

COMENTARIOS METALURGICOS
A LA TECNOLOGIA DE PROCESOS DE ELABORACION
DEL ACERO DE LAS ESPADAS DE TOLEDO
DESCRITAS EN EL DOCUMENTO
DE PALOMARES DE 1772

POR

JOSE MARIA PELAEZ VALLE

VEINTICUATRO de abril de 1761. Carlos III de España hace honor de su regia visita a la Fábrica de Armas de Toledo, que, constituida a expensas del real erario, ha sido puesta en marcha en 1760 por el oficial teniente coronel don Luis de Urbina y Ortiz de Zárate, a quien se ha encomendado por real decreto el restablecimiento de las Reales Fábricas de Armas de Placencia (Guipúzcoa) y Toledo ¹.

La creación de la Fábrica sigue la línea político-económica que el rey pretende en el afán de fomentar las actividades fabriles y artesanales en un intento de transformación de la estructura económica del país ². Un testigo de esta visita, don Francisco de Santiago Palomares, que, según sus propias declaraciones, había intervenido en conversaciones previas con los oficiales reales designados al efecto del establecimiento de la Real Fábrica, entrega, para su constancia y archivo, en el Arzobispado de Toledo, un documento fechado el 30 de septiembre de 1772. Poco imaginaria entonces Palomares que su documento, acompañado de una nómina o relación de espaderos célebres y sus marcas, constituiría la referencia más citada internacionalmente en el tema de la espadaría de Toledo.

Nuestro propósito, al comentar los distintos aspectos del documento, no es devaluar la credibilidad de su contenido, sino hacer un análisis ponderado que contribuya a una interpretación más precisa del mismo. Curio-

¹ JUAN VIDAL ABARCA, *Escudos de Vitoria, edificios civiles*.

² Bajo su mandato, y con ministros imbuidos del espíritu de la Ilustración, se funda asimismo la Fábrica de Porcelanas del Buen Retiro, se fomenta la minería y se crean el Banco de San Carlos y las Sociedades Económicas de Amigos del País. Sus intentos de modernización, sin embargo, no siempre serían del agrado del pueblo español. Poco tiempo después, en 1766, los «manolos» madrileños se sublevan contra la despótica orden de prohibir el uso de las largas capas y amplios sombreros en boga y exigen, con una algarada armada que llega hasta el Palacio Real, la dimisión del ministro Esquilache.

samente, el documento original, conservado en la Biblioteca de la Real Academia de la Historia, solamente es citado en aspectos muy parciales.

En lo que se refiere a su estructura, podemos diferenciar claramente dos partes. La primera, cuyo barroco título de *Noticia de la Fábrica de Espadas de Toledo que por tantos siglos existió hasta fines del XVII en que acabó, y del método que tenían aquellos artífices armeros para forjarlas y templarlas, aceros de que usaban y otras particularidades que las hicieron tan famosas en todo el mundo como apreciadas al presente, y de la que por el Rey nuestro señor que Dios guarde se estableció en esta ciudad año de 1760 por Francisco de Santiago Palomares Escribano Mayor de los primeros remates de rentas decimales de Toledo y su Arzobispado*, contiene una serie de disquisiciones históricas sobre el origen del establecimiento de lo que denomina Fábrica de Espadas de Toledo, que realmente más que constituir una estructura fabril en un concepto actual podría considerarse una agrupación gremial de artesanos independientes que labraron espadas desde tiempos muy antiguos³.

Igualmente contiene la descripción del proceso de tratamiento térmico de las hojas de espadas toledanas, famosas internacionalmente, tanto por su reconocida calidad metalúrgica como por acompañar a los legendarios conquistadores españoles en la fase de la gran expansión histórica de descubrimientos y conquistas del Imperio español. Estos aspectos metalúrgicos son los que analizaremos puntualmente intentando interpretar con criterios actuales el proceso descrito por Palomares. La segunda parte del documento, la más conocida, forma la publicación impresa de los nombres y marcas de espaderos recogidos por el autor y grabados en plancha por su hijo don Francisco Javier de Santiago Palomares.

Juzgamos muy importante para el análisis del documento considerar el contexto histórico en que se produjo y la credibilidad del personaje en los distintos aspectos que expone.

En primer lugar debemos decir que se trata de un hombre de letras —«Escribano de Rentas Decimales del Arzobispado de Toledo»— sin conocimientos técnicos específicos, ni siquiera los de su época, circunstancia que una lectura detallada del escrito demuestra fácilmente. En otro aspecto, Palomares, que es en realidad un aficionado entusiasta del tema de la espadería, tiene el mérito de haber realizado una amplia recogida de datos: los metalúrgicos, por observación directa en las forjas de la época, y los de recopilación de marcas, unos claramente obtenidos de la observación de piezas⁴ y otros, según manifiesta en su escrito, por haberlos to-

³ Cfr. JOSÉ MARÍA PELÁEZ VALLE, *La espada ropera española en los siglos XVI y XVII*, en GLADIUS, tomo XVI (1983).

⁴ Se puede deducir de la tabla de marcas que los nombres citados en los números 13, 15, 23, 31 y 36 tienen que haber sido recogidos por la inscripción de los

El acero que guarda en su man-
 nobre desde sus principios en el del y fabrica, antigua de
 la Villa de Mondragón, unida en España por su utilidad
 por celebrada en el mundo por sus virtudes de
 las Espadas de que de algunos siglos subsisten
 por decalado tan sobria quanto que son apreciadas por
 la mayor parte de las naciones del mundo, por su for-
 leza, harmonia, y flexibilidad.

4. Daxa lo que adelante se dire, me ha parecido
 preciso decir, que los funderos de las Espadas y otras ar-
 mas, usan siempre en la forja de la Arma blanca
 y menuda de que abundan las Riberas del Rio Tago, lo-
 me lo usan, y para lo usan todo lo que necesitan
 de hierro, y acero en su fundida, para dar sus manio-
 bras que para el fin se, resaca una porción de ella
 a la mano, y quando el acero y hierro de que for-
 jaban la Espada estaba hecho agua, y bien caldeado
 como debía, para la perfecta union y solda, emperaba a
 disparar algunas chispas muy vivas y brillantes como
 estrellas, inmediatamente la apartaban del fuego, y
 tomando un poco de tierra la tiraban al agua donde
 cuba la salida de las chispas, y luego pasaba al castigo
 del Inque y el resto continuándose era tal el tiempo
 que era necesario como qual consiguieron, y antiguamente
 los que usan la decada union de los Metales.

5. Del mismo acero de donde se fabrica
 con otras partes de otros Reynos de Texas o
 Armas de las muchas Valles que para el uso civil, y
 militar se usaron antiguamente en ellos: cuyo buen
 temple y fuerza se demuestra en las que aun existen
 y están entre los Curiosos.

6. Algunos, y no pocos, han creído que los antiguos

Fig. 2.—Reproducción fotográfica del Documento de Palomares donde hace referencia al proceso metalúrgico y al acero de Mondragón (del ejemplar existente en la Biblioteca de la Real Academia de la Historia).

mado de los registros del Ayuntamiento de Toledo. Aun así, el trabajo no es definitivo ni completo; piezas auténticamente inequívocas portan hojas de espaderos famosos referenciados en la tabla con marcas distintas a las que figuran en la misma ⁵.

Podríamos decir que la labor de recopilación de datos realizada por Palomares está hecha con sana curiosidad y amor por la espadería en sintonía de criterio con el «espíritu ilustrado» de la época. Si existen errores por la utilización de sus datos, éstos se deben fundamentalmente, más que a la intención y técnica del documento, a la ligereza con que muchos «expertos», sobre todo extranjeros, han tratado los temas españoles de ámbito armero, ya que la utilización de un documento como el que comentamos no implica ni el rechazo absoluto por contener errores ni la credibilidad plena de todo su contenido.

