

SIMPLIFICACIÓN DE LA ENSEÑANZA DE LAS MICROESTRUCTURAS BÁSICAS DE LOS METALES

José María Gallardo Fuentes¹
Laureano Soria Conde
José Antonio Rodríguez Ortiz
Enrique J. Herrera Luque
Universidad de Sevilla

Resumen

La enseñanza de las estructuras microscópicas de los materiales metálicos se ha realizado tradicionalmente mediante el uso personal del microscopio por parte del alumno. Alternativamente, los conocimientos correspondientes pueden transmitirse por medio de diapositivas, transparencias o fichas. Este segundo procedimiento simplificado ha sido adoptado experimentalmente en la asignatura Ciencia de los Materiales, de 4º Curso de Ingenieros Industriales. La preparación e implantación del procedimiento simplificado, así como las ventajas e inconvenientes de ambas aproximaciones se discuten en este informe.

Abstract

Teaching metallography is usually accomplished by students' personal use of optical microscopes. Microstructural knowledge may also be transmitted by audiovisual means (slides, overhead projectors, etc). We have implemented this simplified method in our teaching of Materials Science at the School of Engineering. A discussion of the prepared audiovisual material, along with forths and backs of both methods are included.

1. INTRODUCCIÓN

La disciplina de Ciencia de los Materiales se ocupa de la determinación de

las relaciones existentes entre las estructuras y las propiedades de los materiales. En contraste, la Ingeniería de Materiales, basándose en estas correlaciones estructura-propie-

¹ Departamento de Ingeniería Mecánica y de los Materiales. E.S. Ingenieros. Avda. Reina Mercedes s/n 41012 Sevilla

dades, concibe y diseña la estructura de un material para que posea un conjunto predefinido de propiedades.

El término estructura puede resultar aquí demasiado vago y requiere alguna explicación. La expresión estructura de un material se refiere usualmente al ordenamiento de sus componentes internos. Así, por ejemplo, la estructura subatómica abarca a los electrones dentro de los átomos individuales y sus interacciones con sus núcleos. A escala atómica, la estructura atiende la organización de los átomos, iones o moléculas entre sí. El siguiente escalón estructural, que comprende grandes grupos de átomos aglomerados juntos, se denomina *microestructura*, es decir estructura que puede ser obser-

vada mediante algún tipo de microscopio. Finalmente, los elementos estructurales pueden verse a simple vista se denominan *macroestructura*. En la figura 1 se representan las escalas de tamaños a que corresponden cada uno de los aspectos estructurales señalados.

De los niveles estructurales anteriores los correspondientes a ordenamientos atómicos y microestructurales son, probablemente, los de mayor importancia en Ciencia e Ingeniería de Materiales.

La dificultad de observación o visualización de ambos es, sin embargo, distinta. La microestructura de un material puede ser directamente observada mediante el uso de microscopios, lo que facilita su compo-

