

# Fabricación del acero de Damasco

RAFAEL CALABRÉS MOLINA  
ANTONIO JOSÉ CRIADO PORTAL  
JUAN ANTONIO MARTÍNEZ GARCIA

Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Complutense de Madrid

## RESUMEN

Acero de Damasco es la denominación que los europeos dieron al material del que estaban hechas las espadas musulmanas durante la época de las Cruzadas. Este acero hipereutectoide, presenta un alto contenido en carbono que supera el 0.8%. El secreto de sus buenas características mecánicas radica en los procesos de forja en caliente, en un intervalo de temperaturas entre 650 y 850°C, a los que se puede someter. El temple final en agua, salmuera y otras soluciones acuosas, confiere a las armas fabricadas con este acero una buena resistencia en su filo cortante y una tenacidad elevada.

## PALABRAS CLAVE

Acero hipereutectoide. Metalografía. Acero de Damasco. Forja en caliente.

## ABSTRACT

Damascus Steel is the denomination that the Europeans gave to the material with which the musliman swords were manufactured during the Era of the Crusades. This hypereutectoid steel presents a high content in carbon, more than 0.8%. The secret of its good mechanical characteristics is based in the hot forging process in the temperatures interval between 650 and 850°C. The final quenching in water, brine or other aqueous solutions, confers to the swords manufactured with this steel a good resistance to its cutting edge and a high toughness.

## KEY WORDS

Hypereutectoid steel. Metallography. Damascus Steel. Hot forging.

## INTRODUCCION

Son muchas las contribuciones que Córdoba aportó al Occidente Europeo durante la época musulmana. Muchas reliquias de aquel pasado glorioso del Emirato y del Califato están aún presentes en la actualidad. Algunas, como la Mezquita, son patrimonio de la Humanidad. La ciencia y la cultura florecieron como no lo habían hecho desde el Imperio Romano.

Sin embargo, pocos saben, o reconocen, que el corazón de aquella Córdoba esplendorosa latía gracias al acero de sus espadas y, menos aún, que ese duro metal era un famosísimo acero. La fuerza de las armas cordobesas contribuyó al sostenimiento de todo aquel mundo maravilloso (LÉVI PROVENÇAL, 1987).

A lo largo de la historia del hierro y del acero forjado, especialmente en las calidades empleadas en la fabricación de armas blancas, el acero de Damasco es un

producto magnífico y selecto desde la antigüedad. Esta importancia se mantuvo muy especialmente durante la Edad Media, siendo reconocida su influencia en una parte importante de la historia de la humanidad.

En cualquier colección privada o museística de armas históricas, la atención se centra en las de Damasco, producción peculiar y exquisita del arte antiguo, producto de los conocimientos, sensibilidad y maestría de los armeros medievales. Representan un producto muy especial de la industria del acero de todos los tiempos, y no solamente por su aspecto exterior, de dibujos tornasolados, reconocibles a simple vista en la superficie de la hoja de coloración bronceada (Láminas 1-4), sino también por sus buenas características mecánicas.

No es de extrañar que el secreto de la fabricación de esas armas, para obtener tales calidades, se haya convertido en leyenda con el paso de los siglos (SMITH, 1988;

FIGIEL, 1991). Conocer este secreto ha interesado desde siempre a los europeos, que no han logrado desvelarlo hasta el presente. Sólo gracias a nuestra investigación, realizada en la Universidad Complutense de Madrid, se ha desentrañado el laberinto de operaciones metalúrgicas necesarias para fabricar armas blancas con acero de Damasco.

Desde la antigüedad, la implantación de los diferentes reinos e imperios ha sido inseparable del desarrollo de la metalurgia. Los más importantes centros metalúrgicos fueron foco principal de relaciones comerciales e intercambio de conocimientos a todos los niveles. En ellos se avanzaba en nuevas técnicas, y los imperios, al abrigo de su superioridad armamentística, ampliaban sus áreas de influencia, intentando dominar los territorios de donde se extraían las materias primas: minerales de hierro y madera. Así mismo, se hizo necesario crear rutas comerciales

y protegerlas militarmente.