En el aspecto de la descripción de los procedimientos tecnológicos de ejecución de las espadas, debemos resaltar, aunque parezca obvio, que Palomares, si bien es un hombre de edad avanzada cuando hace el escrito, según se desprende de sus propias aseveraciones, no ha podido ser testigo contemporáneo del hacer de los espaderos famosos que labraron y templaron al «viejo estilo», sino sólo del trabajo de sus escasísimos continuadores. En efecto, el conde de Valencia de Don Juan ⁶ afirmaba que Dionisio Corrientes, muerto en 1733, era el único espadero conocedor de las antiguas técnicas. A mayor abundamiento, cuando se funda la nueva Real Fábrica, se llama al maestro Luis Calixto para adiestrar al personal, aunque, como se duele Palomares, se abandonan los viejos sistemas. Lógicamente es necesario normalizar las características de las espadas para acomodarse a las exigencias del Ejército ⁷.

En el manuscrito se presenta una curiosa contradicción. Por un lado, Palomares, que vive en una época donde los hombres cultos quieren que prevalezca la razón sobre los dogmas tradicionales, desea desmitificar el efecto de las aguas del Tajo diciendo que el temple y la calidad de las espadas se deben a la técnica de los espaderos y a los magníficos materiales empleados. Hasta aquí todo es correcto. Sin embargo, hace después afirmaciones de un barroquismo imaginativo delirante, tal como afirmar que

nombres de los espaderos grabados sobre las hojas, ya que las marcas que registra no son propias de espadero, sino evidentemente de contrastes iguales de la ciudad de Toledo.

⁵ Un simple ejemplo: Juan Martínez (el Viejo) usaba un contraste de figura parecida a una flor de lis que no aparece en la tabla de Palomares. Ejemplares de la colección Dresde HMD VI/306, INV 1606 y HMD INV 1832 I 170/17.

⁶ J. M. FLORIT Y ARIZCUN, *Catálogo de las armas del Instituto Valencia de Don Juan*.

⁷ Reales ordenanzas de 12 de julio de 1728 (época de Felipe V) referentes a la normalización de las hojas en las espadas militares.

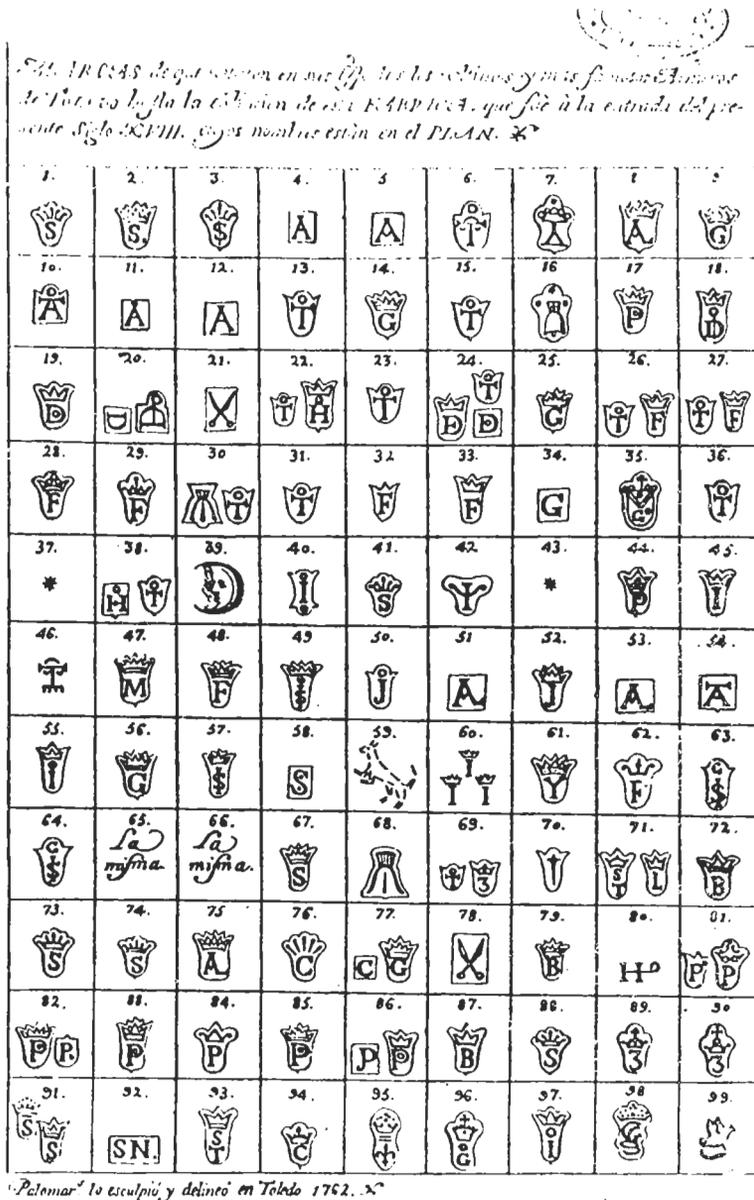


FIG. 3.—Marcas de espaderos registradas por Palomares (reproducciones del ejemplar existente en la Biblioteca de la Real Academia de la Historia).

NOMINA



De los últimos, y mas famosos ARMEROS DE TOLEDO,
que labraron Espadas hasta la entrada del presente Siglo XVIII,
en que acabò esta Fabrica.

Vén por Alfabéto, por no saberse de cierto el tiempo en que algunos
de ellos florecieron.

Las Marcas Matrices de que usaron se verán en la Estampa siguiente.