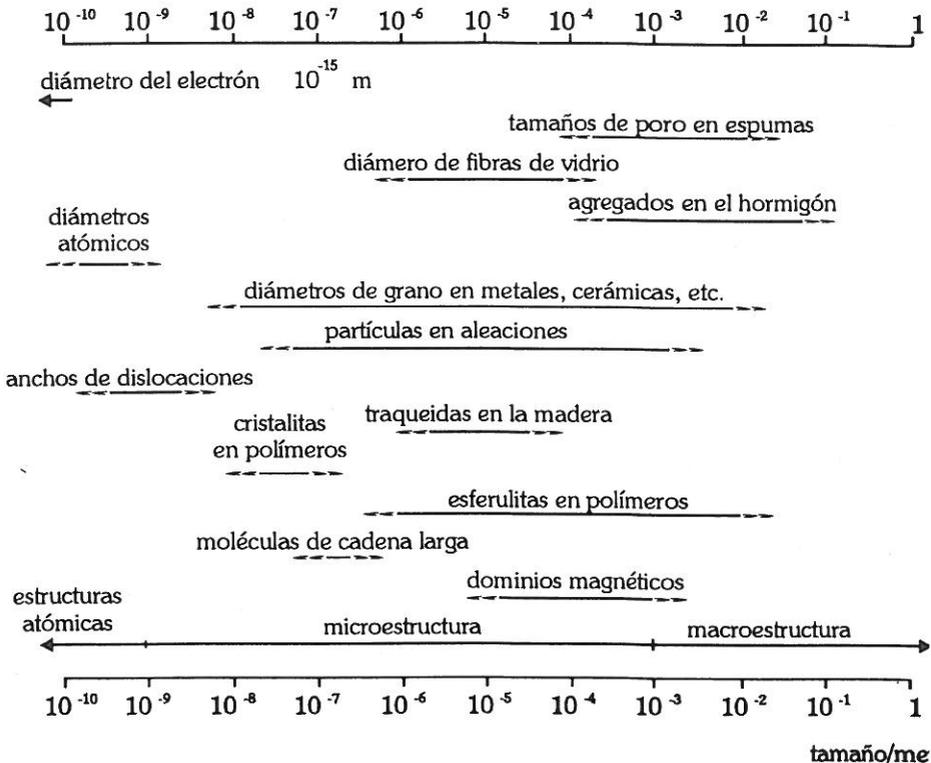


FIGURA 1.

sión. Los ordenamientos atómicos, deducibles a partir de estudios indirectos, no son directamente observables².

Por su parte, el conocimiento de la microestructura es fundamental para la comprensión del comportamiento metálico y es uno de los pilares básicos de las prácticas de la asignatura. La observación de los materiales metálicos, convenientemente preparados, mediante un microscopio óptico, permite determinar la existencia de unas

estructuras características. Tales estructuras microscópicas pueden relacionarse con la naturaleza del metal y/o de su proceso de obtención y transformación y de ahí su importancia en Ingeniería de Materiales (Figura 2).

Además, la metodología docente que empleamos es la que se denomina sintética, que explica el comportamiento de los materiales a partir de ideas sobre átomos y su ordenamiento en los sólidos, frente a la alter-