El acero de Damasco no fue ajeno a lo reseñado y se convirtió en avance tecnológico indiscutible y necesario en la rápida creación y mantenimiento futuro de los imperios islámicos. Las armas fabricadas con acero de Damasco, se extendieron con el avance del mundo musulmán, a través de las conquistas militares y el establecimiento de rutas comerciales internas. Prácticamente se reduce su existencia a este entorno político, cultural, religioso y comercial. La mayor parte del acero utilizado en la fabricación de espadas de acero de Damasco, provenía de la India, país donde se conocían procesos especiales de producción de acero y, donde, se fabricaban verdaderas joyas en este tipo de armas.

Se encuentran numerosas menciones del "hierro indio" en los autores clásicos (HERODOTO), así como en los romanos, que lo importaban desde el siglo I de nuestra era, de manera que ya Plinio habla del "ferrum sericum" (PLINIO). Esta importación se intensificó en la época musulmana. El acero proveniente de la India era conocido como "hindamani o hindi". El acero, en una etapa previa a la fabricación de las espadas, llegaba a Damasco y a otros grandes centros de fabricación de armas. También se importaba de la India directamente en forma de espadas, que eran conocidas en la literatura árabe por su fuerza, filo cortante y flexibilidad (BUCHANAN, 1807).

Los árabes admiraban este producto sublime de la forja de los aceros. Avicena distinguía tres tipos de "hierro": el primero valía para golpear, el segundo para cortar y el tercero es la "andena". Biruni escribe que ninguna nación, como los hindúes, sabían tanto sobre el acero de Damasco. Al-Idrisi, afirma que en aquel país se fabrican los sables más estimados del mundo, y añade además: *"Es así como el hierro de Sind, de Serendibi y del Yemen, rivalizan entre ellos tanto por la calidad como por el arte de su fabricación, de la fundición, de la forja, de la belleza del pulido, pero es imposible encontrar nada más cortante que el hierro de la India, es algo reconocido y que nadie puede negar"* (CHARDIN, 1894).

El acero de Damasco consiste básicamente en una aleación de hierro-carbono con un alto contenido en carbono, en el que éste oscila entre el 1,4 y el 2,1% en masa. Pueden estar presentes como impurezas: el manganeso, el azufre y, sobre todo, el fósforo (Lámina 5).

Este contenido en carbono tan alto, provoca la presencia de cementita ( $Fe_3C$ ) en límites de grano, lo que confiere al material una fragilidad muy elevada (Lámina 6). La forja en caliente de estos aceros, está imposibilitada, por la creación en superficie de grietas, que progresan a cada golpe a través de los límites de grano rellenos de un cemento frágil de cementita. La única posibilidad es forjarlos a temperaturas aparentemente inverosímiles, del rojo cereza y el rojo sangre (650-750°C) (Figura 1). A estas temperaturas, se ha demostrado, que el acero de Damasco tiene un comportamiento superplástico permitiendo una excelente conformación, sin provocar consecuencias mecánicas negativas. La fragilidad desaparece y aumenta la tenacidad, manteniendo una excelente resistencia debida al elevado contenido en carbono y, por tanto, un filo cortante en las armas fabricadas con este material, a pesar de un uso muy severo (CALABRÉS, 2001).

Sin embargo, con ser ésto una condición mínima para la conformación plástica de estos aceros de ultraalto contenido en carbono, no lo es todo, ya que hay que tener en cuenta otros tratamientos térmicos, para que en el resultado final se puedan hacer visibles macroscópicamente las bellas vetas sinuosas de carburos de hierro proeutectoides. Se trata de tratamientos térmicos tendentes a hacer crecer el grano austenítico hasta un tamaño adecuado y evitar, durante el enfriamiento, la aparición de carburos de hierro con estructura Widmanstätten indeseables durante los procesos de forja ya que suponen lugares preferentes de creación y propagación de grietas (Lámina 7). Se trata de engrosar los límites de grano de cementita y los granos austeníticos, para que puedan hacerse visibles, a simple vista al ojo humano, tanto antes como después de la trituration producida por los golpes de la forja (CRIADO, 1997).

En todo caso, se hace necesaria una forja en caliente que aumente la tenacidad del acero por trituration de la red de cementita primaria sin permitir su regeneración simultánea o a posteriori. El intervalo de temperaturas es vital para esta operación. Así mismo, el tipo de forja y de esfuerzos mecánicos influye en la estética de las bandas de carburos de hierro causantes del bello aspecto de este acero.