1. Alonso de Aragón, el viejo, vivió año de 1520.	✱	11. Juan de Meléndez.
2. Alonso de Sahagún, el mozo.	✱	12. Juan de Vargas.
3. Alonso Pérez.	✱	13. Juanes de la Herra. Vivía el año 1549.
4. Alonso de los Rios. Labró tambien en Cordoba.	✱	14. Juanes de Tullechó.
5. Alonso de Calas.	✱	15. Juanes de Alquimira.
6. Andrés Marinica, hijo de Zabála.	✱	16. Juanes Mulero.
7. Andrés Herrera. Labró tambien en Cuena.	✱	17. Juanes, el viejo.
8. Andrés Mançen. Labró tambien en Calatayud.	✱	18. Juanes de Urrea.
9. Andrés Garcia.	✱	19. Julian del Rey. Labró tambien en Zaragoza, y en otras Asturias.
10. Antonio de Batena.	✱	20. Julian Garcia. Labró tambien en Cuena.
11. Anton Gutierrez.	✱	21. Julian de Zamora.
12. Antonio Gutierrez.	✱	22. Joseph Gomez, hijo de Francisco Gomez.
13. Antonio Ruiz. Labró tambien en Madrid. Vidé asimismo la Cifra de su Nombre.	✱	23. Jusepe de la Herra, el viejo.
14. Adrian de Zafra. Labró tambien en San Clemente.	✱	24. Jusepe de la Herra, el mozo.
15. Aristotomé de Nieva.	✱	25. Jusepe de la Herra, el Niervo.
16. Casado, y el Campanero, Campaneros, Labraron en Corillas, y Badajoz.	✱	26. Jusepe de la Herra, el Viejo.
17. Domingo de Orozco.	✱	27. Jusepe del Haza, hijo de Silvestre Nieto.
18. Domingo Maestre, el viejo.	✱	28. Ignacio Fernandez, el viejo.
19. Domingo Maestre, el mozo.	✱	29. Ignacio Fernandez, el mozo.
20. Domingo Rodriguez.	✱	30. Luis de Niever.
21. Domingo Sanchez, llamado comunmente: El Taxerero.	✱	31. Luis de Ayala, hijo de Thomas de Ayala.
22. Domingo de Aguirre, hijo de Herraño.	✱	32. Luis de Velmonte, hijo de Pedro de Velmonte.
23. Domingo de Lima.	✱	33. Luis de Sahagun, hijo de Alonso el viejo.
24. Dionyflo Corsientes. Labró tambien en Madrid.	✱	34. Luis de Sahagun, llamado Sahagunillo, hijo de Alonso el viejo.
25. Fabian de Zafra, hijo de Adrian.	✱	35. Luis de Nieva. Labró tambien en Calatayud.
26. Francisco Ruiz, el viejo.	✱	36. Lopez Aguado, hijo de Juanes Mulero. Labró tambien en San Clemente.
27. Francisco Ruiz, el mozo, fu hijo, hermano de Austole.	✱	37. Miguel Cantico.
28. Francisco Gomez.	✱	38. Miguel Sanchez, hijo de Domingo.
29. Francisco de Zamora. Labró tambien en Sevilla.	✱	39. Melchor Suarez. Labró tambien en Lisboa.
30. Francisco de Altozer. Labró tambien en Madrid.	✱	40. Nicolás Herraño de Aguirre, nieto de Herraño, 1637.
31. Francisco Ludi.	✱	41. Pedro de Toro.
32. Francisco Cordu.	✱	42. Pedro del Archiga.
33. Francisco Pérez.	✱	43. Pedro Lopez. Labró tambien en Orgaz.
34. Giraldo Reta.	✱	44. Pedro de Lerama. Labró tambien en Sevilla.
35. Gonzalo Simón.	✱	45. Pedro de Ligarreta. Labró tambien en Bilbao.
36. Gabriel Marinica, hijo de Zabála.	✱	46. Pedro de Orozco.
37. Gil de Almad.	✱	47. Pedro de Velmonte.
38. Herraño de Aguirre, el viejo.	✱	48. Roque Hernandez.
39. Juan Martin.	✱	49. Sebastian Hernandez, el viejo. Vivía 1637.
40. Juan de Leyalde. Labró tambien en Sevilla.	✱	50. Sebastian Hernandez, el mozo. Labró tambien en Sevilla.
41. Juan Martinez, el viejo.	✱	51. Silvestre Nieto.
42. Juan Martinez, el mozo. Labró tambien en Sevilla.	✱	52. Silvestre Nieto.
43. Juan de Almas.	✱	53. Thomas de Ayala. 1643.
44. Juan de Toro, hijo de Pedro de Toro.	✱	54. Zamorano, el Toldeano.
45. Juan Ruiz.	✱	55.
46. Juan Martinez de Garain, Zabála, el viejo.	✱	56. } Estas quatro Marcas son de Fabricantes de Toledo,
47. Juan Martinez Merchaca. Labró tambien en Lisboa.	✱	57. } cuyos Cifras originales, entre otras, que van en esta
48. Juan Rota.	✱	58. } lista, estan en el Archivo de su Ilmo. Ayuntamiento.
49. Juan Muzeno.	✱	59. } La de este número 59. se ignora quien la usó.
50. Juan de Salgado. Labró tambien en Valladolid.	✱	

ADVERTENSE: Que muchos de estos Maestros, además de la Marca, gravaban su nombre con letras recuñidas en el canal del primer tercio de la Espada: El conocimiento de sus caracteres, y modo de estamparlos, asegura no poco la legitimidad.

Los números 57. y 43. no usaron Marca, solo estamparon el nombre.

FIG. 4.—Nómina o relación de armeros de Toledo que usaron las marcas reproducidas en la tabla de Palomares (del ejemplar impreso, anexo al manuscrito, conservado en la Biblioteca de la Real Academia de la Historia).

las partículas de oro de las arenas del río Tajo tienen una influencia decisiva sobre las propiedades de la espada o bien que la arena del río al «derretirse» sobre el acero, en «barniz finísimo», impide que se escapen en chispas los «espíritus del acero». Estas románticas connotaciones dan un interesante colorido al manuscrito, que, por otra parte, como veremos más adelante, describe procedimientos perfectamente admisibles desde el punto de vista metalúrgico.

Del contenido del documento, y dada su extensión, que impediría una reproducción completa del texto⁸, transcribimos a continuación los párrafos más interesantes relativos a la descripción del proceso.

- 4 *Para lo que adelante se dirá, me ha parecido preciso decir que los forjadores de las espadas y otras armas, usuarios siempre en la fragua de la arena y blanca y menuda de que abundan las riberas de río Tajo, como lo usaron y actualmente lo usan todos los artesanos del hierro y acero en esta ciudad, para todas sus maniobras que pasan por el fuego teniendo una porción de ella a la mano; y cuando el acero y hierro de que forjaban la espada estaba hecho de ascua, y bien caldeado como debía para la perfecta unión y solidez, empezaba a disparar algunas chispas muy vivas y brillantes como estrellitas, inmediatamente la apartaban del fuego, y tomando un poco de arena la tiraban al ascua con que cesaba la salida de las chispas y luego pasaba al castigo del yunque y martillo continuándose esto todo el tiempo que era necesario con lo cual consiguieron y consiguen hoy los que la usan, la deseada unión de los metales.*
- 6 *Algunos, y no pocos, han creído que los antiguos armeros de Toledo, poseían y tenían secreto reservado para el temple de sus armas pero se engañan, pues nunca tuvieron, ni usaron otro que el agua del río; no haciendo otra cosa que guardar este método: luego que la hoja estaba perfectamente forjada, labrado y limado su recazo y espiga en la forma ordinaria pasaba al templador, en cuya fragua y en medio de ella estaba la lumbrera hecha un reguero de tres cuartas de largo más o menos, y teniendo sobre él la hoja de modo, que de las cinco partes de su largo, solo cuatro percibían el fuego, dejando fuera de él el trozo o porción del recazo y espiga y dando fuego igual a lo demás, estando hecho ascua y de color de cereza, tomaban la hoja con las tenazas por la espiga, y la dejaban caer perpendicularmente de punta en un cubo de madera largo y angosto, lleno de agua clara y fresca, de hondo con corta diferencia lo mismo que el largo de la*

⁸ El texto se transcribe literalmente, aunque nos ha parecido oportuno el uso de la ortografía actual.

hoja, y estando fría se sacaba, y observaba si se había torcido o volteado alguna cosa, y si lo estaba (como regularmente sucedía) echaban un poco de arenilla sobre el Tas o Yunque, ponían la hoja sobre ella, y con la piqueta en frío golpeaban con tiento y cuidado la parte cóncava de la tal vuelta, continuándolo por todo su largo, hasta que quedaba la hoja perfectamente derecha. Después volvía al fuego participando de él únicamente aquella quinta parte que antes no lo recibió y estando fogueada, y de color de hígado, esto es cuando quería hacerse ascua la tomaban con la tenaza por la espiga, y desde el recazo hasta la punta daban una pasada de sebo de carnero, o macho en rama; esto es riñonada sin derretir y al punto empezaba a arder el untado, y así se arrimaba la hoja a la pared punta arriba, hasta que se apagaba y enfriaba: con esta operación quedaba el temple un poco revenido de modo que la hoja nunca brincaba ni doblaba últimamente pasaba la espada al amolador y acicalador.