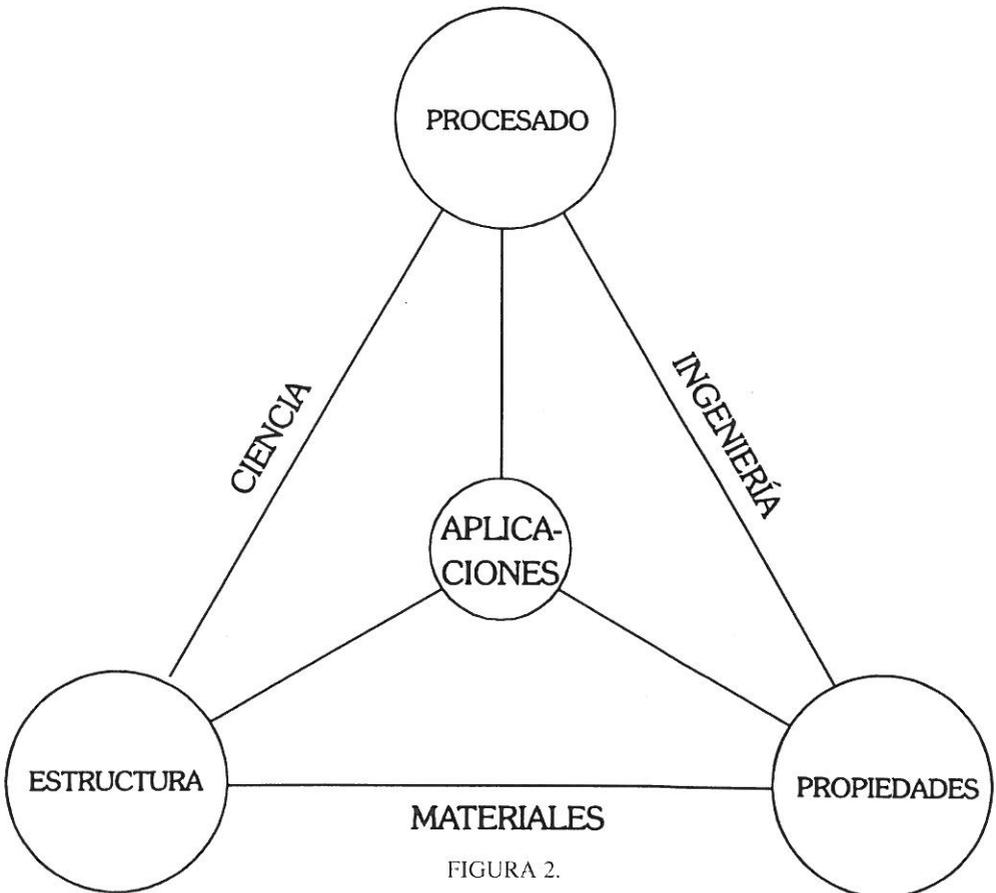


FIGURA 2.

² En los últimos años, mediante microscopios de efecto túnel y de fuerza atómica, pueden visualizarse con algún detalle los átomos superficiales de una pieza, pero no su ordenamiento espacial interno.

nativa cataloguista, que informa a los alumnos de los materiales existentes y desarrolla los conocimientos fundamentales mediante la explicación de cómo la composición o tratamientos diversos, afectan a las propiedades, sin acudir para ello a una base metalográfica exhaustiva (M. STAMMERS, 1990).

En los últimos años, los profesores del Área de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica de la Universidad de Sevilla estamos realizando diversas actuaciones y proyectos encaminados a mejorar la comprensión y asimilación tanto de los ordenamientos cristalinos, como de las microestructuras. En este informe se presentan algunos aspectos de las acciones realizadas en relación a la enseñanza de los aspectos microestructurales de los materiales.

2. SITUACIÓN DE LA ASIGNATURA

La asignatura en la que se imparten los conocimientos sobre microestructuras es la de Ciencia de los Materiales (Metalurgia General) correspondiente a 4º Curso de Ingenieros Industriales. Los conocimientos contenidos en la asignatura necesitan de ciertos conocimientos básicos de otras materias de la carrera: Química, Física, Matemáticas, Termodinámica, Resistencia de Materiales, etc. La misma disciplina de Ciencia de los Materiales surgió a principios de este siglo como un cuerpo de doctrina multidisciplinar. No obstante, en su evolución subsiguiente se han desarrollado técnicas experimentales propias (Microscopías ópticas y electrónicas, difracción de rayos X y de electrones, etc.), así como áreas de conocimiento específicas que en muchos casos dan lugar a cuerpos de doctrina independientes (Mecánica de la Fractura, Corrosión y Protección, etc.). Por tanto, una parte importante de los contenidos de la asignatura resultan completamente

novedosos para los alumnos, requiriendo un esfuerzo docente para su correcta transmisión y asimilación.

La asignatura tiene asignada una docente de quince (=12+3) créditos, con horas semanales para teoría y problemas como una hora semanal de prácticas. Las clases teóricas y de problemas se organizan en tres grupos, correspondientes a las especialidades Eléctricos, Mecánico y Químicos. El total de alumnos matriculados en el curso 93/94 fue de 215.

3. EL PROBLEMA DE LAS PRÁCTICAS

Una de las dificultades que se ha presentado en los últimos años es la de la organización de las prácticas. El elevado número de alumnos y el limitado número de equipos experimentales disponibles (por otro lado, de elevado precio) obliga a multiplicar el número de grupos de práctica.

Las dificultades señaladas en el párrafo anterior son especialmente agudas en la enseñanza práctica de las microestructuras de los materiales industriales, en particular de los metales.