A continuación de una decarburación superficial, la desaparición de la cementita continua de límite de grano permite una

forja en caliente extremadamente fácil en el intervalo ideal para su trituration en el núcleo interno. Forjada la pieza, se rebaja esa capa superficial, llegándose al núcleo de acero de Damasco. De esta manera, se obtiene una estructura de cementita proeutectoide completamente trituration y una matriz donde toda la perlita está globulizada (Lámina 8 y 9). En la forja se consigue la globulización completa de la cementita eutectoide y proeutectoide, distribuyéndose en forma de clusters a lo largo de la matriz (Lámina 10).

Es evidente, y así se comprueba en las espadas históricas, que el artista hace lo demás, confiriéndoles mayor o menor belleza a las espadas, dependiendo de la habilidad personal y del arte de cada taller. Claro está que las hay más bellas y las hay menos. Si hay que resaltar a un taller en especial ese sería el del persa Assad Allah al-Isphahaní, maestro consumado de este arte de fabricar armas blancas.

A continuación de su forja, se presentaban dos posibilidades: una en que lo importante fuese su belleza, y, otra, que se le exigiera grandes cualidades guerreras. En el primer caso, la espada no sufría ninguna transformación posterior por tratamiento térmico, y quedaba en estado de forja y enfriamiento al aire (normalizado). En cambio, en el caso de exigirles altas cualidades guerreras, se podía proceder al temple. Aquí la leyenda y la técnica se mezclan de forma mágica.

Las diferentes estructuras de enfriamiento rápido de un acero, dependen de la temperatura desde la que se efectúe éste, y del tiempo que transcurra en las distintas etapas intermedias hasta llegar al enfriamiento total. De esta manera, se llega a manipular las proporciones relativas de perlita fina, bainita y martensita en la estructura final, obteniéndose las características adecuadas a un arma de combate.

Los herreros antiguos y medievales sabían que la severidad de un baño de temple era fundamental para el éxito. Habían comprobado que el agua entre 30 y 40°C era menos endurecedora para el temple de un acero al rojo, y también que había que realizar enfriamientos escalonados, para que no quedaran tensiones fragilizantes en la hoja acerada. Por tanto, resulta reveladora la leyenda, misteriosa y secreta, que relata como debía calentarse la espada hasta que brillara como el sol naciente en el desierto, debiendo enfriarse después hasta el rojo púrpura, introduciéndose final-

mente en el cuerpo de un esclavo musculoso. Los humores de los seres humanos y su temperatura corporal, daban la pista del medio ideal de temple.

Aún en la actualidad hemos podido observar técnicas de temple que se ajustan a las necesidades de una espada de acero de Damasco. El maestro herrero D. Juan Pozón, que trabaja en su herrería de la sierra cordobesa, nos ha descrito y reproducido una vieja técnica de temple de espadas de aceros de calidad, que ha resultado ser idónea en nuestra investigación sobre los aceros de Damasco. Así lo cuenta y nos hace la demostración el maestro: *"para evitar la existencia de fuertes tensiones residuales en la superficie de la hoja de la espada, los herreros sumergían la hoja de acero al rojo en un pilón de agua templada, ligeramente salinizada con sal muera, en cuya superficie flotaba un paño basto o un papel de estraza de las dimensiones adecuadas. Había de tenerse sumo cuidado en que la espada se sumergiera de canto y en posición paralela a la superficie líquida. El paño, o papel, se combaba ante el avance de la hoja de acero, envolviéndola sin aperturas, mientras chisporroteaba y siseaba. El maestro herrero, escuchaba entonces atento, los sonidos que se producían, sacando la espada del líquido templante en el momento oportuno, observando la aparición de un color blanquecino y azulado en superficie mientras la enfriaba al aire. Cuando estas claves de color, provocadas por la oxidación en caliente de la superficie del acero, llegaban a una intensidad determinada, la volvían a sumergir de nuevo hasta su enfriamiento total"* (Láminas 11-15).

Este acero, conformado así presenta unas características notables que le han hecho adquirir prestigio y mantenerlo, incluso frente a los novísimos materiales actuales, con los que compite con ventaja en ciertas aplicaciones, como: herramientas de conformación y corte, cuchillería, deporte, armas blancas, etc. Su tenacidad, resistencia mecánica y al desgaste y su belleza le hacen continuar siendo un acero de leyenda.