- 10 *Ya se viene a la mano como rodaba la especie del uso de estas arenas por los antiguos artesanos armeros y cuchilleros de Toledo al tiempo que forjaban las espadas, y cuando empezaba a caldear el ascua: si preguntásemos a estos operarios, así antiguos, como modernos que así la vieron practicar a sus Maestros, y más ancianos, y que con ello cesaba el disparo de chispas del ascua, cosa que no satisface, ni descubre lo noble del secreto que encierran en sí estas arenas. Ya se ha dicho las innumerables partículas de oro impalpables de que constan y es, pues, cierto que luego que cae sobre la ascua de los metales de acero y hierro de que se forma la espada, cuando ya empieza a caldear, y está en su mayor vigor el fuego; se liquida y derrite la arena de modo que baña toda la superficie de la ascua como si fuese todo un barniz finísimo, que cubre los innumerables poros del metal abiertos a la violencia del fuego por donde se exhalan y escapan sus espíritus en las chispas que se ha dicho; los que retrocediendo y reconcentrándose en sí, mantienen su fuerza y virtud, permitiendo que con el castigo del macho yunque se consolide, incorpore, y una perfectamente aquella masa que es lo que consiste la solidez, y firmeza de la espada. No se halla dificultad alguna en se liquiden, y derritan las partículas de oro casi impalpables, que aun por eso están más propensas, como ni tampoco en que se derritan los demás granitos o particillas de la arena que su color y brillantez indican ser metálicas; y junto lo uno con lo otro impiden se exhalen, o disipen los espíritus del acero: Esta Observación la he hecho varias veces sólo por gusto gastando algunos ratos en las noches de invierno, viendo trabajar a los artífices sin haber sacado más fruto que algu-*

nos agujeros en la capa y vestido, dándolo todo por bien empleado y no mal gastado el tiempo aun en cosa tan extravagante.

- 16 *Continúa la fábrica, y es creíble sea con cuidado, y esmero; por ser así del agrado del Rey N. S., no habiendo yo vuelto a ella a ver a trabajar a los operarios algunos ha, bien que de pocos cierta no me ha sido posible (aunque quisiera), por hallarse mi vista deteriorada y casi perdida, pero tengo entendido no usan el acero de Mondragón, sino del de fábricas extranjeras, y que no se practican aquellas reglas que guardaron los antiguos armeros tanto en la espada, cuanto al temple y revenido, de que por menor advertí a los principios teniéndolo tal vez por fútil y de poca importancia, y así parece se despreció; pues que en lugar de arenilla de Tajo se ha usado y usa de la molada o légamo que producen las piedras de amolar que después de seco queda hecho polvo sutil: esto habrá quien juzgue y aún crea que es un equivalente, pero yo no diré ni creeré tal, sabiendo muy bien que este polvo ni la piedra de que procede, no la liquida ni derrite el fuego por más fuerte y voraz que sea como derrite la piedra berroqueña, el ladrillo cocido y resina, o barro de que se fabrica, de que tengo en mi estudio fragmentos de estos géneros con el motivo de haberme hallado presente en la maniobra y fundición de la campana grande de esta santa primada Iglesia que se hizo el 22 de Diciembre de 1753, habiéndose fundido en dos hornos de reverbero, que comunicaban uno con otro, 1788 arrobas de metal, y ya se ve cuán fuerte y continuado sería el fuego pues derretía parte de los ladrillos, y barro con que por lo interior estaban jabarrados y guarnecidos los hornos, chorreando como blanda cera o sebo, como también algunos pedazos de piedra berroqueña aunque ésta se resiste pero cede convirtiéndose todo en una pasta de varios colores, como si fuere vidrio; y sabiendo el fundidor por repetidas experiencias, que la piedra que llaman de amolar no es capaz de derretirse, colocó algunas de ellas donde el fuego podía hacer mayor estrago aunque logró el fin que deseaba. De lo dicho se colige cuán inútil es el uso de este polvo, pues que no puede hacer el maravilloso efecto que las arenas del río; y aunque se vea cesar la salida de las chispas, de que arriba se ha hecho mención, no se debe confiar, pues que por insensible transpiración se exhalan mucha parte de los espíritus del acero, como que unos poros no están cubiertos de aquel barniz que producen las arenas.*
- 17 *Por lo tocante al templar de la espada, luego que está hecha ascua la meten tendida de corte en una caja de madera prolongada a modo*

de canalón llena de agua, y estando fría la sacan, y no tengo noticia de que para el revenido usen el sebo en rama que se ha dicho, sino de un poco de aceite común: todo lo cual es diametralmente opuesto al invariable uso y práctica de los armeros antiguos por tanto no es de extrañar que las espadas hasta aquí labradas en esta Real fábrica aunque al principio obedezcan a la prueba saquen algún resabio de quebradizas u otro que las haga despreciables, aunque tengan la buena proporción que se requiere en gruesos y figura, y sería bien se mirase a mejor luz negocio tan importante.

Considerando aspectos solamente técnicos y excluyendo los que corresponden al terreno de la fantasía, es evidente que precisemos evaluar, o al menos tener en cuenta, los factores siguientes refiriéndonos, naturalmente, a la época de ejecución. Estos factores son: la tecnología empleada, la morfología y constitución de la hoja, los materiales y medios utilizados, la tecnología del proceso térmico y los controles efectuados. Frente a aquellos elementos era preciso, a efectos de realizar una crítica objetiva, elegir una operativa empírica a ser posible, pero siempre teniendo en cuenta la lógica imposibilidad de hacer ensayos destructivos, es decir, obtener muestras para posteriormente examinar la estructura final por los procedimientos conocidos en metalografía. Igualmente, analizar la composición a partir de pequeñas virutas tampoco es factible sin una agresión irreparable a la pieza.

Esta dificultad no era razón para desanimarse, ya que un examen metalográfico en esas condiciones solamente permitiría:

a) Observar la estructura metalográfica final después del tratamiento, pero siempre considerando que a esta estructura se puede haber llegado por diversos procesos distintos, lo que no aporta más luces que aclararnos que la estructura —evaluada también por algún ensayo complementario como, por ejemplo, dureza— podría ser adecuada a la utilización de las hojas.

b) Identificar la estructura «en esa zona» cuando sabemos que muchas hojas de Toledo se fabricaban con materiales heterogéneos⁹: un núcleo de hierro, es decir, acero pobre en carbono y una cubierta exterior de acero con composición de carbono superior al porcentaje con el que pudiera obtenerse temple (superior al 0,3 por 100). Bajo este aspecto, un corte transversal reflejaría no sólo diferencia de colocación de materiales —punta, zona intermedia, recazo y espiga—, sino también estructuras metalográficas distintas en las zonas del mismo material por influencia de los espesores y de los resultados de los tratamientos térmicos

⁹ Cfr. *La espada ropera...*, cit.

sobre ellas. Para mayor complejidad, no todos los espaderos de Toledo usaron el procedimiento de unión de materiales heterogéneos, sino que algunos partían de una composición homogénea de acero.

Si además consideramos que aun a costa de sacrificar una hoja auténtica no podríamos extrapolar ni considera representativa su composición ni su estructura, no hay duda de que la obtención de muestras para examen metalográfico de un ejemplar no puede proporcionar más que una información restringida a una zona «de esa pieza» y que, además, no desvela la exactitud de su proceso térmico¹⁰. Incluso en la elección de una hoja auténtica de Toledo podríamos cometer algún serio error.

No podemos dejar de hacer un inciso con una llamada de atención a algunos expertos extranjeros en espadería cuando tratan piezas con hojas españolas. Reconocemos que la moda de la época de fabricar, marcar o grabar hojas con nombres de espaderos notables de Toledo, acompañados incluso con punzones de algún espadero famoso extranjero¹¹, hace difícil a veces la identificación de origen; pero no puede por menos de sorprender que unas veces admitan como auténticas graffas con fonemas ostensiblemente espurios ni que, por esa dificultad de identificación en otros casos, no completen con una definición de características y de origen la hoja de la espada, limitándose a clasificarla con la denominación de origen de la guarda o una atribución sin base al autor de ésta. Nos parece que esta conducta comporta valorar sólo una parte de la pieza, olvidándose de algo fundamental como era en la espada la calidad de la hoja.

Por tanto, el camino válido para una crítica del proceso parecía lógico que debería encaminarse a analizar, de un lado, aquellos aspectos que no requieren ninguna prueba empírica, y de otro, intentar reproducir un proceso de tratamiento sobre un acero equivalente siguiendo el relato de Palomares y comprobando su verosimilitud por procedimientos técnicos modernos. Ambos son los métodos que hemos utilizado.