Se ha dicho anteriormente que las microestructuras de los materiales industriales pueden ser visualizadas directamente por el alumno, por lo que su comprensión es más inmediata. En la actualidad disponemos de 10 microscopios ópticos dedicados a la enseñanza. De acuerdo con el número de alumnos matriculados, deberían organizarse en 22 grupos de prácticas. En ocasiones un mismo profesor ha de repetir la misma clase hasta 10 o 15 veces, con una probable pérdida de calidad de la enseñanza. La propia organización de los grupos en su horario resulta también difícil en una carrera caracterizada por su elevada exigencia mentalidad.

Consecuentemente, nos hemos planteado la necesidad de idear un procedimiento que evite el colapso de personal de apoyo, financiero y organizativo que supone la realización práctica, personal, de las observaciones.

4. SOLUCIONES ADOPTADAS

Las dificultades descritas son también comunes en otros países, sobre todo en los cursos de pregraduación de Ingeniería de Materiales. Las soluciones adoptadas pasan por la grabación en vídeo de las prácticas (y teoría), así como uso de programas educativos (A. BLICBLAU, 1990). No obstante, en el campo de las microestructuras básicas de los metales no conocemos ningún programa de ordenador en el mercado.

Por todo lo antedicho, se ha abordado la preparación de material audiovisual que, puesto a disposición de los alumnos, permita una agilización de las clases y/o el estudio personal.

En cualquier caso se considera que la labor de observación personal de las microestructuras tiene un elevado valor formativo y no debe descartarse completamente. Por ello, para aquellos alumnos más interesados, en el segundo cuatrimestre y con carácter voluntario, se organizan prácticas en el laboratorio. De esta forma, tienen la posibilidad de usar personalmente un microscopio, incluso de mayor calidad que el destinado normalmente a las prácticas.

En una primera fase, a completar en el curso académico 1994/95, se están utilizando las probetas de la colección producida por Metallurgical Services, de Betchworth (Surrey, Inglaterra). Las probetas de dicha colección se venían utilizando en las prácticas personalizadas, por estar elegidas y organizadas de forma conveniente para un

aprendizaje introductorio de las estructuras básicas de los metales a nivel universitario. Basada en dicha colección, pueden consultar los alumnos la obra *Metalografía Práctica* (CALVO, 1971), así como las instrucciones originales en inglés de la colección (A.R. BAILEY, 1966). No obstante, tanto el libro del profesor Calvo, por otra parte agotado, como las instrucciones originales, adolecen de dos defectos (no achacables a sus autores): las fotografías mostradas son en blanco y negro y, además, no siempre corresponden con exactitud a las probetas reales de la colección. Por ello, las correspondientes carpetas de fichas a disposición de los alumnos, contienen microfotografías en color, comentadas, de las probetas reales de que se dispone en el laboratorio. Para permitir, además, la visualización en grandes grupos, se están preparando diapositivas de las mismas muestras comentadas anteriormente. El número total de fichas en esta primera fase es de treinta y siete, tantas como probetas de la mencionada colección.

En una segunda fase, se pretenden preparar fichas y diapositivas de materiales industriales diversos. Las muestras correspondientes se prepararían a partir de las piezas industriales reales que se estudian en nuestros laboratorios de asistencia a la industria. Mediante esta segunda colección de material audiovisual el alumno podría conocer la utilidad de la *Metalografía* en el estudio y solución de problemas de materiales en la industria.

Se pretende que ambas colecciones tengan la misma estructuración, por lo que, ya en la colección básica, se incluyen en cada ficha algunas entradas que serán útiles, fundamentalmente, cuando se recopilen las estructuras industriales. En las figuras 3 y 4 se incluye una representación reducida de una de las fichas.

Sn-Sb

Pieza extraída de

Descripción y norma: Aleación de Sn-Sb moldeada en arena.

Composición : Sn-90% Sb-10%

Propiedades :

Aplicaciones :

Preparación : Desbaste en 240, 400, 1000, 2400, lubricando con parafina. Pulido en alúbr suspendida en agua con unas gotas de amoniaco.