#### BIBLIOGRAFIA

BUCHANAN, F. (1807): **A Journey to Madras through the Countries of Mysore**, Vol. II. Londres.

CALABRES MOLINA, R. (2001): **Contribución al estudio de la fabricación de armas blancas con acero de Damasco**. Tesis Doctoral. Universidad Complutense.

CRIADO PORTAL, A.J., MARTÍNEZ GARCÍA, J.A. y CALABRÉS MOLINA, R., Patente Nacional N° 9800943 (1998): "Tratamiento térmico y forja de aceros inoxidables martensíticos de muy alto contenido en carbono, para la obtención de estructuras enfihradas". Universidad Complutense de Madrid.

CHARDIN, J. (1894): **Voyage en Perse et aux Indes Orientales**. Ed. Ernst, París.

FIGIEL L.S. (1991): **On Damascus Steel**. Atlantas, FL: Atlantas Arts Press.

HERODOTO, VII, 66.

LÉVI PROVENÇAL, E. y TORRES BALBAS, L. (1987): **Historia de España: España Musulmana** (Tomos I y II). Dirigida por D. Ramón Menéndez Pidal.

Ed. Espasa-Calpe, S.A. Madrid.

PLINIO, **Historia Natural**, 39, 15.

SMITH C.S. (1983): "Damascus Steel". **Science**, 216, pp. 242-244.

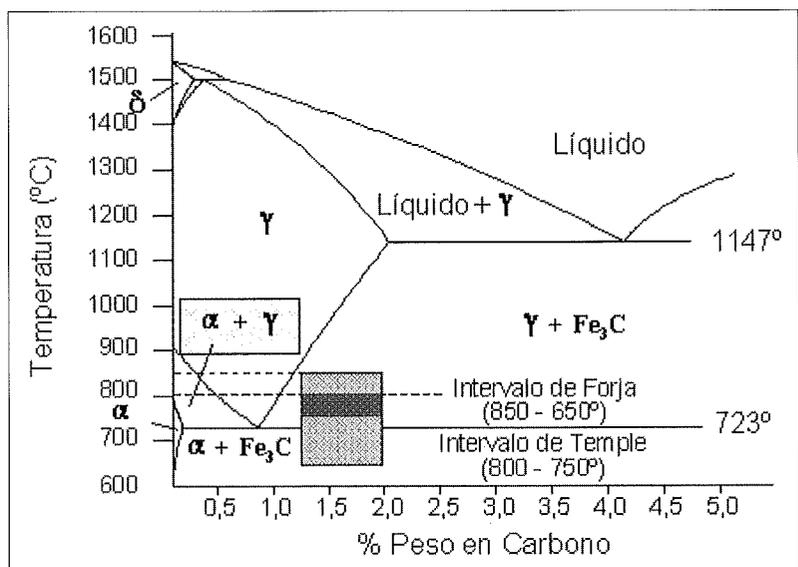


Figura 1.- Diagrama de fases del sistema hierro-carbono.



Lámina 1.- *Shamshir*  
Persa del siglo XVII  
en el que se puede  
observar el aljamiado  
en oro donde se puede  
leer el autor de la  
obra, Assad Allâh al-  
Isfahânî (FIGIEL,  
1991).



Lámina 2.-  
*Alfanje y su vaina,*  
que pertenecieron a  
Mehemet Alí.

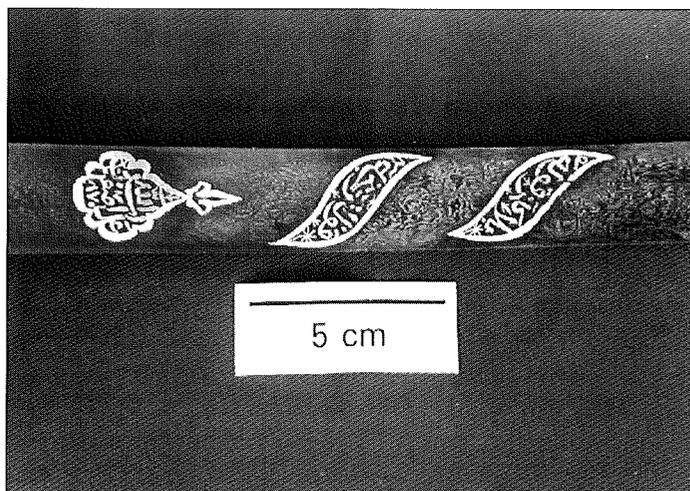


Lámina 3.-  
*Detalle del anverso de la*  
*hoja del alfanje de Mehe-*  
*met Alí mostrando la be-*  
*lleza de los aljamiados*  
*sobre la estructura de la*  
*hoja acerada.*

