015).

3.1.2.2. Microhuellas

Junto al redondeamiento otras huellas características son las estrías, los rebordes y alteraciones como la tenorita. A las numerosas estrías presentes sobre los punzones metálicos, producidas por limado durante la fase de manufactura, se añade otra importante cantidad generada en el uso. Estas últimas se diferencian de las anteriores por su anchura más homogénea y, especialmente, por su distinta posi-

ción. Las de manufactura son paralelas al eje, mientras que las de uso se disponen transversalmente a él en el fuste y de forma concéntrica en el ápice (lám. 7:3 y 7:4).

Los rebordes aparecen en prácticamente todas las piezas, alcanzando el 75% de los punzones y provienen de los desplazamientos de metal provocados por la fricción (lám. 7:5). La tenorita, por su parte, es una capa de óxido de cobre de grosor variable que suele aparecer de forma común sobre los objetos de base cobre desde la extracción del molde. Es una de las pocas alteraciones bien desarrolladas que se pueden constatar a lo largo del proceso de experimentación. En nuestro caso, se formó durante la rotación como efecto del calor generado y quedó impresa, no solo en el 50% de los ápices de metal (lám. 7:5 y 7:6), sino también en las paredes de varias perforaciones (lám. 12:4 y 12:5).

3.1.2.3. Distribución de las huellas

TABLA 3
DISTRIBUCIÓN DE LAS HUELLAS SOBRE LOS PUNZONES METÁLICOS

	Distribución de huellas	Ósea	Arenisca	Variscita	Total
Manual	Sólo ápice	*	*	*	3
	Ápice y huellas principales en un solo lateral	-	-	-	-
	Ápice y huellas en laterales opuestos	*	*	-	2
	Ápice y huellas en laterales contiguos	-	-	*	1
	Ápice y huellas iguales en todos los laterales				
Arco		Ósea	Arenisca	Variscita	Total
	Sólo ápice	-	-	-	-
	Ápice y huellas principales en un solo lateral	*	-	-	1
	Ápice y huellas en laterales opuestos	*	*	-	2
	Ápice y huellas en laterales contiguos	-	-	**	2
Ápice y huellas iguales en todos los laterales	-	*	-	1	
Bailarina		Ósea	Arenisca	Variscita	Total
	Sólo ápice	-	-	-	-
	Ápice y huellas principales en un solo lateral	-	*	-	1
	Ápice y huellas en laterales opuestos	**	-	-	2
	Ápice y huellas en laterales contiguos	-	*	**	3
Ápice y huellas iguales en todos los laterales	-	-	-	-	

Hemos tratado de determinar si la distribución de las huellas puede ser una evidencia reveladora del tipo herramienta empleada. Dado que con todos los sistemas se trata de giros bidireccionales, aunque de distinta longitud, todas las aristas laterales contiguas al ápice tienen las mismas posibilidades de desgaste. Esto quiere decir, teóricamente, que la distribución de las huellas, además de mostrarse en el ápice, debería de ser equivalente en intensidad en las aristas del borde activo más próximas a él.

En la tabla 3 vemos que, sin embargo, esta posición de semejanza solo sucede en un punzón que trabajó arenisca con arco. La perforación manual, por su menor incidencia en la materia, deja huellas sólo en el ápice y cuando afecta a los bordes

laterales tiende a hacerlo en laterales opuestos. El arco y la bailarina optan por el desarrollo de las huellas tanto en laterales opuestos (lám. 8) como contiguos.

Por materias, la ósea genera el desarrollo principal de las huellas en aristas laterales opuestas mientras que la variscita lo hace en bordes contiguos. La arenisca no tiene un patrón fijo de distribución (lám. 9).

Por otra parte, no hemos observado apenas diferencias ni en la intensidad ni en la distribución de huellas entre los punzones al 2% y al 8% de Sn, salvo un mayor desarrollo de las alteraciones de aristas laterales en los punzones que trabajaron manualmente sobre hueso y arenisca.

Como vemos, la distribución igualitaria no se cumple. Hay otros factores que parecen haber sido determinantes, como son la configuración topográfica de los bordes y el ángulo de trabajo. Un caso relevante es el comentado del surco en la base del ápice de un punzón de bronce que trabajó variscita con arco. Pese a que el arco da dos vueltas completas en cada giro, este surco afecta solo a tres cuartas partes del recorrido debido a un pequeño hundimiento que impidió la formación de huellas sobre un lateral al no entrar en contacto con la materia trabajada (lám. 10).

Por otra parte, con ninguno de los sistemas de trabajo es posible mantener una verticalidad absoluta durante todo el tiempo de uso. Las pequeñas oscilaciones del eje en un esfuerzo prolongado pueden potenciar el desgaste de una zona en detrimento del resto como denotan también las delineaciones mixtas de los bordes de algunas perforaciones.

3.1.3. Estado final de los útiles y posibilidad de reparación

Los perforadores y punzones empleados han sufrido distintos daños en su zona apical. De algunos de ellos, como los embotamientos o la tenorita, hemos hablado en el apartado de huellas. No obstante, hay un aspecto que queremos comentar y se refiere a la pérdida de longitud de las piezas por roturas o desgastes debido a un uso más o menos intenso. Para ello, hemos tomado las medidas de los extremos retocados en los perforadores de sílex y la longitud total de los punzones de bronce.

Esta pérdida de materia del sílex es bien conocida y patente a simple vista por la fragilidad de esta materia en su interacción con otras más duras. De hecho, es común la sospecha de que muchos ejemplares arqueológicos nos llegan notablemente reducidos respecto a su tamaño original. Las causas pueden deberse principalmente al uso, pero no se pueden descartar otras comunes durante la manufactura e incluso accidentales como el pisoteo y las alteraciones postdeposicionales.

Entre los perforadores que lograron alcanzar los 60 minutos de trabajo, las pérdidas no son excesivamente altas. Por sistemas, el manual pierde de media 3,4 mm frente a la bailarina (2,1 mm) y el arco (1,0). Por materias el trabajo de la ósea elimina 5,9 mm de un ápice y es en general más contundente que el de la arenisca (2,3). La variscita apenas ha provocado pérdida del material (0,3 mm). En el trabajo sobre arenisca los perforadores con retoque unifacial y bifacial presentan datos distintos estando más afectados en el trabajo manual los bifaciales y con sistemas mecánicos los unificiales.

TABLA 4
 MEDIAS DE ROTURA DE LOS PERFORADORES LÍTICOS DESECHADOS

Experimento	Pérdida	Tiempo de uso
Manual arenisca, unifacial	8,0 mm	39`
Arco variscita, unifacial	6,3 mm	46`
Bailarina ósea, unifacial	6,7 mm	7`
Bailarina ósea, unifacial	11 mm	8`
Bailarina arenisca, unifacial	9,5 mm	32`
Bailarina arenisca con agua, unifacial	7,1 mm	25`

Sin embargo, se retiraron del experimento una serie de perforadores que se rompieron antes del tiempo estipulado. Las roturas en este caso son más fuertes, especialmente con el trabajo de la arenisca que llega a perder casi un centímetro con el perforador manual. Por otra parte, destaca la pérdida de una punta de 11 mm sobre hueso y la rapidez de rotura de los dos perforadores que trabajaron esta materia con bailarina y apenas duraron unos minutos. En este sentido, también Gurova *et al.* (2014) destacan la frecuencia de roturas en los perforadores de sílex que trabajaron hueso, independientemente del método empleado. De hecho, Gurova y Bonsall (2017:166) destacan que no hay correlación entre las roturas y la dureza de la materia trabajada.

TABLA 5
 MEDIAS DE DESGASTE DE LONGITUD DE LOS PUNZONES METÁLICOS TRAS EL USO

Materia Prima	Sistema	Arenisca	Ósea	Variscita	Media
Cu+Sn 2%	Manual	0.91 mm	0.3 mm	1.02 mm	0.74 mm
	Arco	0.69 mm	1.57 mm	0.32 mm	0.86 mm
	Bailarina	0.35 mm	2.24 mm	2.59 mm	1.72 mm
	Media	0.65 mm	1.37 mm	1.31 mm	1.11 mm
Cu+Sn 8%	Manual	0.43 mm	0.52 mm	0.95 mm	0.63 mm
	Arco	0.08 mm	1.31 mm	0.37 mm	0.58 mm
	Bailarina	0.23 mm	1.48 mm	1.86 mm	1.19 mm
	Media	0.24 mm	1.1 mm	1.06 mm	0.8 mm

Apenas menor es la reducción de tamaño en los punzones metálicos, en los que una primera diferencia se refiere a la composición del metal. Aunque en líneas generales se desgastan un poco más las puntas más blandas (con 2% de estaño), en el trabajo de arenisca con bailarina y variscita con arco no ha sido así, siendo la diferencia muy escasa. Por sistemas empleados y en cifras totales hay una progresiva pérdida de materia desde el trabajo menos intenso, el manual, al más enérgico de la bailarina, pero no en todos los casos ya que el arco da resultados más irregulares.

Finalmente, no hay un patrón para la respuesta de las materias. Aunque no hemos incluido en el cómputo los datos de los punzones que trabajaron con bailarina sobre arenisca añadiendo agua, la pérdida de una de las puntas fue de 4,1 mm. Estas irregularidades pueden estar influidas por la diferente destreza de los participantes en los experimentos, factor que valoraremos más adelante.

En lo que respecta a perforadores tanto líticos como metálicos, hay una diferencia fundamental en la recuperación de la funcionalidad después del uso. Cuando las roturas del sílex afectan un tramo amplio de la zona activa, el instrumento suele quedar inutilizable. En el metal las roturas distales son muy raras, pero incluso en esta circunstancia y, por supuesto, ante todas las deformaciones, es sencillo recuperar el extremo activo mediante un rápido martilleado y limado.

3.2. Las perforaciones

Entre los objetivos buscados en este trabajo está comprobar la diferencia de resultados originados con los distintos sistemas de trabajo empleados, mecánicos o manual, así como evaluar la facilidad del trabajo y la eficacia de los mismos.

En el primer caso, se tomarán como criterio la forma y medida de las perforaciones, además de la sección, la profundidad alcanzada, la configuración del borde y la presencia o no de estrías u otras huellas en su interior.