Como aporte informativo de base, se procedió a la comprobación mediante espectroscopio de emisión óptica por chispa eléctrica del porcentaje de carbono superficial y de la no presencia de elementos de aleación en la hoja de la fotografía. El ensayo, aun a riesgo de dejar marcas sobre la superficie, se efectuó sobre la hoja en el recazo y tercio medio.

¹⁰ Un trabajo metalográfico interesante es el de A. R. Williams (GLADIUS, tomo XIV [1978]) sobre muestras obtenidas, según creemos, de piezas deterioradas por rotura o causas análogas.

¹¹ Ejemplar de la colección Dresde HMD-VI 225 INV 1832. Recazo con punzones de Peter Munsten de Solingen con grabado espurio del nombre de Juan Martínez.

RESULTADOS OBTENIDOS SOBRE LA HOJA DE ESPADA

1.º Carbono medio, 0,5 por 100.

2.º Ausencia de elementos siguientes: Ni, Cr, Mn y Mo, elementos todos ellos presentes en la mayoría de los aceros modernos, incluso en los aceros al carbono, por no poderse eliminar su presencia en los medios de fusión: hornos, lingoteras, etc. Este sistema, conjuntamente con la estimación objetiva de la hoja, garantiza que se trata de un acero de época.

3.º Microdurezas. Método Vickers, con carga de 30 kg./HV₃₀. Dureza media (tres lecturas en tercio fuerte, medio y punta: 455). Este resultado se identifica con los valores obtenidos por muestreo realizado sobre seis hojas de época de Toledo, cuyas durezas alcanzaron valores entre 385 y 460 HV₅. De los valores se desecharon las cifras mínimas por entender que correspondían a zonas de bajo contenido en carbono, posiblemente puestas al exterior como consecuencia de desgastes por limpiezas y afilados.

A continuación, y partiendo de un supuesto estimado medio del porcentaje de carbono medido en la zona exterior del 0,5 por 100, se evaluó el contenido de «carbono equivalente» de un acero laminado actual en forma de pletina de 40 × 5 mm. a fin de calcular la influencia sobre el temple de los componentes de este acero. Elegido un tipo F-1130, norma UNE 36-011-75, equivalente al CK-35, según DIN 17.200, se verificó la composición por espectrómetro con los resultados siguientes:

<i>Elementos</i>	<i>%</i>	<i>Elementos</i>	<i>%</i>
C	0,388	Al	0,013
P	0,029	Ti	< 0,02
Cr	0,12	S	> 0,06
Ni	< 0,14	Si	0,48
Mo	< 0,03	Mn	0,58
Cu	0,452		

Cálculo del carbono equivalente:

$$C = \% C + \frac{\% Mn}{6} + \frac{\% P}{2} + \frac{\% Ni}{15} + \frac{\% Cr}{5} + \frac{\% Mo}{4} + \frac{\% Va}{5} + \frac{\% Cu}{12}$$

Resultado: C = 0,53 por 100.

Así, pues, partimos de un acero con carbono equivalente al de época para experimentar sobre él el procedimiento descrito por Palomares. En el documento se cita el uso del acero de Mondragón¹², de excepcional

¹² Obtenido con mineral de la Peña de Udala (*Udal Atxa* o *Udal Aitz*, en lengua euskérica).

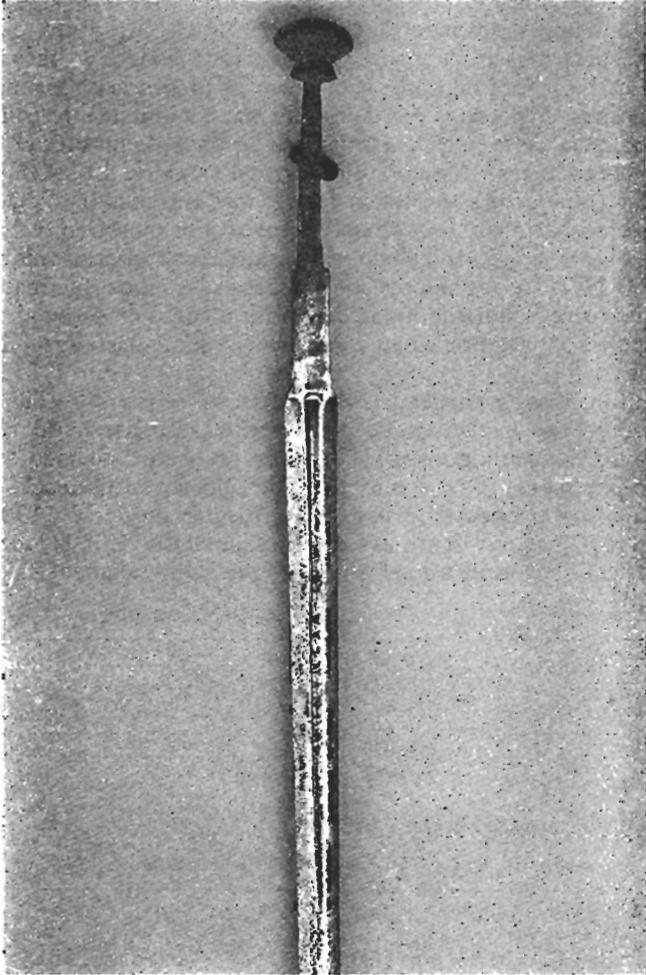


FIG. 5.—Hoja de espada de Pedro Hernández que se utilizó para la determinación del porcentaje de carbono mediante espectrómetro.

Armeros de Toledo, que en su secreto decían
para el temple de un acero, pero secretamente, por miedo
tubicaron, ni uniron otro que el agua del río; no haciendo
otra cosa sino: la sala era grande: alago que la sala estaba
perfectamente forrada; cubiéndola y limpiando su techo y paredes
en la forma ordinaria que se al templador, en una forma
y en medio de ella estaba laumbre hecha un véquero de diez
cuartas de largo por más o menos, y tendiendo sobre él
la sala de modo que delas cinco partes de un largo, solo quedaba
tres por un lado el fuego; dejando fuera de él el otro división
de véquero y espiga, y dando fuego igual a lo demás, estando
hecho agua y color de ceniza, tomaban la sala con las te-
naras por la espiga, y la dejaban caer perpendicularmente de
punta en un cubo de madera largo y ancho otro, lleno de agua
clara y fresca de fondo con mucha diferencia lo mismo que el
largo de la hoja, y cuando fría se sacaba, y se cubaba si se
había tocado o tocado alguna cosa, y si lo estaba (como se
regularmente sucedía) necesitaban un poco de esponilla sobre el
fuego; o si no, ponían la hoja sobre ella, y con la espiga en
fondo apoyaban con tiento, y unido la espiga con una vela tal
buena, convenientemente untada de sebo, hasta que quedaba la hoja
perfectamente derecha. Después volví al fuego, y a un punto
de él únicamente aquella junta parece que antes no le recibía,
y cuando se quemaba, y de color de hierro, era el quando que era
hecho agua, la comían con las tenaras por la espiga, y se
el véquero hecho isométrico sobre una brada de sebo de Can-
nery, o Alachó en Loma; pero es un modo sin decirlo, y
reponer empobrecida a abrir lo humado, y así se acababa
la hoja de la pared punta arriba, hasta que quedaba y era
fría: Otra operación quedaba el temple unido y veniendo
se modo que la hoja nunca buñada ni doblaba ultimamente
periba la espiga a el templador y al color.

7. Con muchos los libros, y libros que estaban
los libros de Toledo, por las diferentes cantidades que se usaban

FIG. 6.—Fotografía de la página del Documento de Palomares donde refiere los procesos térmicos de temple y revenido según el sistema de los armeros de Toledo.

calidad, y del que desde muy antiguo existe constancia¹³. Los antiguos conocían claramente la diferencia entre hierro y acero, como lo prueba la diferencia de precio entre uno y otro material, estimado en proporción de tres a doce veces —según la época— del acero respecto al hierro, coste necesario para realizar la recarburación del hierro en cajas, o por tener que seguirse procesos muy costosos de elaboración directa por pudelado en hornos de solera baja.