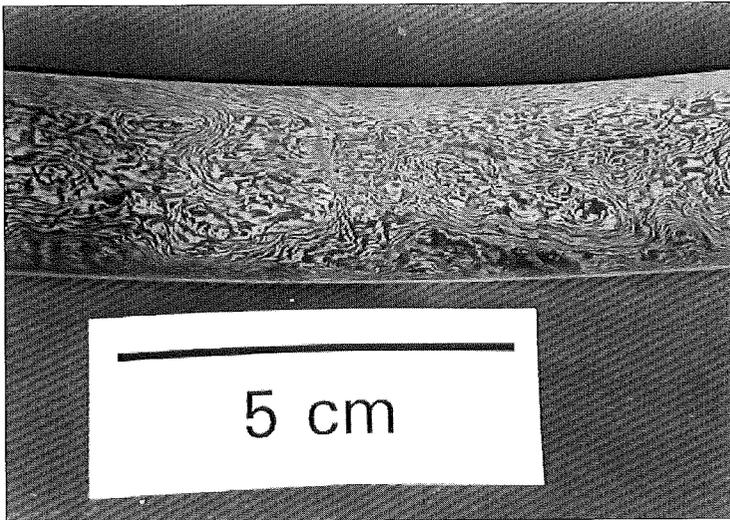


Lámina 4.-  
*Detalle de la hoja  
acerada del alfanje de  
Mehemet Alí donde se  
observan las aguas.*

Lámina 5.-  
*Estructura de colada de un ace-  
ro de ultraalto contenido en  
carbono (1.85% en masa), con  
carburo de hierro en límite de  
grano austeníticos y perlita de  
espaciado interlaminar grosera  
e irregular.*

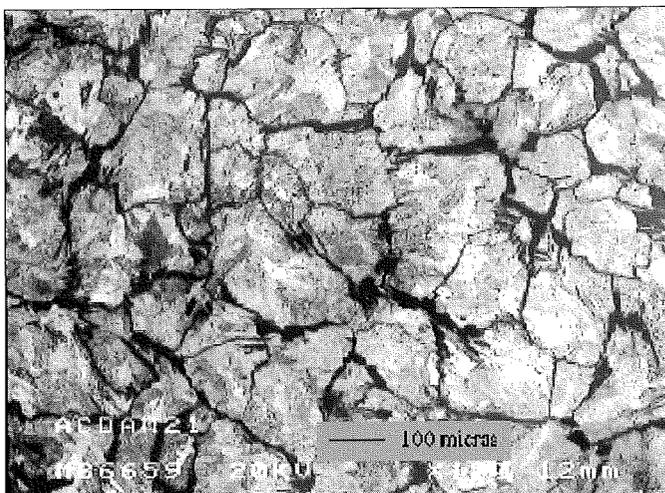
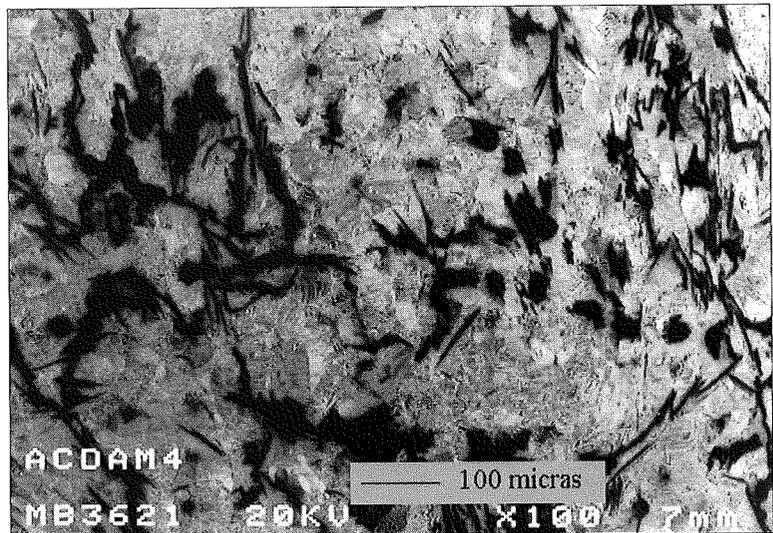