3.2.1. Tipometría

3.2.1.1. Lítica

TABLA 6
TIPOMETRÍA DE LAS PERFORACIONES CON PERFORADORES LÍTICOS.
TODAS LAS MEDIDAS (A), SIN MEDIDAS ANÓMALAS (B)

Lítica	Hueso	Arenisca		Variscita
		A	B	
Diámetro de boca	7.33 mm	6.96 mm	5.95 mm	3.67 mm
Anchura de fondo	3.32 mm	2.82 mm	2.76 mm	2.14 mm
Profundidad	4.8 mm	3.78 mm	3.42 mm	1.97 mm

Las medidas de las perforaciones nos muestran que el ataque a las tres superficies ha provocado oquedades de tipometría distinta en relación a la respuesta de la materia. Así, se observan orificios de mayor amplitud en el hueso, que ofrece menor resistencia frente a la dureza muy alta de la variscita, de trabajo mucho más costoso. La arenisca, por su parte, muestra en la columna A valores más similares a los parámetros del hueso que a los de la variscita. Sin embargo, las dos perforaciones sobre arenisca a las que se añadió agua han dado medidas anómalas, una

empleando bailarina, ofrece valores muy altos —16.78x4.58x8.98 mm—; la otra, con arco, provocó una forma muy irregular. Si anulamos estos valores —columna B— observamos como las dimensiones de las oquedades en arenisca se alejan de hueso situándose en un punto intermedio entre ambas materias.

Un problema con el que nos encontramos es que en una experimentación anterior sobre brazales de arquero (Muñoz, 2015) se habían conseguido perforaciones con bailarina mucho más rápidamente y con huellas ligeramente distintas. Suponiendo que la diferencia estaba en el tipo de punta lítica se llevó a cabo un pequeño experimento con un perforador de punta de extremo recto, a modo de broca, y otro de base más amplia con silueta distal triangular, semejante a los usados. Ambos trabajaron arenisca con bailarina (fig. 3).

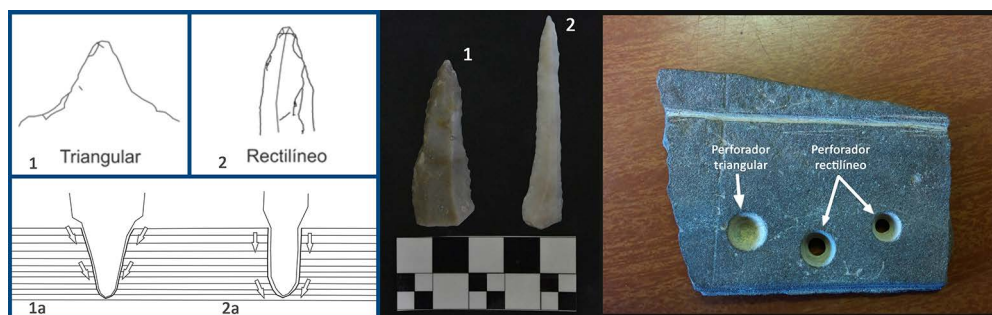


Fig. 2.—Perforadores de morfología triangular (1) y recta (2) y secciones que generan.

La primera diferencia atañe a la capacidad de penetración entre ambos tipos de puntas líticas. En las de morfología triangular el avance es más difícil, ya que el diámetro inicial de la perforación realizado con el ápice va ensanchándose a medida que se introduce el resto del cuerpo, lo que ocasiona un roce continuado que regulariza la superficie pero que, además, sigue ampliando el orificio en la zona superior. En este sentido, los perforadores de morfología recta o rectilínea han mostrado mayor rapidez y regularidad en la anchura del orificio ya que es el ápice el que abre camino en la materia a perforar y el resto de la parte apuntada sólo regulariza las paredes de la perforación. La sección que deja esta forma es cilíndrica en buena parte de su recorrido volviéndose apuntada hacia el final (fig. 2:2a). En la experimentación anterior sobre brazales se habían utilizado perforadores más estrechos y alargados, de morfología rectilínea, que dejaron secciones coincidentes con ésta.

Otro aspecto considerado fue la rapidez en realizar las perforaciones. Para ello se empleó una misma placa de arenisca que fue usada consecutivamente. El perforador triangular trabajó durante 70 minutos y no consiguió completar la perforación. El rectilíneo, por el contrario, acabó la primera a los 22 minutos y la segunda 31 minutos más tarde, rompiéndose el ápice justo en ese momento. Pese a que se terminó la prueba por la rotura, se había comprobado anteriormente que la fracturación de la punta no siempre impide su uso, ya que cuando es reducida, supone un reavivado de la parte activa (Muñoz Moro, 2015).

Desde el punto de vista tipométrico, la oquedad hecha con punta triangular tiene un diámetro de boca mayor que las dos conseguidas con la punta recta. En cambio, la anchura de fondo es menor porque al no estar terminada no llegó a traspasar el grosor de la placa de arenisca, aspecto que con total seguridad habría provocado mayor anchura en ambas medidas. Las huellas de estas perforaciones son consecuentes con la experiencia anterior sobre los brazaes de arquero. Estas perforaciones presentan bordes en ángulo con estrías paralelas y concéntricas con longitud perimetral.

TABLA 7
TIPOMETRÍA DE LAS PERFORACIONES CON PERFORADORES LÍTICOS DE LA PRUEBA DE EFICACIA

Lítica eficacia	Punta triangular	Punta recta	
		Perforación 1	Perforación 2
Diámetro de boca	8.14 mm	6.2 mm	7.56 mm
Anchura de fondo	2.4 mm	3.3 mm	4.0 mm
Profundidad	4.58 mm	6.72 mm	6.32 mm

Las medidas establecen que, con el mismo tiempo de trabajo, se profundiza más en la realización de orificios con taladros de punta recta, tipo broca que con los típicos perforadores de punta más triangular. Estos últimos mueven más materia desde la superficie, dejando oquedades más amplias de partida, pero de anchura y profundidad reducidas.

Estas variaciones, que dependen de la dureza de los materiales a perforar es una de las causas de que, en los mismos tiempos de uso, muchas de las perforaciones hayan quedado inconclusas sin poder traspasar todo el espesor de la materia trabajada. Pero es preciso, también, prestar atención a la configuración de los perforadores para valorar la eficacia de esta labor.

3.2.1.2. Metal

TABLA 8
TIPOMETRÍA DE LAS PERFORACIONES CON PUNZONES METÁLICOS

Metal	Hueso	Arenisca	Variscita
Diámetro de boca	4.32 mm	3.5 mm	1.71 mm
Anchura de fondo	1.81 mm	1.71 mm	1.13 mm
Profundidad	3.91 mm	1.21 mm	0.76 mm

Los orificios dejados por los punzones de metal son mucho más reducidos, en términos absolutos, que los generados por puntas líticas. Sin embargo, siguen la

misma tendencia por materias destacando la mayor amplitud en el hueso, los valores intermedios de la arenisca y las muy reducidas perforaciones conseguidas en la variscita, donde destaca, especialmente, lo costoso del avance en profundidad en esta materia después de una hora de trabajo.

3.2.2. Sección

Tanto los perforadores líticos como metálicos han producido secciones tronco-cónicas. Esta morfología deriva de la forma apuntada de las brocas empleadas. No obstante, hemos mencionado anteriormente la diferencia de sección, en la prueba de eficacia, entre los perforadores con perfil más triangular y los taladros rectos que provocan secciones troncocónicas en el primero y de tendencia cilíndrica los segundos.

3.2.3. Configuración del borde

Otro tipo de huella es el grado de agudeza del borde, en función de la fricción que sufre el margen de la oquedad. Su forma puede ser con una arista aguda con borde en ángulo o roma con borde redondeado.

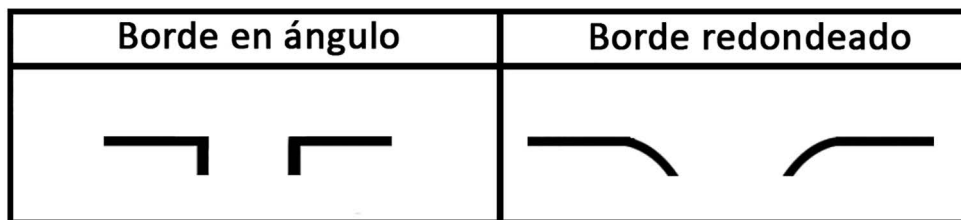


Fig. 3.—Tipos de bordes de las perforaciones.

3.2.3.1. Lítica

Los elementos líticos dejan distintos tipos de bordes atendiendo a la materia trabajada y, en cierta medida, al sistema empleado. Sobre la variscita se observan bordes de esquinas redondeadas mientras que en el hueso son todos agudos. Es interesante que la arenisca se comporta de doble manera. En las perforaciones manuales y con bailarina, el borde es siempre redondeado, lo que es lógico teniendo en cuenta que los granos de la materia se desgajan por la fricción. Con el arco, tres de las cuatro perforaciones son mixtas, redondeadas en la mitad del perímetro y en ángulo en la otra mitad. Esto se debe a que durante el trabajo se produce una ligera inclinación del eje hacia un lado, provocando que el perforador friccionara con más insistencia una

de las partes. Un ejemplo clarísimo y exagerado de esto es la perforación hecha por un punzón que trabajó arenisca con arco añadiendo agua que muestra un diámetro irregular con forma elipsoidal y no circular como en el resto de los casos.

3.2.3.2. Metal

En cuanto a la forma del borde de las perforaciones hechas con punta de metal, en el hueso el borde es en ángulo en todas las oquedades, mientras que en arenisca y en variscita los bordes tienden al redondeamiento. En la arenisca hay un par de perforaciones que presentan los bordes con parte redondeada y parte en ángulo. Esto puede deberse a la misma situación que en piedra, por una falta de verticalidad durante el avance, aunque en este caso una se debe al uso del arco y la otra al de la bailarina. Cuando se ha añadido agua como aditivo, a diferencia de los perforadores de piedra, los punzones metálicos han dejado un borde en ángulo. Esto podría explicar que parte del redondeamiento que se ve en el resto de bordes pueda estar afectado por calentamiento generado durante el rozamiento.

3.2.4. Estrías

Las huellas principales que encontramos son las estrías, que dependiendo del material tendrán un recorrido diferente.