Para las experiencias de tratamiento tomamos una longitud de 560 milímetros con la sección indicada de 40×5 mm.

Antes de relatar las experiencias realizadas y volviendo al texto de Palomares, citaremos los apartados numerados siguientes para relacionar el contenido bien con los conocimientos actuales, bien con la experiencia realizada.

PARTE 4 Y 10 DEL ESCRITO

Respecto a los conocimientos actuales, la arena fina citada servirá «exclusivamente» como lecho o como cobertura de la hoja —en proceso de forja o forjada— a fin de repartir el calor, tanto en su calentamiento como para protegerla de oxidaciones y enfriamientos demasiado rápidos. No es válida su afirmación de que al derretirse se formaría un barniz finísimo. Palomares se refiere, claro está, a las bataduras u óxidos superficiales que se producen al forjar. Tampoco es admisible la suposición de que «taparía los poros del metal abierto a la violencia del fuego» y menos aún que las partículas de oro de la arena, cuya presencia es fruto de la fantasía, contribuyeran, aun en el caso hipotético de existir, a una mejora de propiedades del acero. Sí, en cambio, es factible suponer que la arena se usara a veces en el martilleado para amortiguar los golpes y suavizar las marcas durante las operaciones de estirado o recalcado.

PARTE 6

Aunque Palomares no describe las operaciones de forjado propiamente dichas, es conocido el trabajo de configuración previa al temple en las hojas de Toledo¹⁴.

Es curioso resaltar la vigencia de terminología de las palabras de los útiles descritos como «Tas, Yunque, Tenazas, Piqueta, Fragua, etc.».

¹³ Acuerdo de la Junta General de la Hermandad de Guipúzcoa respecto a la industria armera: *Sobre el acero de Mondragón*, Hernani, 1587. Cfr. RAMIRO LARRAÑAGA, *Síntesis de la armería vasca*.

¹⁴ Cfr. *La espada ropera...*, cit.

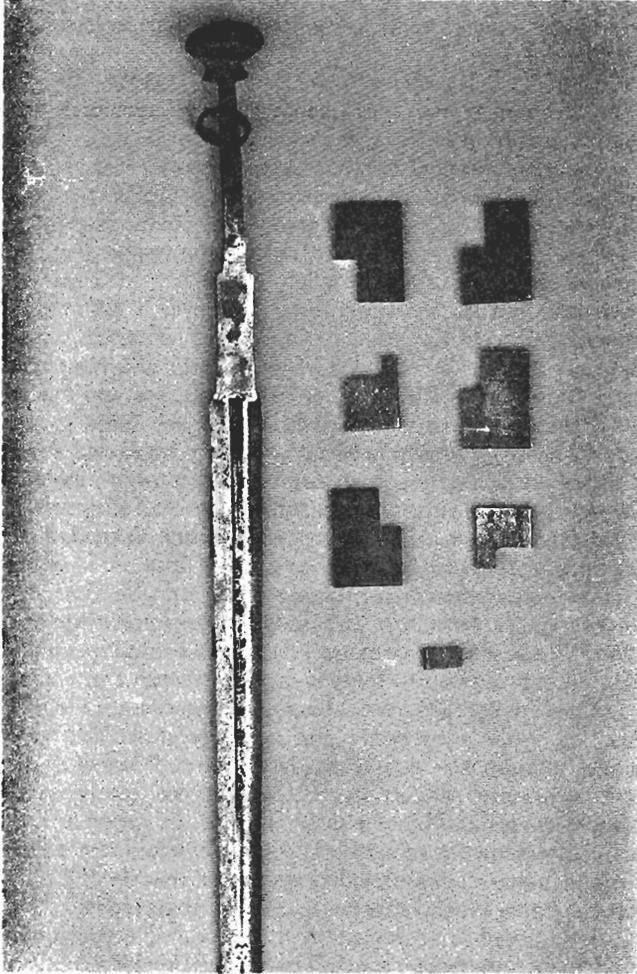


FIG. 7.—Fotografía de la hoja de espada ensayada presentando en el recazo las marcas que se produjeron en el ensayo. Las probetas que se produjeron de la derecha corresponden a las distintas experiencias realizadas sobre el acero equivalente.

En lo que respecta al temple y posterior revenido, términos absolutamente en vigencia, expondremos la experiencia seguida con el acero de perfil rectangular a que antes nos hemos referido.

En un primer análisis de la exposición de Palomares resaltan dos aspectos importantes:

a) *Definición de la forma y zonas de calentamiento.* En el texto se dice: «Estaba la lumbre hecha un reguero de tres cuartas de largo poco más o menos y teniendo la hoja de modo que de las cinco partes de su largo, sólo cuatro percibían el fuego, dejando fuera el trozo o porción del recazo y espiga...» Podemos deducir de esta descripción que la intención de conseguir el temple se dirigía solamente a las cuatro quintas partes de la longitud de la hoja, ya que el resto no alcanzaba temperatura suficiente para la austenización y posterior temple.

b) *Interpretación de la temperatura de temple y ejecución del mismo.* Palomares indica en el párrafo al respecto: «Cuando estaba hecho ascua y de color de cereza...» Puede interpretarse una temperatura que la pirometría óptica asimila a un nivel de 850° C, que era cuando se inmersiónaba en agua la longitud señalada y se dejaba fuera el recazo y la espiga para conseguir de principio menor dureza y fragilidad en esta zona.

Es de sobra conocido que la estructura martensítica así conseguida debería obtenerse por un enfriamiento súbito que en el diagrama de transformación isotérmica de la figura corresponde a una velocidad de temple que permite quedar fuera de la demarcación del límite de la obtención de transformaciones no martensíticas. Desde este punto de vista, como después se demostrará, la estructura respondería a esta constitución.

En cuanto al auténtico tratamiento de revenido descrito *a posteriori*, se partía de un calentamiento sólo en la espiga y recazo a una temperatura correspondiente al color del rojo hígado, que podemos identificar con 650° C. Aquí es donde tropezamos con la mayor dificultad, ya que «no casaba» la alta temperatura citada con la lógica de obtención de una estructura que permitiese unas características óptimas, pues según las curvas de la figura correspondiente a la fluctuación de resistencia del acero en cuestión —directamente relacionada con la dureza de un acero de este porcentaje en carbono—, con un calentamiento a más de 400° C, tan sólo se obtendrían durezas mucho más bajas que las observadas.

El quid de la cuestión se determinó al considerar que el quinto de la longitud de la hoja, debido a su morfología, correspondía aproximadamente al tercio de su peso. Esta circunstancia se comprobó al someter el perfil de partida a una temperatura de 650° C en una longitud de su tercio, unos 215 mm., verificando que después de un calentamiento de media hora, protegiendo el resto con arena fina, alcanzaba en su longitud complementaria una temperatura de 350° a 400° C.