Lámina 6.-  
*Estructura granular  
con cementita  
grosera en límite de  
grano austenítico y  
perlita grosera en la  
matriz.*

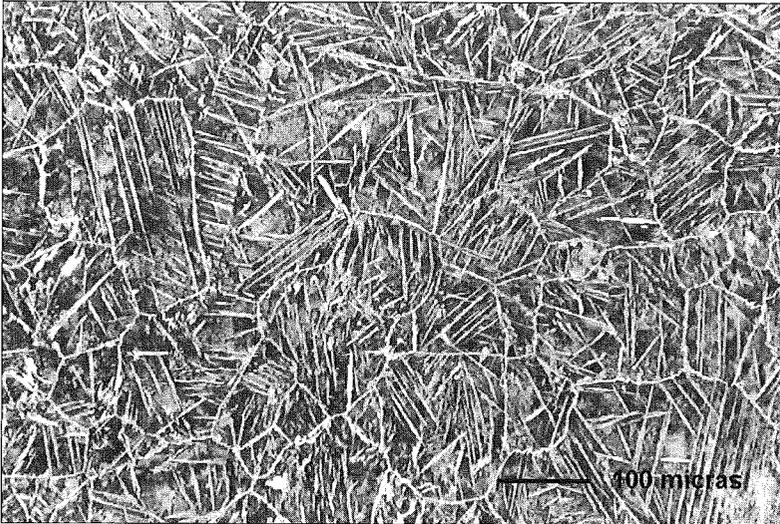


Lámina 7.-  
Estructura  
Widmanstätten  
derivada de una  
velocidad de  
enfriamiento elevada  
del material fundido.

Lámina 8.-  
Estructura de matriz mixta de perlita de espaciado medio y carburos de hierro esferoidizados en la que se disponen grandes cristales, troceados por la forja a 800°C, de cementita proeutectoide procedente de los límites de grano de la austenita. El material de partida es el acero ultraalto contenido en carbono sin proceso de austenización completa.

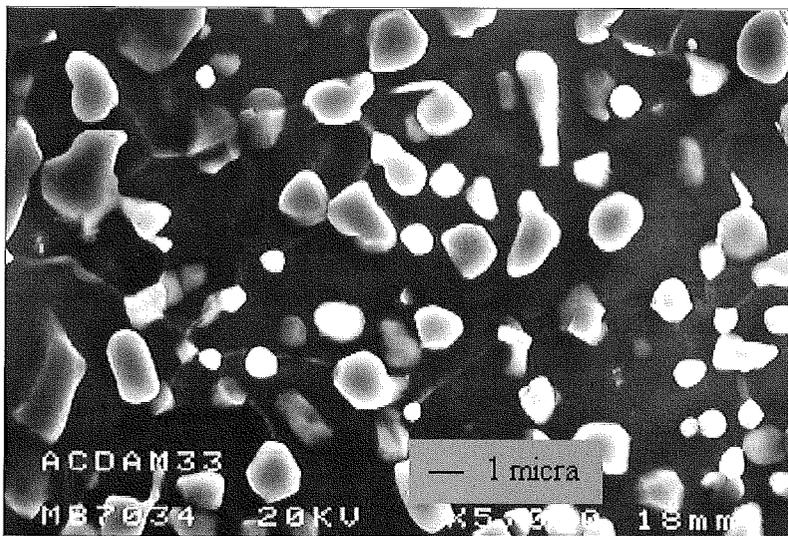
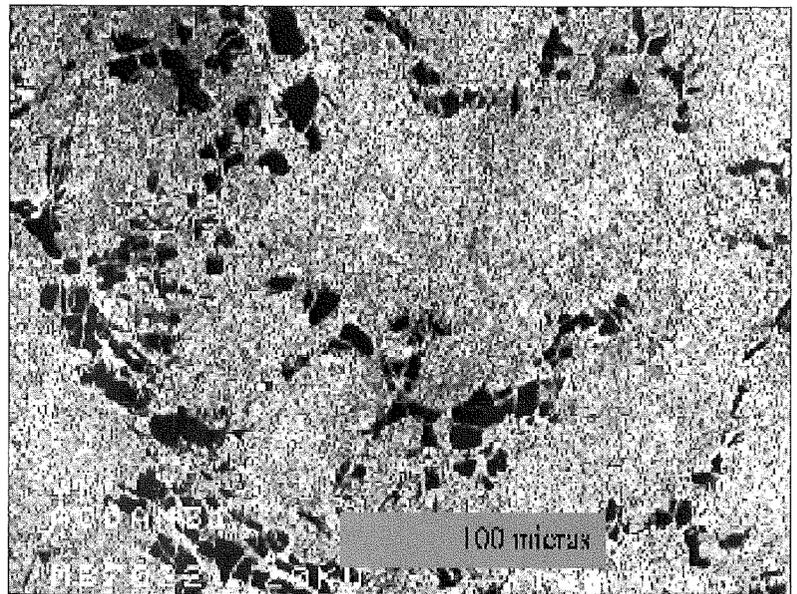