3.2.4.1. Lítica

- Hueso. Las perforaciones realizadas en hueso presentan unas estrías visibles bajo lupa binocular que recorren la pared interna de la perforación, con una longitud perimetral a esta. Son estrías concéntricas paralelas entre sí, poco profundas, menores que en las otras materias, pero de bordes muy vivos y de sección en V muy marcada (lám. 11:2 y 11:3). Estrías concéntricas similares han encontrado Gurova y Bonsall (2017:163) en hueso y concha. Bajo las estrías podemos observar cierto pulimento sobre el que se desarrollan. En todas las perforaciones en hueso las estrías son similares, independientemente del sistema empleado.
- Arenisca. Al observar las perforaciones sobre arenisca no se encontraron casi estrías en las paredes internas de las mismas. Solo algunos trazos con recorrido concéntrico truncado por zonas abrasionadas o pulidas. Estas estrías tienen profundidad variable, con bordes menos vivos que en hueso y clara sección en U. Hay que añadir que junto a ellas se percibían unos surcos muy finos, casi imperceptibles, de aristas erosionadas que parecen ser las más antiguas y se han ido embotando por efecto de la fricción continuada. Este segundo tipo de estrías muy atenuadas disminuye en los experimentos donde

- se utilizó agua como abrasivo, ya que aquí la erosión de las paredes internas de la oquedad es tan alta que apenas se aprecian estrías (lám. 11:4 y 11:7).
- Variscita. Encontramos superficies internas pulidas por la fricción generada durante la rotación, sobre todo en el caso de la bailarina y el arco. En estos casos las estrías tienen una disposición muy diferente y son muy difíciles de ver bajo la lupa binocular por la luz reflejada (lám. 11:11), por el contrario, se diferencian bien en la perforación manual (lám. 11:10). Bajo el microscopio se han podido observar estrías de recorrido concéntrico, pero la longitud no abarca perimetralmente la pared de la perforación, sino que están dispuestas en arcos que se cruzan entre sí solo en uno de los laterales de la pared interna, tanto en el arco como en la bailarina (lám. 11:12), posiblemente porque las puntas patinan sobre la superficie. Una descripción similar de estrías sobre variscita ha sido hecha por Bosch y Estrada (2002:239).

Otra huella detectada junto a las estrías son los surcos. De tamaño más ancho y redondeado recorren la pared interior y aparecen llenos de estrías. Estos surcos aparecen sobre una perforación en hueso y dos en arenisca, todas con bailarina (lám. 11:3, 11:6 y 11:9).

3.2.4.2. Metal

En las perforaciones producidas por metal, las estrías son menos abundantes que en el apartado anterior, ya que la superficie de los punzones de metal es más lisa que los laterales retocados de la piedra.

- Hueso. Esta materia es un claro ejemplo del progreso por fricción, hasta el punto que durante la experimentación llegaba a quemarse el hueso impidiendo el avance de la punta metálica. Las trazas que podemos observar en estas perforaciones son un pulimento muy satinado acompañado de estrías igualmente muy finas con borde vivo y sección en V, pero difíciles de apreciar con la lupa binocular (lám. 12:1, 12:2 y 12:1). Este patrón se repite, ya sea para perforaciones hechas con arco, bailarina o de forma manual.
- Arenisca. En este caso las estrías que se pueden apreciar son de tipo muy similar a las citadas con los perforadores líticos, pero tan cortas que no completan el perímetro en su longitud. Son pequeñas estrías paralelas entre sí y concéntricas a la perforación, con bordes redondeados y sección en U, pero no aparecen en alto número. El uso de la bailarina deja mayor número de estrías que los otros métodos, viéndose mucha más cantidad aún en las perforaciones de las piezas con las que se usó agua como aditivo, donde incluso se pueden observar mayor concentración (lám. 12:6).
- Variscita. Lo único que se aprecia es una superficie interna satinada con residuos de cobre y tenorita que dificultan la observación. Se intuyen rasgos

lineares más que auténticas estrías, especialmente sobre la tenorita (lám. 12:7 y 12:8).

En general, para ambas materias, en lo referente al sistema empleado, las estrías dejadas por la perforación manual tienen una disposición más irregular que contrasta con la homogeneidad del recorrido en aquellas producidas por el empleo de arco y bailarina. De hecho, Coşkunsu (2008:33) indica que en los trabajos manuales es común la superposición de círculos incompletos porque la muñeca no puede girar 360°.

3.2.5. *Escalones*

Sólo se han apreciado en perforaciones trabajadas con útiles líticos. Muchas de las oquedades inacabadas realizadas mediante bailarina presentan un escalón o surco circular en el fondo de la perforación o a lo largo de las paredes, estando ausente en las perforaciones manuales y con arco. Esos escalones pueden ser debidos a la percusión derivada del peso añadido en el eje vertical de la bailarina. En el caso del hueso, estos escalones están también recorridos por el mismo tipo de estrías finas en V que surcan la superficie interior de la oquedad.

3.2.6. *Otras huellas: residuos y alteraciones por calor*

Debido a la fricción que se genera durante el uso en los distintos métodos de perforación, el metal y la piedra responden con un calentamiento característico. En el metal se provoca la aparición de óxido del cobre —tenorita— cubriendo tanto el fondo de la perforación como la punta del perforador metálico, sobre todo cuando se trabajaron la arenisca y, más levemente, el hueso. Se presenta como una capa negruzca adherida sobre la superficie (lám. 12:7). Cuando la tenorita no se desarrolla puede aparecer sobre el interior de la pared ósea una tonalidad marrón por efecto del calor, tanto con perforadores de sílex como metálicos (lám. 12:9 y 12:10).

3.2.5. *¿Perforadores líticos versus perforadores metálicos?*

Desde el punto de vista de los resultados, si nos fijamos en las oquedades terminadas (A) frente a las que quedaron inacabadas (B) en la tabla 9, observamos ciertas diferencias atendiendo a las materias y al sistema empleado. Las mejores respuestas acabando las oquedades se han dado con punta de metal sobre hueso y, muy por debajo, con perforador lítico sobre hueso y arenisca. En el resto fue imposible horadar un solo orificio completo en el tiempo fijado de 60 minutos. De los tres sistemas, la bailarina ha resultado no solo ser el más eficaz, sino que también ha dejado más regulares las oquedades. Con todas las modalidades, el avance del

trabajo resultó más rápido con el hueso y se fue demorando más con la arenisca y, sobre todo, con la variscita.

TABLA 9
PERFORACIONES. ACABADAS (A), SIN TERMINAR (B).

Perforaciones	Hueso				Arenisca				Variscita			
	Metal		Lítica		Metal		Lítica		Metal		Lítica	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Manual	2	2	-	1	-	1	-	2	-	1	-	1
Arco	5	2	1	-	-	2	-	4	-	1	-	1
Bailarina	12	1	1	1	-	5	2	2	-	1	-	1
Totales	19	5	2	2	-	8	2	8	-	3	-	3

De las tres piezas utilizadas con retoque bifacial, una con cada método, la que ha demostrado una mayor efectividad es la empleada con bailarina que llegó a terminar la perforación. Por lo demás no se perciben diferencias entre los perforadores de retoque unifacial y los bifaciales.

En el caso del metal, el calentamiento es tan alto que usando el arco y la bailarina se llegó a quemar el hueso, como ya hemos comentado. Durante una de las experimentaciones, la punta metálica patinaba en la oquedad ósea y por accidente cayó agua sobre ella. Este hecho consiguió enfriar tanto el hueso como el metal lo que facilitó avanzar el trabajo acabando el orificio.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A la hora de evaluar la validez y facilidad cinemática de los sistemas de perforación expuestos, hay una serie de aspectos a tener en cuenta. Uno de los factores básicos, es la facilidad de manejo y eficacia de empleo del arco y la bailarina en comparación con la perforación manual. A diferencia de otras labores con herramientas, la fuerza muscular no es aquí el valor principal puesto que ya es aportada por los medios mecánicos. Más importante se ha revelado la destreza en el manejo de estos aparatos. Este es un punto a tener en cuenta, ya que en estos experimentos han participado numerosas manos con diversos grados de pericia, lo que se ve reflejado en cierto modo en las pruebas de eficacia, afectando principalmente a la rapidez en que se llevaban a cabo las perforaciones, como también ha sido señalado por Gurova y Bonsall (2107:163). Estos aspectos, sin embargo, son difíciles de precisar cuantitativamente.

Al comparar los diferentes métodos de perforación hemos comprobado que la bailarina es el mejor sistema tanto por la facilidad de manejo como por la rapidez de trabajo, especialmente si se añade agua. Otros autores insisten, incluso, en que la bailarina da más precisión que el arco, al menos en materias delicadas como los adornos sobre concha (Ricou y Esnard, 2000). Esto es debido, sobre todo, a la presión que se ejerce durante el movimiento, pues pese a que el arco provoca más

rotación, con el taladro de disco se puede efectuar una presión mayor gracias a los pesos incluidos en su travesano vertical y al movimiento vertical del eje que provoca el giro. Esta eficacia ha sido contrastada también en otros procesos experimentales de perforación como los de Groman-Yaroslavski y Bar-Yosef Mayer (2015:80), al comparar los resultados de la bailarina con los del taladro de varilla.

La elección de la punta, de piedra o metal, es fundamental de cara a la materia a perforar. Sobre soportes duros como la arenisca o la variscita es preferible un perforador lítico, si bien las materias blandas como el hueso se perforan con mayor facilidad con el metal. Igualmente, sobre esta última materia, las oquedades más regulares y menos estriadas son debidas al metal. La distinción del tipo de punta empleada podría hacerse con un análisis de residuos, por ejemplo fluorescencia de Rx, ya que la punta metálica deja óxido de cobre en forma de tenorita y/o pequeños residuos metálicos en las paredes y fondo de las perforaciones. Sin embargo, no siempre los objetos arqueológicos nos permitirán determinar ni este aspecto ni el sistema empleado, sobre todo si las perforaciones aparecen embotadas por el uso o han recibido algún tipo de acabado final, por ejemplo, en el caso de las perforaciones bitroncocónicas, para eliminar la arista central. En resumen, podemos indicar que a la hora de traspasar una superficie las puntas de sílex son más efectivas ante elementos más duros, mientras que, sobre plaquetas de hueso del mismo grosor, el sílex tardó 10 veces más en perforarlas que el metal.

Otro aspecto que merece ser comentado es el calentamiento que se produce durante la fricción, ya que se incrementa de manera notable con los métodos mecánicos. Durante el uso de los perforadores líticos, el trabajo sobre hueso impulsó al perforador a alcanzar un calentamiento intenso pero su morfología más irregular evitó que patinara dentro de la oquedad, el progreso fue continuo y se observó que ésta actividad no conllevó una excesiva complicación. En el caso de las brocas metálicas, el calentamiento es tan alto que usando el arco y la bailarina se llegó a quemar el hueso, como ya hemos comentado. Durante una de las experimentaciones, la punta metálica patinaba en la oquedad ósea y por accidente cayó agua sobre ella. Este hecho consiguió enfriar tanto el hueso como el metal lo que facilitó avanzar el trabajo acabando el orificio.