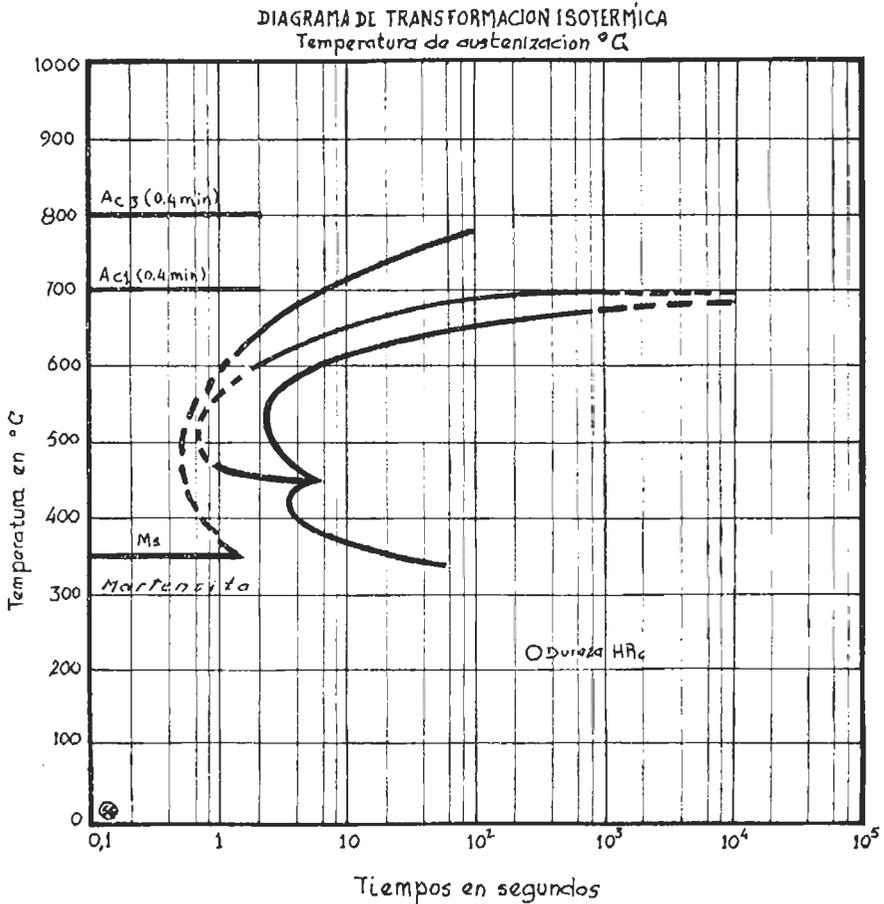


FIG. 9.—En el diagrama de transformaciones isotérmicas representado y correspondiente al acero equivalente utilizado se observa que el enfriamiento en agua, prácticamente inmediato, según cita Palomares, supondría alcanzar una estructura martensítica perfecta.

Aun así faltaba encontrar una razón al uso del sebo. Para ello se procedió a tomar una cantidad de 500 gr. de la grasa adherida al riñón de un cordero y se efectuaron pasadas sucesivas a temperaturas crecientes sobre la superficie plana del acero, tal y como se podría haber efectuado en la

época. A 100° C se producía ligera fusión en la zona de contacto, a 200° C se incrementó la fusión, a 300° C se presentaba un derretimiento más rápido y acusado y a 350°-400° C se produjo una súbita ignición con llama viva.

Aunque en un principio dudábamos de la finalidad de las pasadas

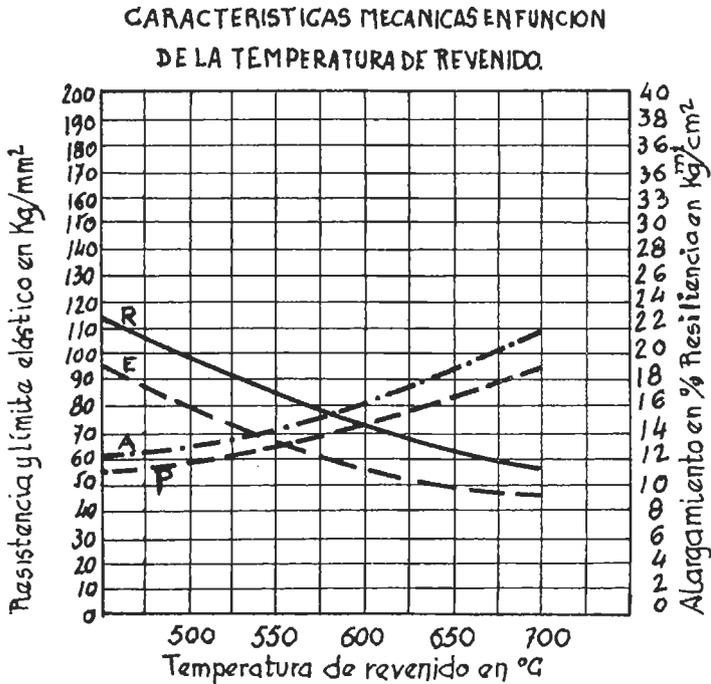


FIG. 10.—Las características mecánicas de resistencia, el alargamiento, dureza y resiliencia (medida de la fragilidad) fluctúan según el gráfico para el acero equivalente utilizado en las experiencias. El revenido posttemple, tal y como relata Palomares, pretendía alcanzar una estructura óptima que garantizase dureza superficial suficiente y resistencia a la fragilidad adecuada a la utilización de la hoja de espada.

con la grasa y llegamos a pensar incluso que la operación que efectuaban podría ser a título gratuito —aunque ellos le atribuyeran algún fin concreto—, la verdad es que no parecía tener utilidad de influencia sobre la estructura. A esta temperatura y en las condiciones citadas era imposible pensar en una recarburación superficial. La experiencia práctica realizada

nos llevó a la conclusión, que admitimos plausible, de que la ignición del sebo constituía en realidad un pirómetro práctico para determinar sobre seguro que en el calentamiento del revenido se había alcanzado la temperatura de 350° C si la grasa ardía. Con ello se garantizaba que los efectos del temple se aligeraran disminuyendo suficientemente la dureza y resis-

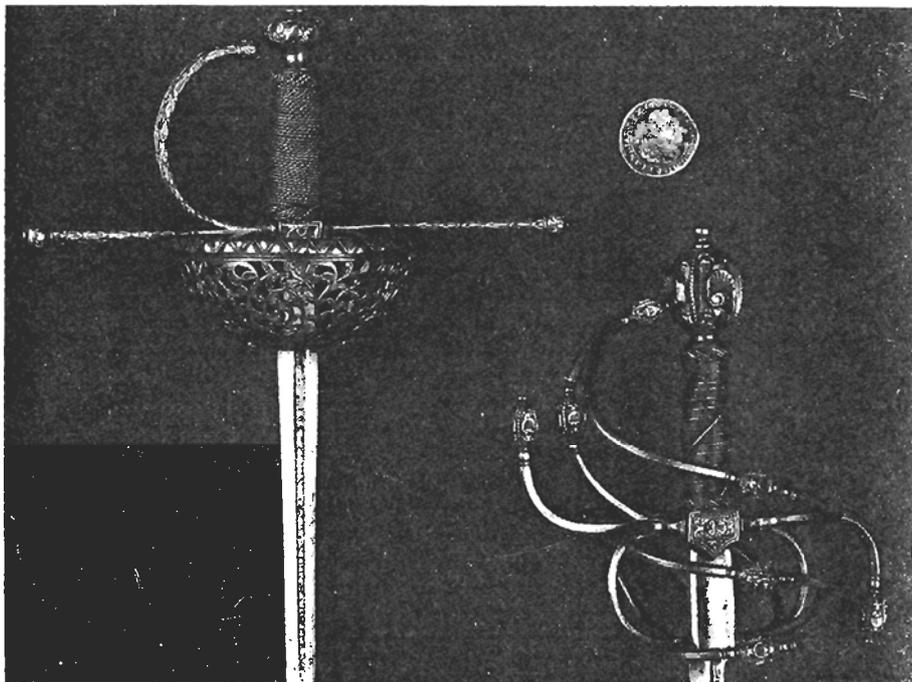


FIG. 11.—Dos extraordinarios ejemplares de espadas españolas con un ducatoon de Amberes de 1637 (colección particular).

tencia, manteniendo éstas en límites convenientes y aumentando notoriamente la resistencia a la fragilidad¹⁵.

Para estudiar las modificaciones estructurales, se cortaron las siguientes probetas, que sometidas a las experiencias indicadas, relacionadas con lo descrito, arrojaron los resultados que se indican:

¹⁵ En caso de sobrepasar la temperatura correcta en el calentamiento de revenido, las hojas no podrían ser capaces de superar las severas pruebas tecnológicas a que al final se sometían. Cfr. *La espada ropera...*, cit.