Lámina 9.- Detalles de la estructura de matriz ferrítica con finos carburos de hierro esferoidizados obtenidos por forja a 800°C tras el tratamiento de austenización completa a 1150°C durante 5 horas y enfriamiento lento en el horno.

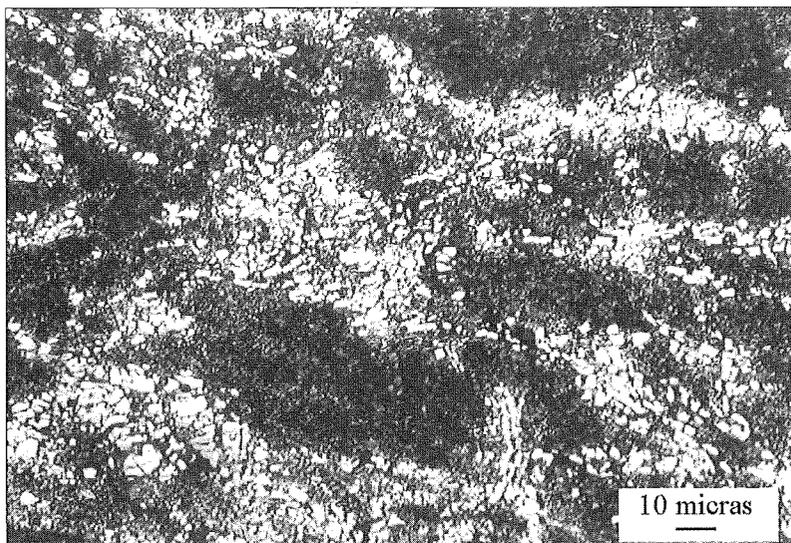


Lámina 10.- Estructura que presentan los cuchillos fabricados con acero de Damasco y donde se pueden observar la gran cantidad de clusters, con la cementita perfectamente globulizada, que dan lugar a las típicas aguas de estos aceros.

Lámina 11.- Maestro herrero D. Juan Pozón Gilarte, de Cerro Muriano (Córdoba), quien fabrica, al más puro estilo tradicional, puñales y espadas con acero de Damasco.