Añadir elementos como agua o arena ha producido resultados irregulares. La efectividad del agua se mostró claramente con dos soportes óseos que fueron perforados con bailarina. Una de las piezas trabajó sin agua y terminó 4 oquedades, mientras que otra, a la que se añadió agua puntualmente durante el trabajo, llegó a completar 8 perforaciones. Con el agua el avance es mucho mayor, tanto en tiempo como en eficacia, provocando un considerable desgaste en el orificio mientras que con la arena, el progreso no es tan significativo. A esta misma conclusión han llegado Gurova *et al.* (2014:54) en el perforado con bailarina de materias con distinta dureza para la elaboración de elementos de adorno.

La diferencia de fricción ejerce cierta influencia en la continuidad de la actividad. La cinemática en relación al uso de puntas líticas y metálicas es distinta. Con los perforadores líticos es importante mantener una inercia constante para una mayor efectividad al perforar. En el caso de los metálicos, por el contrario, es aconsejable

hacer pausas para evitar los calentamientos de las puntas o añadir agua y así incrementar la eficacia. Sin embargo, es aún mucho más efectivo parar brevemente el trabajo cuando la punta de metal se calienta y dejarla enfriar antes de proseguir. De esta forma uno de los punzones que trabajó hueso con bailarina consiguió ejecutar toda la perforación en solo 3 minutos

Otro aspecto a tener en cuenta, y que se comprobó durante la experimentación, es la dureza de los materiales tanto de los perforantes como de las materias trabajadas. Como se ha mencionado, la arenisca cuenta con una dureza de 3-4 en la escala de Mohs, mientras que la variscita se sitúa entre 4 y 5. Los perforadores de sílex alcanzan un grado 7 en esta escala. Esto nos indica, en principio, que materiales son aptos para intervenir mejor sobre las diversas materias, pero hay que tener en cuenta, además, aspectos como el calentamiento de las puntas, el empleo de bordes lisos o irregulares por retoque y la destreza en el uso de los sistemas mecánicos.

Dependiendo del grado de dureza de los materiales difieren el avance del trabajo y la respuesta del soporte. Esta diferencia se hizo patente en las experimentaciones pues se perforó con mayor facilidad el hueso que la arenisca y esta que la variscita, independientemente del método empleado para la realización. De hecho, la dificultad de ataque a la variscita está en la línea de los resultados experimentales de Gurova *et al.* (2014) que tardaron 3 h y 22 minutos en perforar una placa de 3 mm de espesor de lazurita, con una dureza de 5,5, un poco superior a la variscita.

Los sistemas de rotación empleados, su eficacia y las huellas derivadas, confirman trabajos anteriores (Semenov, 1981; Coşkunsu, 2008; Gurova *et al.*, 2014; Gurova y Bonsall, 2017) donde se comparaban las distintas formas de perforación. En los perforadores a mano se da mucho menos deterioro, siendo más común en los ápices la presencia de una zona embotada surcada por macroescamas que no llega a adquirir un aspecto redondeado. Por el contrario, los sistemas mecánicos provocan un característico e intenso redondeamiento en el extremo apical, surcado por estrías, pulimento y, en algún caso, auténticos surcos, en posición concéntrica en torno al eje. La presencia de esas huellas concéntricas, sin embargo, es casi sistemática en los trabajos con bailarina —75,0%— y aparece en menos ocasiones sobre los perforadores que han sido insertados en taladro de arco —40,0%—.

Esta reconfiguración del ápice sucede asimismo en los punzones de metal, pero en este caso depende tanto del sistema de perforación como de la materia trabajada. Sobre materias pétreas, prácticamente todos los sistemas desarrollan un ápice redondeado pero la intensidad de uso se prolonga más hacia los laterales con la bailarina. El hueso, por su parte, deja una distribución de huellas preferentemente sobre aristas laterales opuestas y apenas altera el ápice.

Las oquedades obtenidas en estos procesos dependen tanto del sistema como de la morfología del extremo perforante, así como de la materia trabajada. Perforaciones cilíndricas de bordes nítidos pueden ser hechas tanto por instrumentos de piedra como de metal, pero los primeros sólo en el caso de taladros de recorrido recto. Las puntas líticas de forma más triangular dejan una abertura más amplia en el diámetro de la boca. El metal no siempre consigue oquedades regulares, de hecho, hay varias de ellas con bordes redondeados y paredes relativamente irregula-

res llevadas a cabo con punzones metálicos. Es preciso ampliar la experimentación con este tipo de instrumental.

Una diferencia importante es la presencia de estrías generadas por las materias primas de los elementos perforantes. El metal provoca raras estrías y cuando aparecen no recorren todo el perímetro interior, además en rocas duras como la variscita su posición puede ser desordenada si la punta patina durante el trabajo. Los perforadores de piedra, al estar retocados, rozan con las aristas las paredes interiores de las perforaciones dejando abundantes huellas que son de recorrido muy regular con los sistemas mecánicos y de disposición más desordenada con el manual.

Las perforaciones derivadas de sistemas mecánicos no siempre son tan regulares, como afirma Coşkunsu (2008), por lo que la distinción entre estas formas de perforación debe incluir necesariamente la observación de las estrías. Por otra parte, en ocasiones, no es fácil distinguir entre una perforación manual y otra de bailarina cuando se trata de minerales de grano fino, especialmente si ha sido hecha con punzón metálico (Gurova *et al.*, 2014).

El arco y la bailarina provocan una fricción intensa que calienta fuertemente los instrumentos y las materias trabajadas. Este calentamiento deja tenorita (óxidos de cobre) en los ápices de las brocas metálicas y algunas evidencias de quemado en oquedades hechas tanto con punzones líticos como metálicos. Añadir agua en el proceso frena el calentamiento en el caso de la piedra y permite tener un trabajo continuado. Con los punzones de metal es mejor parar de vez en cuando sobre materias blandas como el hueso y dejar que se enfríe la punta. Por el contrario, con la arenisca y la variscita cuando la punta se embota en exceso patina tanto que ralentiza el avance sino se añade agua.

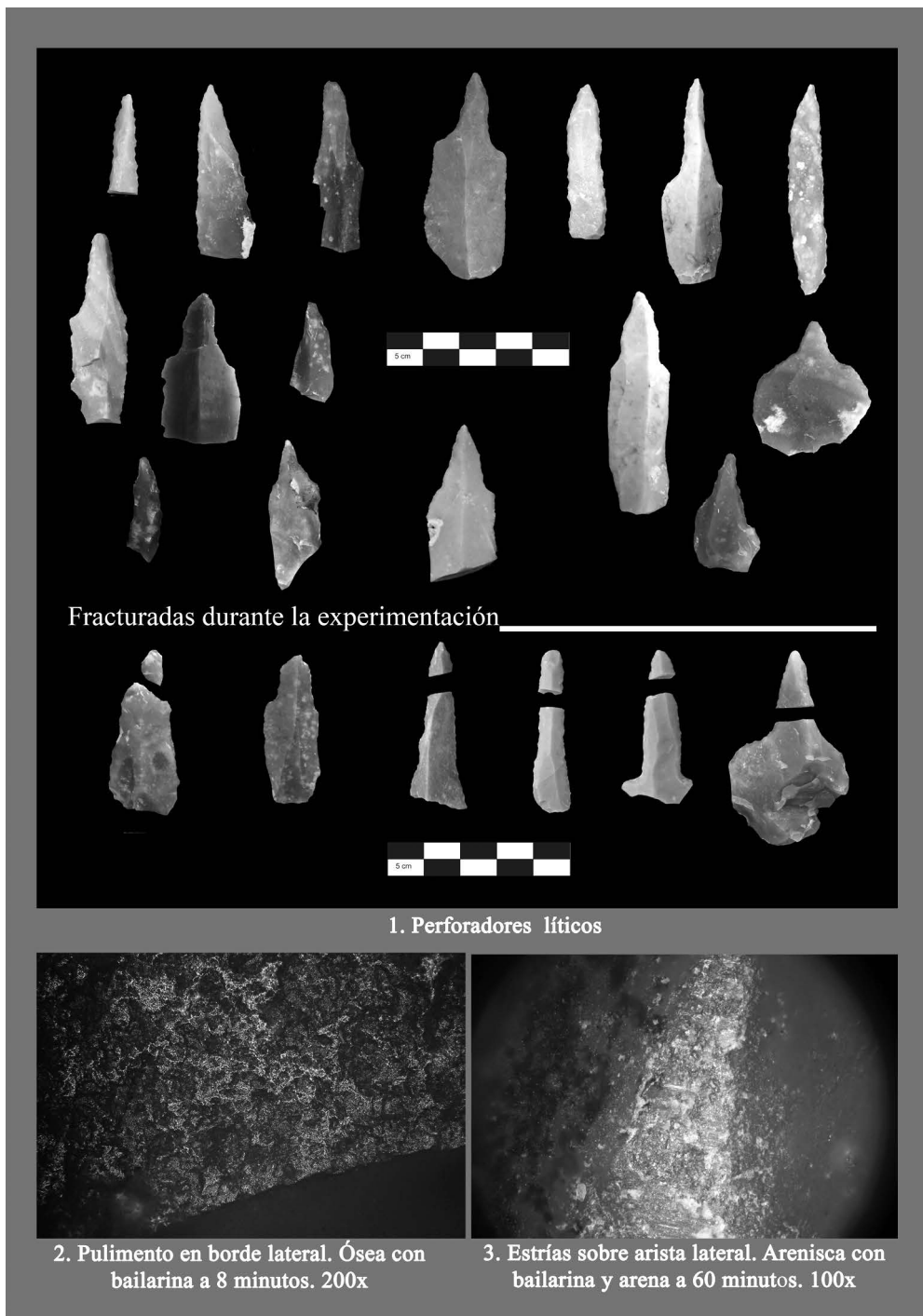
Dada la limitación del registro arqueológico, un aspecto en el que conviene insistir, a pesar del camino recorrido, es la importancia de la Traceología para identificar los procesos tecnológicos del pasado. En este sentido cabe hacer una reflexión final sobre estas limitaciones de cara a los sistemas mecánicos de perforación que se asocian, en general, a trabajos especializados. En ellos, tanto el arco como la bailarina están formados en gran medida por materias orgánicas que no persisten, salvo condiciones muy concretas de sedimentación. Las únicas evidencias que nos quedan son las puntas de piedra o metal que se insertan en los extremos. Algunas, generalmente en piedra, no siempre presentan una manufactura cuidada y pueden ser pequeños fragmentos retocados que pasen desapercibidos, tanto en la recogida con criba ancha (Groman-Yaroslavski y Bar-Yosef, 2015:86) como en una valoración exclusivamente tecno-tipológica. De igual manera, llamamos la atención sobre algunas placas pétreas subcirculares con perforación central, interpretadas tradicionalmente como pesas de telar, pero que han podido ser igualmente utilizadas como posibles pesos de bailarina. Es el caso, entre otros, de la placa hallada en el corte Q-1 nivel 2 del poblado Neoeolítico de Terrera-Ventura (Tabernas, Almería) (Gusi y Olaria, 1991:225, fig. 167).