<i>Probeta</i>	<i>Temple</i>	<i>Revenido</i>	<i>Microdureza</i>
N.º 1	850° C	Sin revenido	660 HV ₅
N.º 2	850° C	Media hora a 150° C	625 HV ₅
N.º 3	850° C	Media hora a 450° C	386 HV ₅
N.º 4	850° C	Una hora a 450° C	358 HV ₅
N.º 5	850° C	Media hora a 500° C	345 HV ₅
N.º 6	850° C	Una hora a 500° C	336 HV ₅
N.º 7	850° C	Media hora a 350° C	476 HV ₅

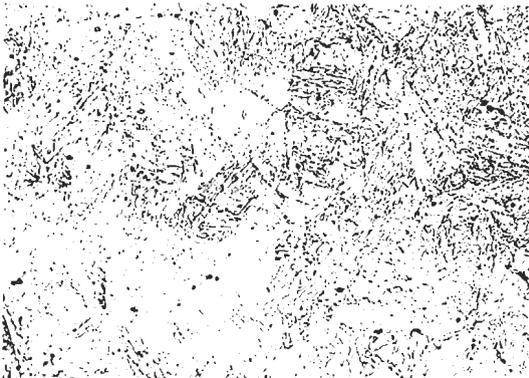
Para ilustrar las estructuras hemos realizado las micrografías correspondientes a las probetas referenciadas.

Como conclusión, puede admitirse que la similitud del proceso de calentamiento seguido, la ejecución del temple a las temperaturas relatadas y el posterior revenido a la temperatura media, detectada por la ignición de sebo, permite corroborar, al encontrar una estructura metalográfica adecuada al uso y una dureza similar a las determinadas en las piezas de época, que el proceso descrito por Palomares era técnicamente lógico y ajustado a lo posible. Ciertamente que no se ha podido partir de un acero de época, aunque sí equivalente, al menos, al de la superficie de las hojas antiguas, y tampoco se ha podido repetir el proceso de forja por razones obvias de incapacidad, pero es válido pensar que el acero utilizado o el antiguo, al ser calentados a la temperatura hipercrítica —véase el diagrama Fe-C de la figura 8—, se austenizarían igualmente con estructuras finales similares.

No podemos por menos, después de las experiencias e interpretaciones realizadas, que admirar la alta profesionalidad de los artífices espaderos, que no tenían más que conocimientos empíricos, carecían de documentación anterior y sólo se podían formar al lado de maestros por vía oral y práctica basada en la estricta transmisión personal. Desvelar hoy la exactitud de los probablemente diversos procedimientos para llegar a fines parecidos es prácticamente imposible.

Una vez más el hálito mítico y de misterio que siempre rodeó a las espadas de Toledo está por encima de los adelantos de la técnica. Los hombres y su experiencia se han perdido en el tiempo. No pueden repetirse procedimientos que requerirían la habilidad conseguida en toda una vida de trabajo.

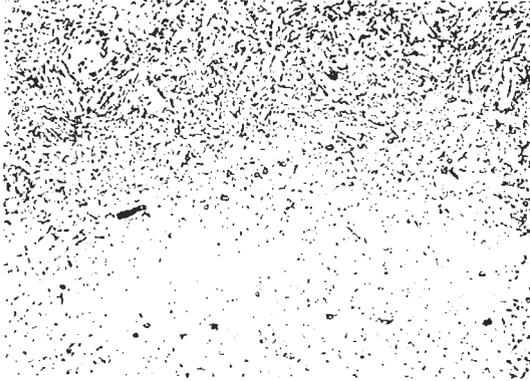
Para ellos nuestra admiración y respeto. Los forjadores de espadas compartieron con sus secretos el mérito de las hazañas de los valerosos hidalgos que se ganaron con sus aceros el reconocimiento de la historia y entraron en la leyenda.



PROBETA N.º 1: Acero equivalente templado a 850° C y enfriado por inmersión rápida en agua. Se observa claramente la estructura acicular martensítica. Dureza, 660 HV₅ (1.000 aumentos. Ataque nital, 1 %).



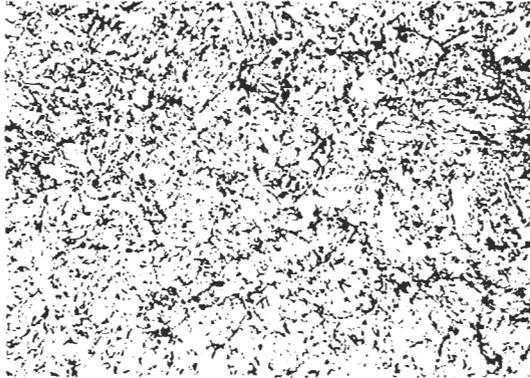
PROBETA N.º 2: Revenido sobre el acero equivalente a 150° C durante media hora. Estructura frágil. Dureza, 625 HV₅ (1.000 aumentos. Ataque nital, 1 %).



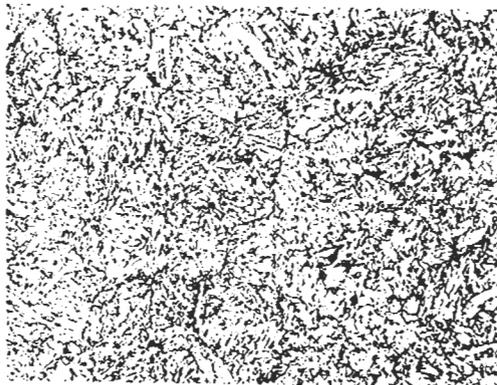
PROBETA N.º 3: Revenido a 450° C sobre el acero equivalente durante media hora. Estructura ligeramente blanda. Dureza, 386 HV_{0.05} (1.000 aumentos). Ataque nital, 1 %).



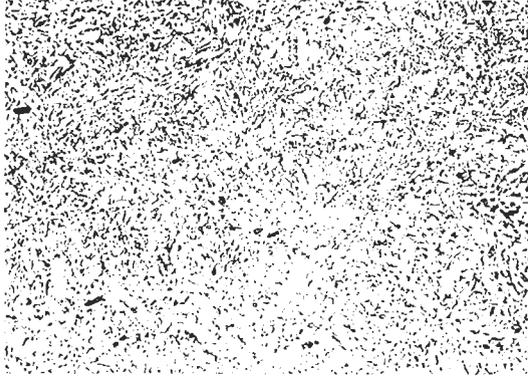
PROBETA N.º 4: Revenido a 450° C durante una hora sobre el acero equivalente. La estructura aparece con signos marcados de fuerte pérdida del efecto temple. Dureza, 358 HV_{0.05} (1.000 aumentos).



PROBETA N.º 5: Revenido del acero equivalente a 500° C durante media hora. En estas condiciones, la estructura no sería adecuada por haber eliminado gran parte del efecto temple. Dureza, 345 HV₅ (1.000 aumentos. Ataque nital, 1 %).



PROBETA N.º 6: Revenido a 500° C del acero equivalente durante una hora. A esta temperatura las transformaciones postemple han originado predominio acusado de las características ferríticas. Dureza, 336 HV₅ (1.000 aumentos. Ataque nital, 1 %).



PROBETA N.º 7: Temple a 850° C y revenido a 350° C. Dureza. 476 HV_s. Estructura muy adecuada al fin de uso. Esta estructura corresponde al proceso descrito por Palomares (1.000 aumentos).

AGRADECIMIENTOS

A don Miguel Angel Martínez López, excepcional metalógrafo y amigo, sin cuyo entusiasmo y decisiva colaboración no hubiera podido realizar este trabajo.

A don Armando Priegue Guerra, catedrático de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica en la E. U. I. T. I. de Vigo, que ha tenido la bondad de supervisar el trabajo.

A la Asociación de Investigaciones Metalúrgicas del Noroeste, por la cesión de sus medios para la realización de las micrografías.