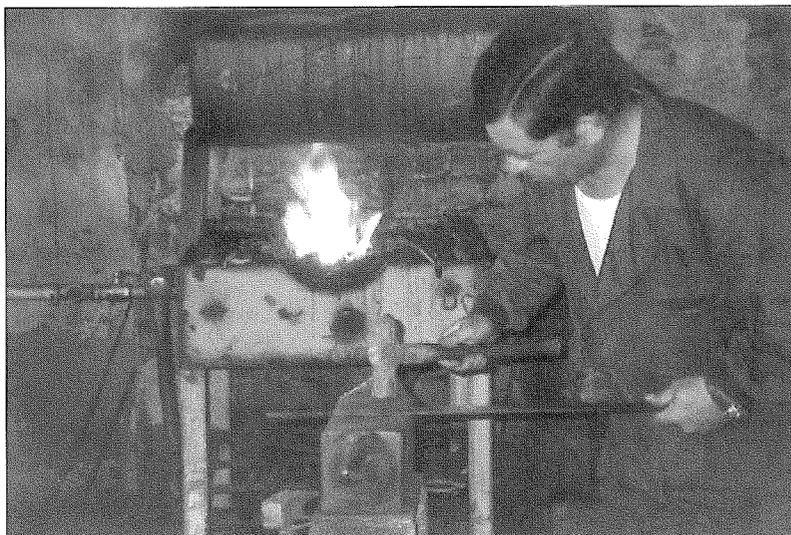


Lámina 12.- Cuchillo en acero de Damasco ( $Fe-1,8C$ ) forjado en caliente según las variables definidas en las conclusiones de esta investigación.

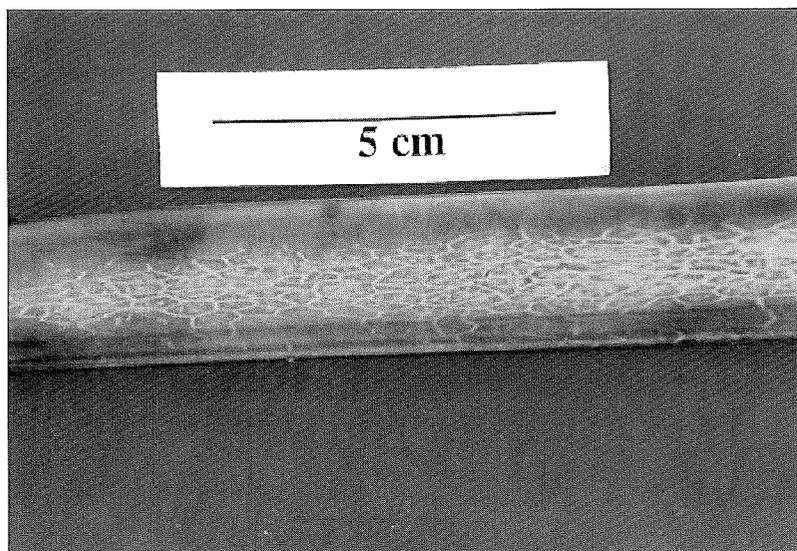


Lámina 13.-  
*Detalle a mayores aumentos de la hoja de acero de la lámina 12 mostrando un dibujo en red de cementita proeutectoide.*



Lámina 14.-  
*Cuchillo realizado en acero de Damasco mediante el método tradicional de forja.*

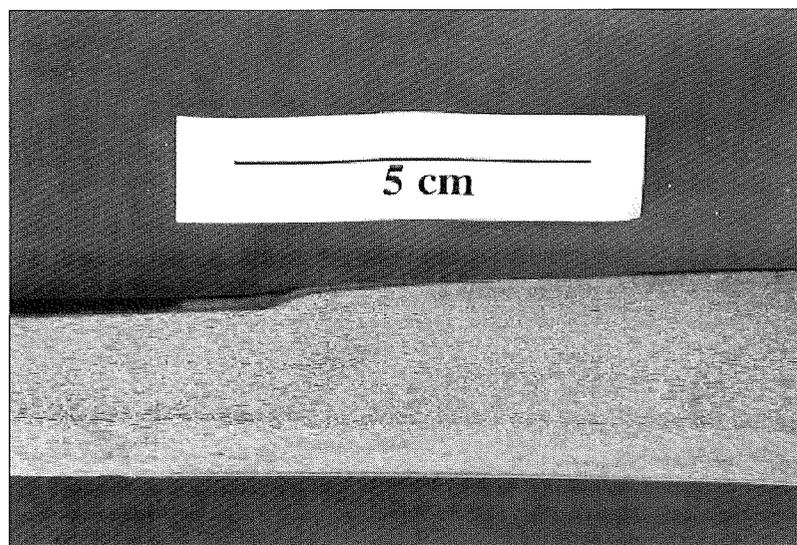


Lámina 15.- *Detalle a mayores aumentos de la hoja de acero de la lámina 14, mostrando un dibujo en cortas y finas bandas de cementita proeutectoide.*