El estudio de las huellas en estos instrumentos nos permitirá precisar los medios técnicos del pasado y, con ello, acercarnos a los aspectos económicos y entorno social en que fueron producidos.

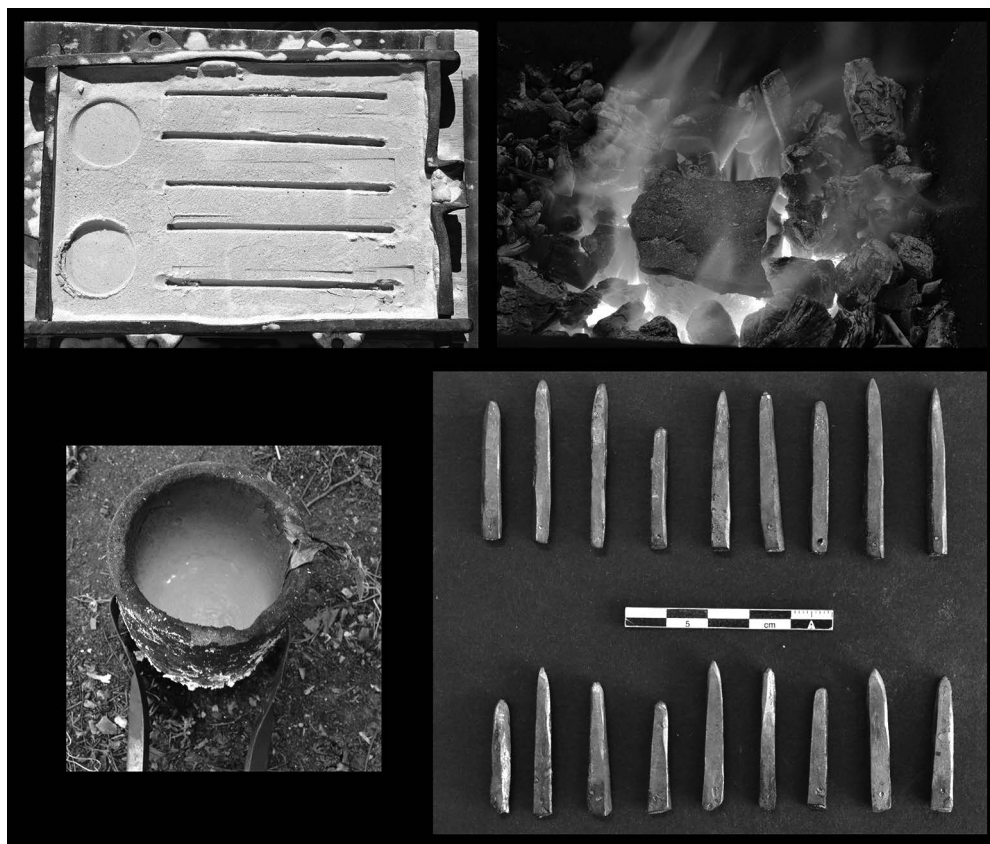
BIBLIOGRAFÍA

- ARENAS, J. y BAÑOLAS, L. (1989): “Els perforadors de denes de variscita a Can Tintorer, una nova tipologia. Estudi experimental”, *I Jornades Arqueològiques del Baix Llobregat. Pre-actes* (López Borgoñoz, A., Menéndez, X., Molist, N., Solias, J. M.^a y Vollmer, A., eds.), Ajuntament de Castelldefels, Castelldefels, vol. 1, pp. 50-54.
- AVEZUELA ARISTU, B., MARTÍN-LERMA, I., MARÍN DE ESPINOSA, J. A. y MUÑOZ IBÁÑEZ F. J. (2011): “Los adornos colgantes en el Paleolítico Superior: experimentación sobre las perforaciones en *Littorina obtusata*”, *La investigación experimental aplicada a la Arqueología* (Morgado, A., Baena Preysler, J. y García González, D., eds.), Málaga, pp. 263-269.
- BARCIELLA GONZÁLEZ, V. (2015): *El lenguaje de los adornos: tecnología, uso y función. Adornos de la Edad del Bronce en Alicante y Albacete*, Tesis Doctoral, Universidad de Alicante, Alicante. URL: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/53182>
- BORISKOVSII, P. I. (1963): *Ocherki po Paleolitu Basseina Dona: maloizučennye poselenija drevnego kamennogo veka v Kostenkach*, Materialy i Issledovaniya po Arkheologii SSSR 121, Akademii Nauk SSSR, Moskva (en ruso).
- BOSCH, J. y ESTRADA, A. (2002): “Minería y producción de adornos de calaita durante el neolítico en Gavá (Baix Llobregat, Barcelona)”, *Análisis funcional: su aplicación al estudio de sociedades prehistóricas. 1er Congreso de Análisis Funcional en España y Portugal* (Clemente Conte, I., Risch, R. y Gibaja Bao, J. F., coords.), British Archaeological Reports. International Series 1073, Oxford, pp. 237-242.
- CARRERA, A. (2013): *Elasticidad y dureza de los huesos*, Facultad de Ciencias de la Salud” Eugenio Espejo”, Escuela de Odontología, Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito
- CAUVIN, J. (1968): *Les outillages néolithiques de Byblos et du litoral libanais*, Librairie d’Amérique et d’Orient, A. Maisonneuve, Fouilles de Byblos. Tome IV, Paris.
- COŞKUNSU, G. (2008): “Hole-making Tools of Mezraa Teleilat with Special Attention to Micro-borers and Cylindrical Polished Drills and Bead Production”, *Neo-Lithics* 1/08, pp. 25-36
- GROMAN-YAROSLAVSKI, I. y BAR-YOSEF MAYER, D. E. (2015): “Lapidary technology revealed by functional analysis of carnelian beads from the early Neolithic site of Nahal Hemar Cave, southern Levant”, *Journal of Archaeological Science* 58, pp. 77-88.
- GUROVA, M., BONSALE, C., BRADLEY, B., ANASTASSOVA, E. y CURA, P. (2014): “Experimental approach to prehistoric drilling and bead manufacturing”, *Technology and Experimentation in Archaeology* (Cura, S., Cerezer, J., Gurova, M., Santander, B., Oosterbeek, L. y J. Cristóvão, J., eds.), *Brithis Archaeological Reports. International Series 2657*, Oxford, pp. 47-55.
- GUTIÉRREZ SÁEZ, C. y MARTÍN-LERMA, I. (2014): “Traceology on Metal. Use-Wear Marks on Copper-Based Tools and Weapons”, *Use-Wear and Residue Analysis in Archaeology* (Marreiros, J. M., Gibaja, J. F. y Bicho, N., eds.), *Manuals in Archaeological Method, Theory and Technique*, Springer, Cham, pp. 171-188.
- HOFFECKER, J. F. y HOLLIDY, V. T. (2013): “Landscape Archaeology and the Dispersal of Modern Humans in Eastern Europe”, *Paleolit Severnoi Evrazii i Ameriki: Pamyatniki, Kul'tury, Traditsii*, Petersburg Oriental Studies, Archaeologica Petropolitana, Saint Petersburg, pp. 140-170.
- IBÁÑEZ J. J., URQUIJO J. G. y RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, A. (2007): “The Evolution of Technology during the PPN in the Middle Euphrates: A View from Use-wear Analysis of Lithic Tools”, *Systèmes techniques et communautés du Néolithique précéramique au Proche-Orient. Actes du 5e colloque international, Frejus, 2004* (Astruc, L., Binder, D. & Briois, F., eds.), Editions APDCA, Antibes, pp. 153-165.
- JUAN CABANILLES, J. (2008): *El utillaje de piedra tallada en la Prehistoria reciente valenciana: aspectos tipológicos, estilísticos y evolutivos*, Servicio de Investigación Prehistórica del Museo de Prehistoria de Valencia, Serie de Trabajos Varios 109, Valencia.

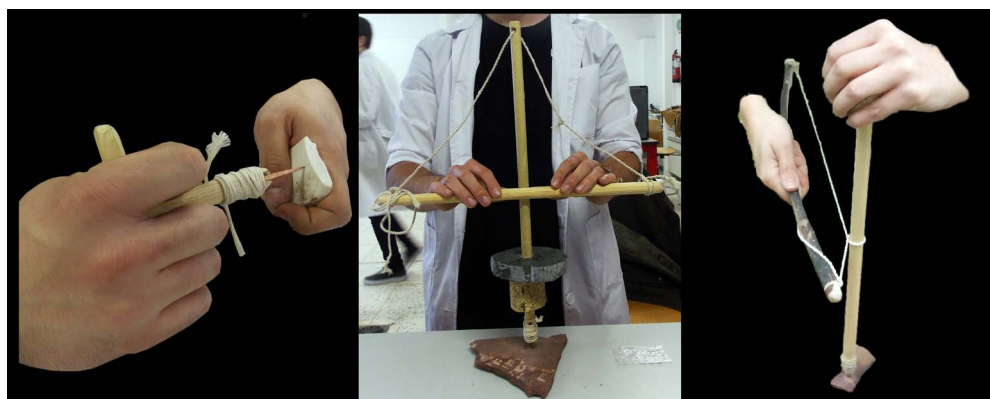
- MARTÍN LERMA, I. (2015): *Funcionalidad de la industria lítica magdaleniense del interior peninsular: La Peña de Estebanvela (Ayllón, Segovia)*, Tesis Doctoral, Departamento de Prehistoria y Arqueología de la UNED, Madrid.
- MEDEMBACH, O. y SUSSIECK-FORNEFELD, C. (1990): *Minerales*, Blume, Barcelona.
- MOTTANA, A., CRESPI, R. y LIBORIO, G. (1997): *Guía de minerales y rocas*, Grijalbo, Barcelona.
- MUÑOZ MORO, P. (2015): *Los brazales de arquero de la meseta española. Análisis y valoración funcional*, Trabajo de Fin de Máster inédito, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid.
- NOAÍN MAURA, M.J. (1996): “Las cuentas de collar en Variscita de las minas prehistóricas de Gavà (Can Tintorer). Bases para un estudio experimental”, *CuPAUAM* 23, pp. 37-86.
- NORTHOVER, P. (1982): “The metallurgy of the Wilburton hoards”, *Oxford Journal of Archaeology* 1:1, pp. 69-109.
- PÉREZ ARRONDO, C. y LÓPEZ DE CALLE CÁMARA, C. (1986): *Aportaciones al estudio de las culturas eneolíticas en el Valle del Ebro II. Los orígenes de la metalurgia*, Gobierno de la Rioja, Logroño.
- REY I SOLÉ, M. (2011): *Aproximación al estudio arqueopetroológico de la litoteca de la cuenca de la Charente (Francia)*, Trabajo Fin de Máster inédito, Universidad de Barcelona, Barcelona.
- RICOU, C. y ESNARD, T. (2000): “Étude expérimentale concernant la fabrication de perles en coquillage de deux sites arteniens oléronais”, *Bulletin de la Société Préhistorique Française* 97:1, pp. 83-93.
- ROVIRA LLORENS, S. y GÓMEZ RAMOS, P. (2003): *Las primeras etapas metalúrgicas en la península Ibérica. III Estudios metalográficos*, Instituto Universitario Ortega y Gasset, Ministerio de Cultura, Madrid.
- ROVIRA LLORENS, S., MONTERO RUIZ, I. y CONSUEGRA RODRÍGUEZ, S. (2003): *Las primeras etapas metalúrgicas en la península Ibérica. I Análisis de materiales*, Instituto Universitario Ortega y Gasset, Ministerio de Cultura, Madrid.
- RUBIO CONDE, J. (2009): *Gemas en España. Recopilación realizada por Jesús Rubio Conde, alumno de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid*, Madrid.
- SEMENOV, S.A. (1981): *Tecnología prehistórica*, Ed. Akal, Madrid.
- SOLANS HUGUET, J. y DOMENECH CASELLAS, M. V. (1978): “Naturaleza y significado de la dureza de los minerales”, *Trabajos de Geología* 10, pp. 407-423.
- UNGER-HAMILTON, R., LECHEVALIER, M. y RONEN, A. (1989): A Preliminary Microwear Analysis of Borers from Hatula, Israel, *Quaternary* 39/40, pp. 141-149.



Lám. 1.—Perforadores líticos empleados y huellas de uso.

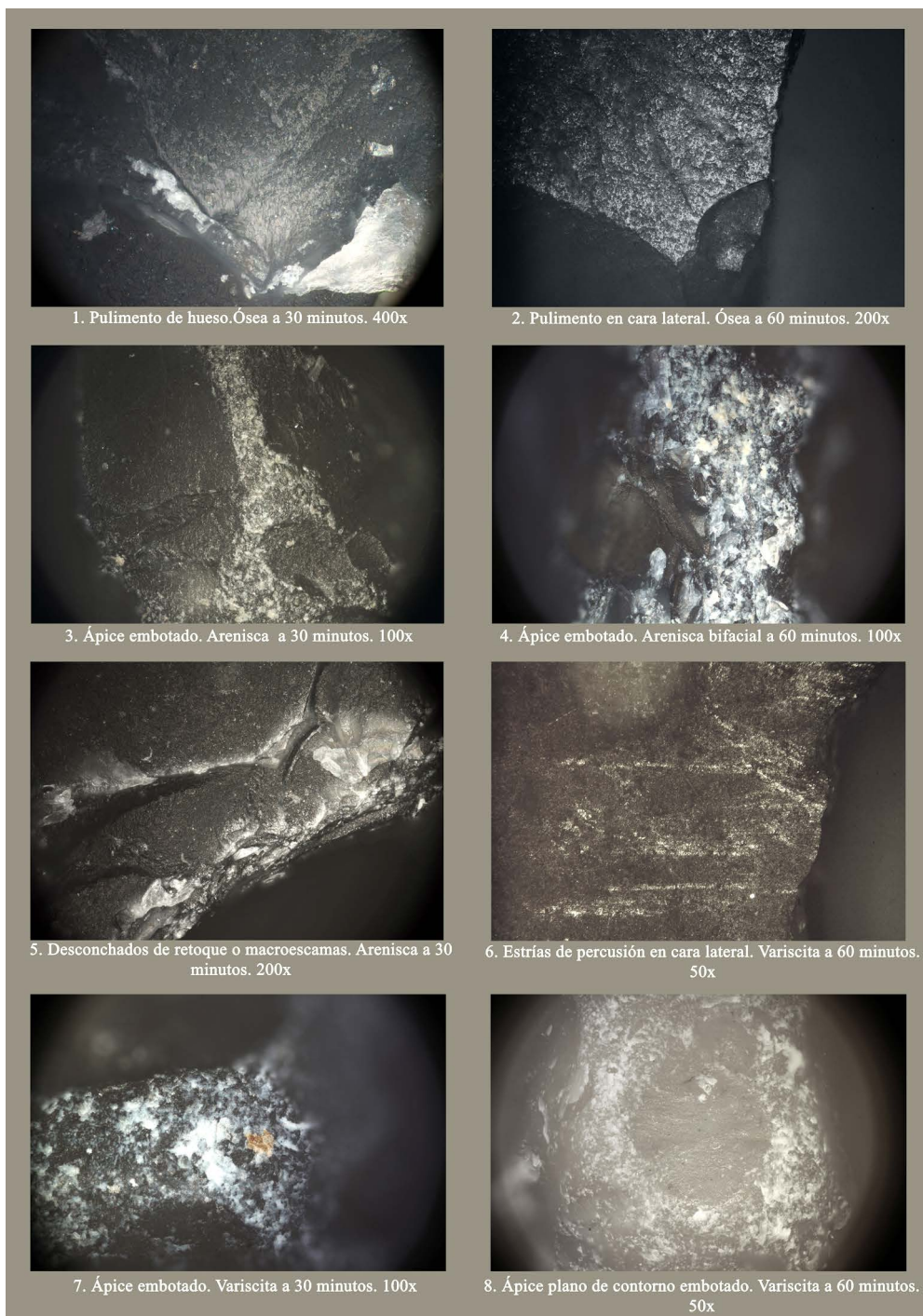


Lám. 2.—Proceso tecnológico metalúrgico.

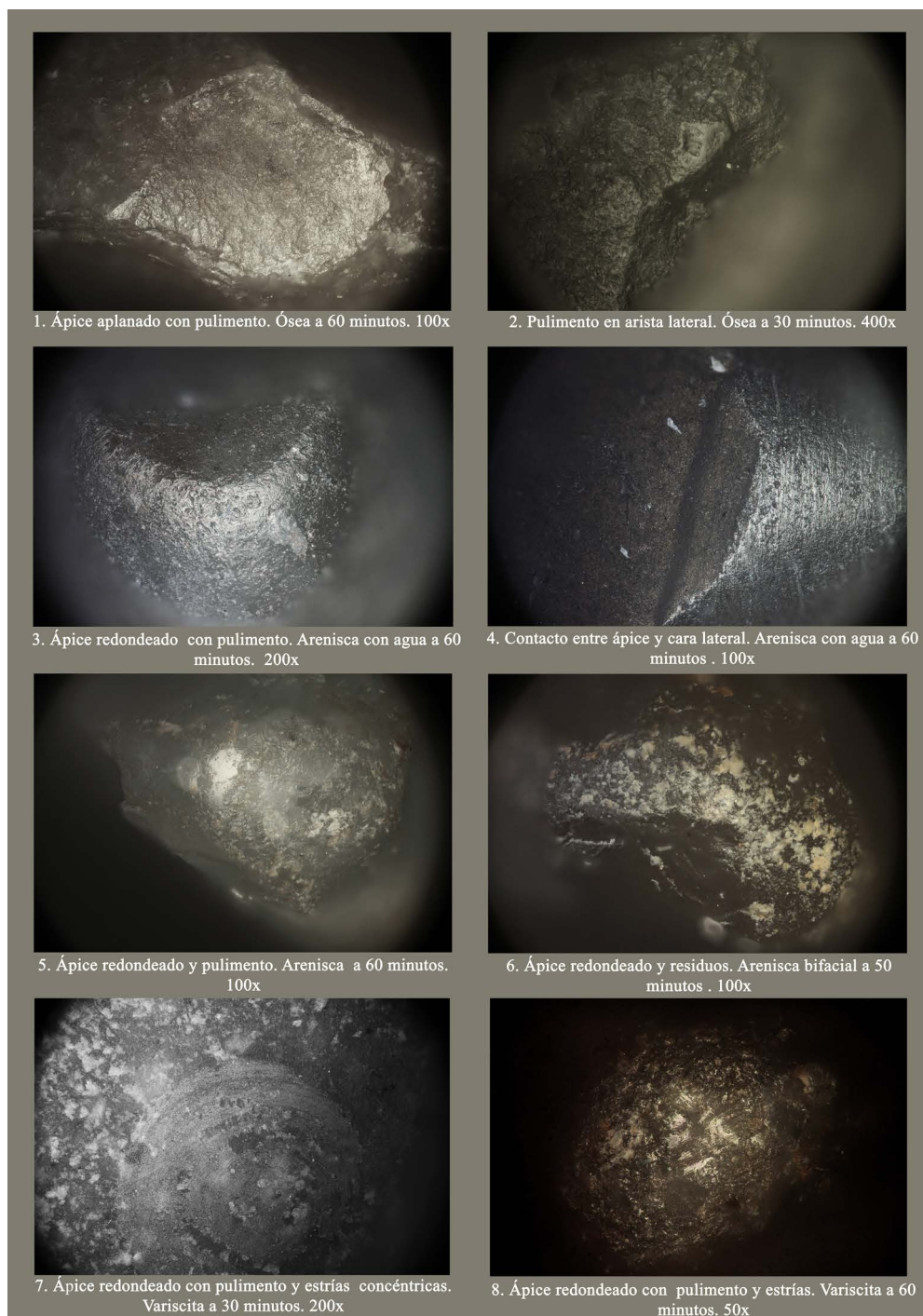


Lám. 3.—Tipos perforación empleados.

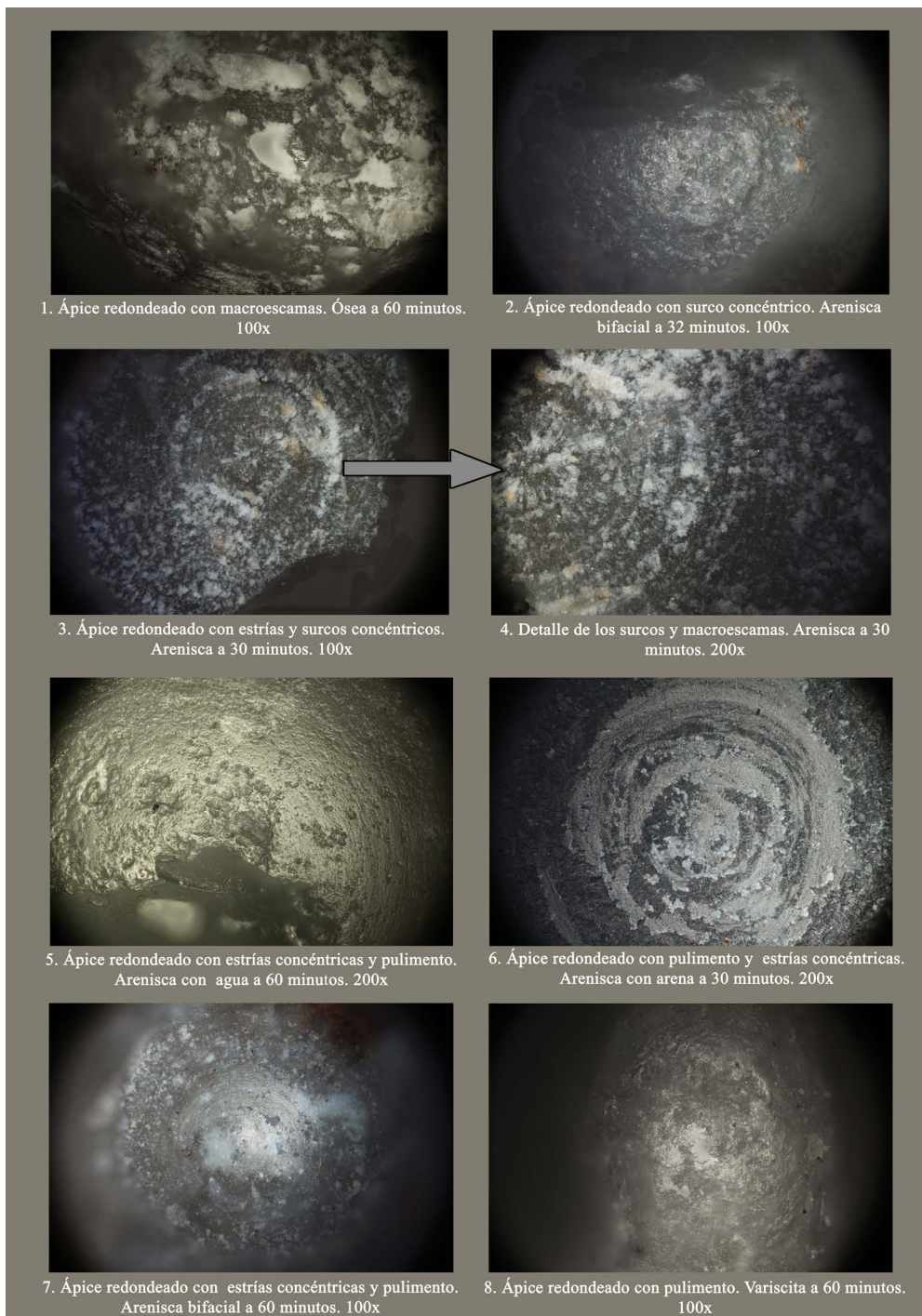
Izquierda: taladro manual; centro: bailarina o taladro de disco; derecha: taladro de arco.



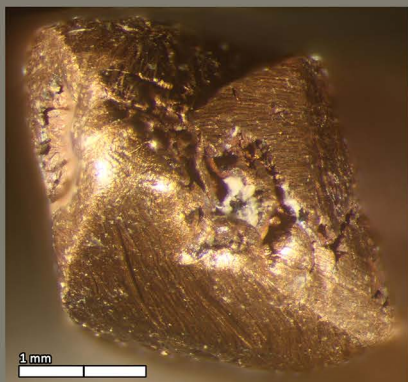
Lám. 4.—Huellas de uso de perforador lítico con sistema manual.



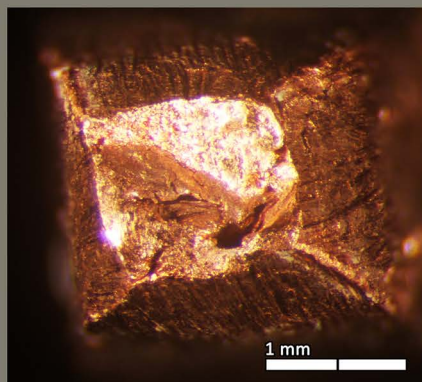
Lám. 5.—Huellas de uso de perforador lítico con taladro de arco.



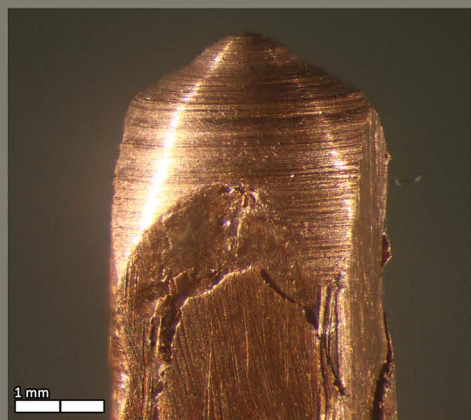
Lám. 6.—Huellas de uso de perforador lítico con taladro de disco o bailarina.



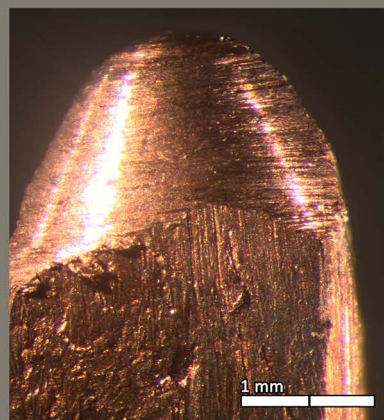
1. Ápice embotado en franja.
Manual sobre hueso a 60 minutos.



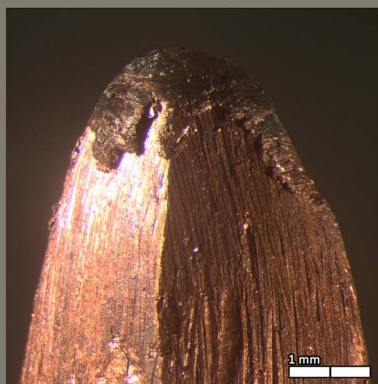
2. Ápice roto.
Arco sobre hueso a 60 minutos.



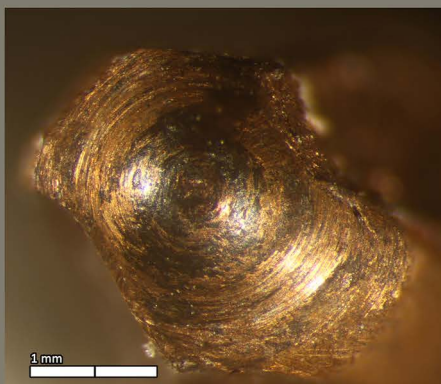
3. Ápice redondeado con base en espaldón.
Bailarina con agua sobre arenisca a 60 minutos.



4. Ápice redondeado con base en espaldón.
Bailarina sobre arenisca a 60 minutos.

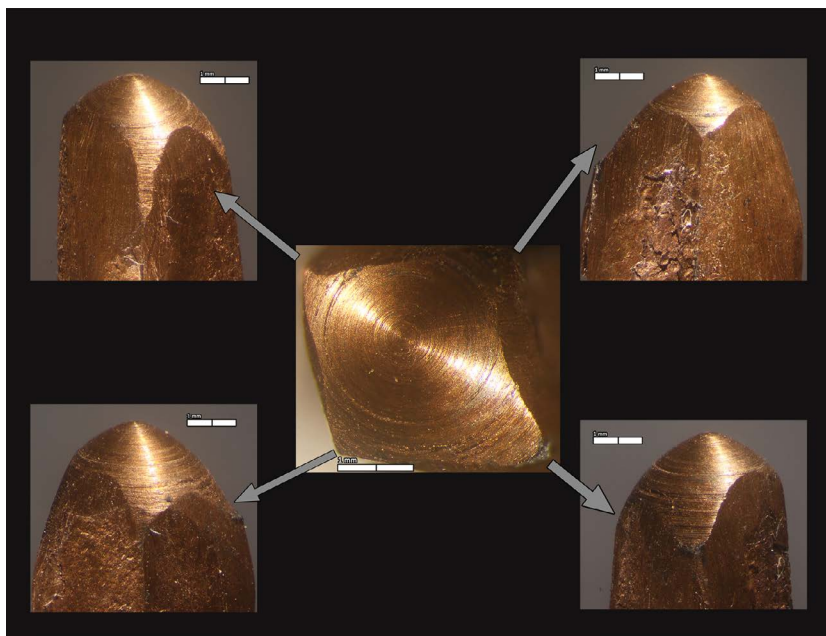


5. Ápice redondeado con rebordes y tenorita.
Manual sobre arenisca a 60 minutos.

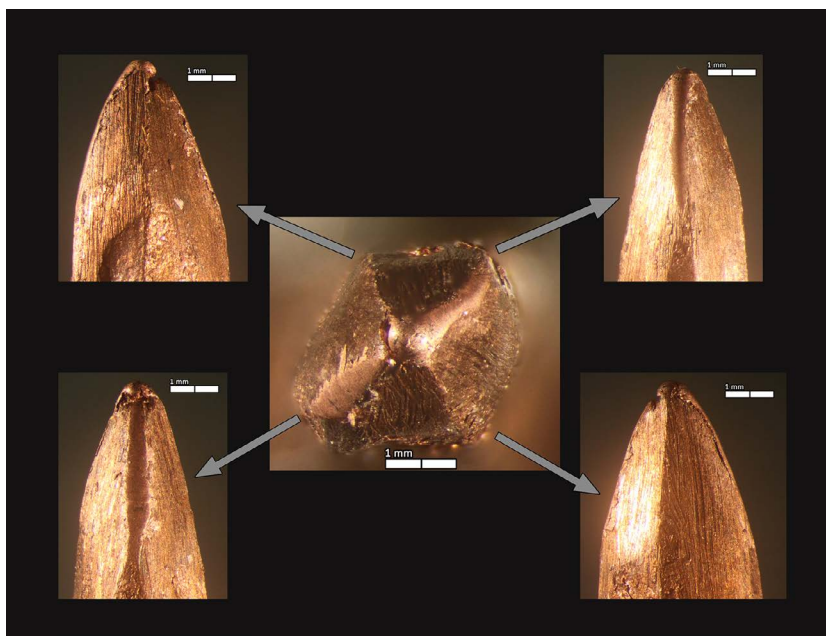


6. Ápice redondeado con desarrollo parcial de tenorita. Manual sobre arenisca a 60 minutos.

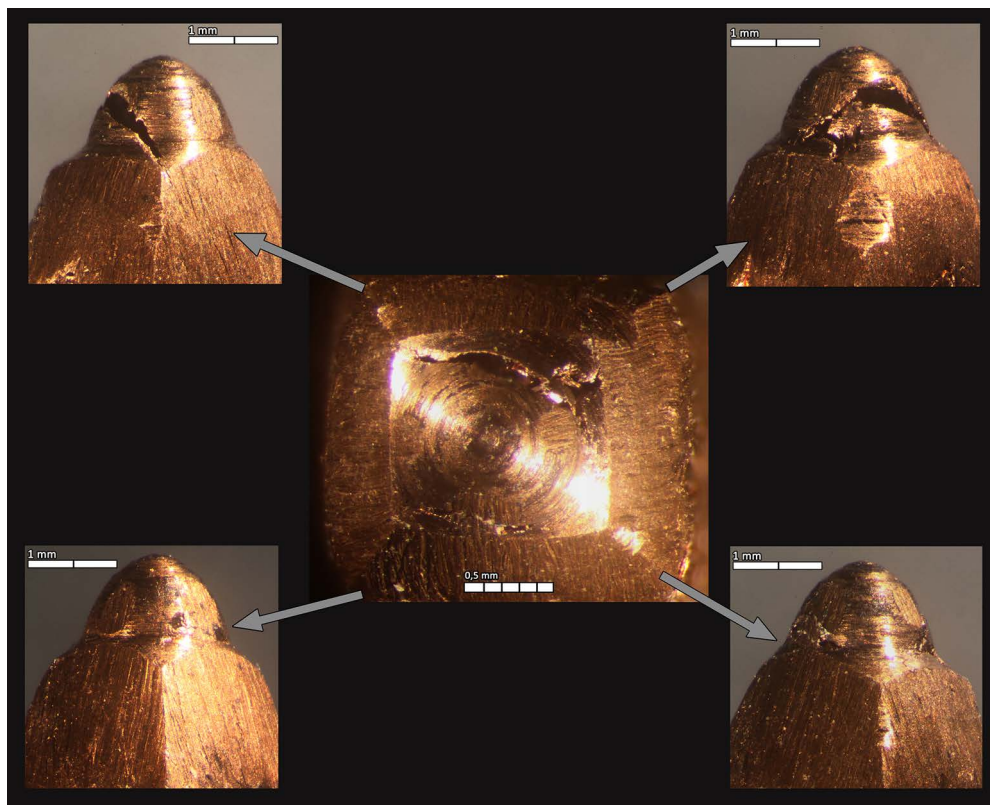
Lám. 7.—Deformaciones de los ápices de punzones metálicos.



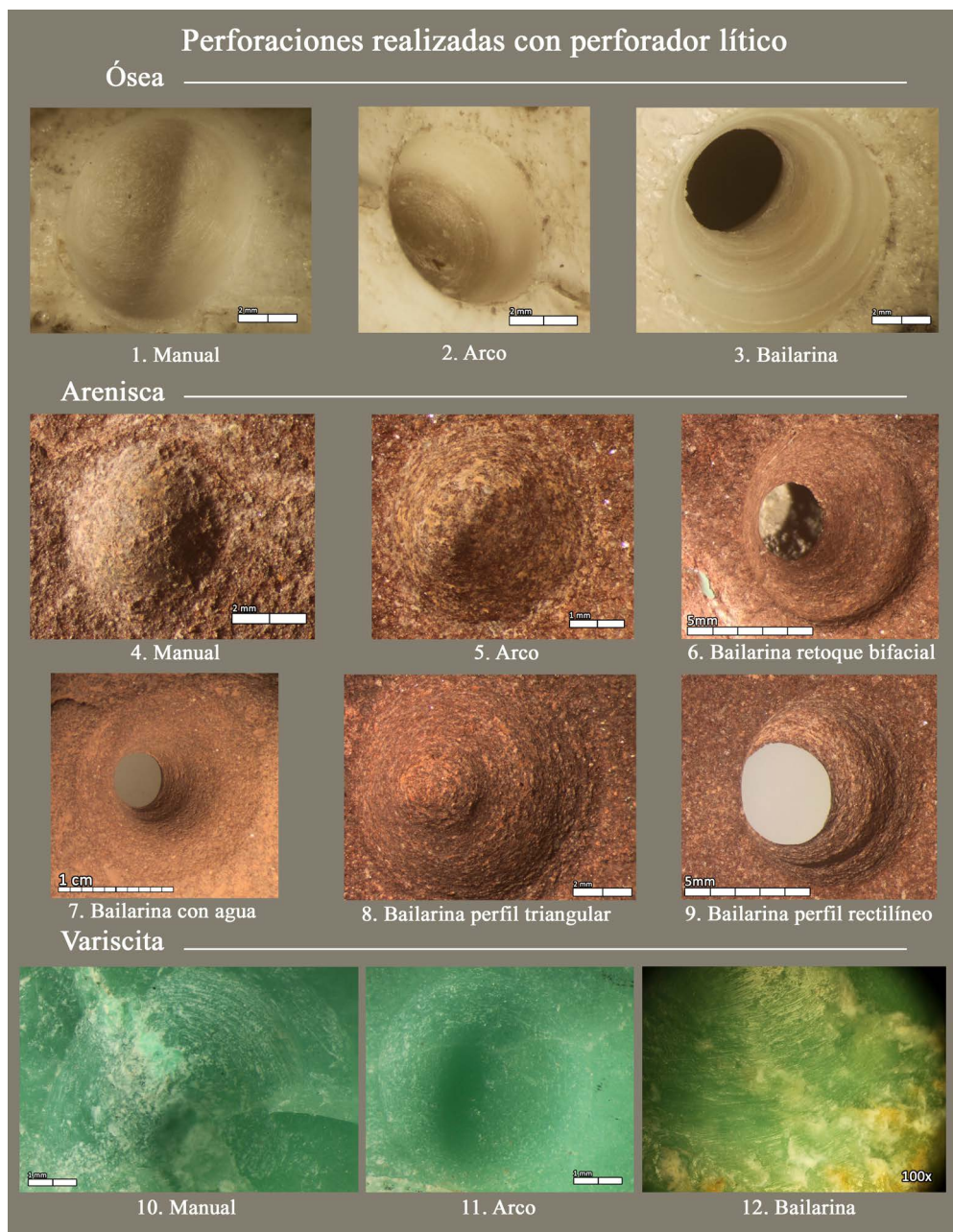
Lám. 8.—Distribución más intensa de las huellas en laterales alternos. Punzón de bronce (Sn 8%) empleado con bailarina sobre arenisca con agua.



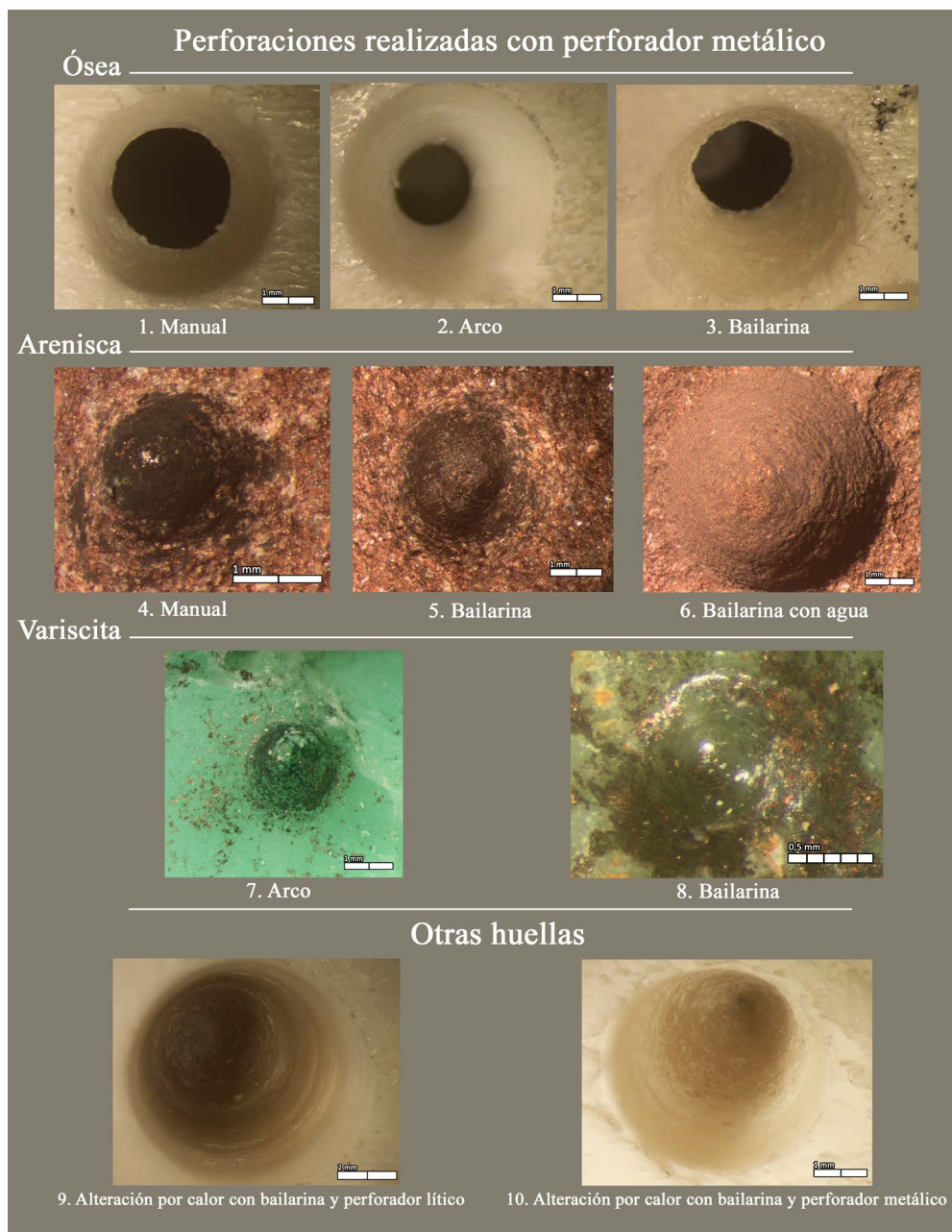
Lám. 9.—Distribución de las huellas solo en laterales alternos. Punzón de bronce (Sn 2%) empleado con bailarina sobre hueso.



Lám. 10.—Ápice redondo con fisuras y surco en tres cuartos de su recorrido. Punzón de bronce (Sn 8%) empleado con arco sobre variscita.



Lám. 11.—Perforaciones realizadas con perforadores líticos.



Lám. 12.—Perforaciones realizadas con punzones metálicos.