Ataque : Solucion alcohólica de cloruro férrico, repitiendo dos veces el pulido y ataque.

Estructura : Se distinguen grandes granos triangulares con un vértice orientado hacia centro de la probeta.

Número de muestra :

Comentarios :

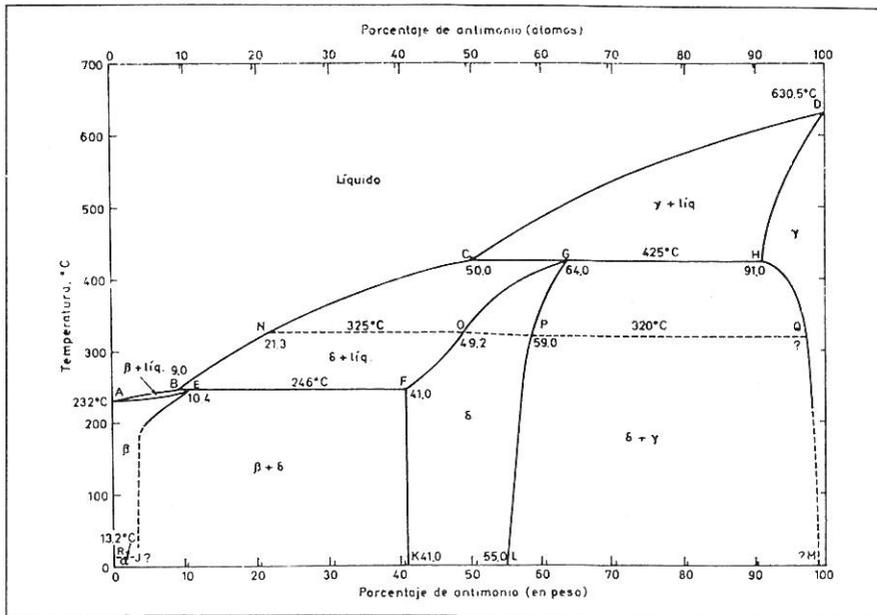


Foto 1: Diagrama de fases

FIGURA 3.

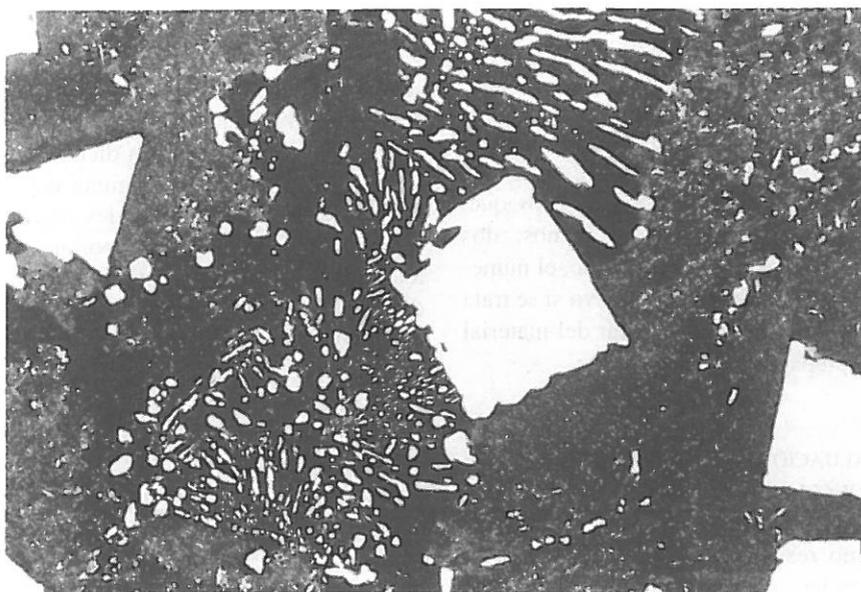
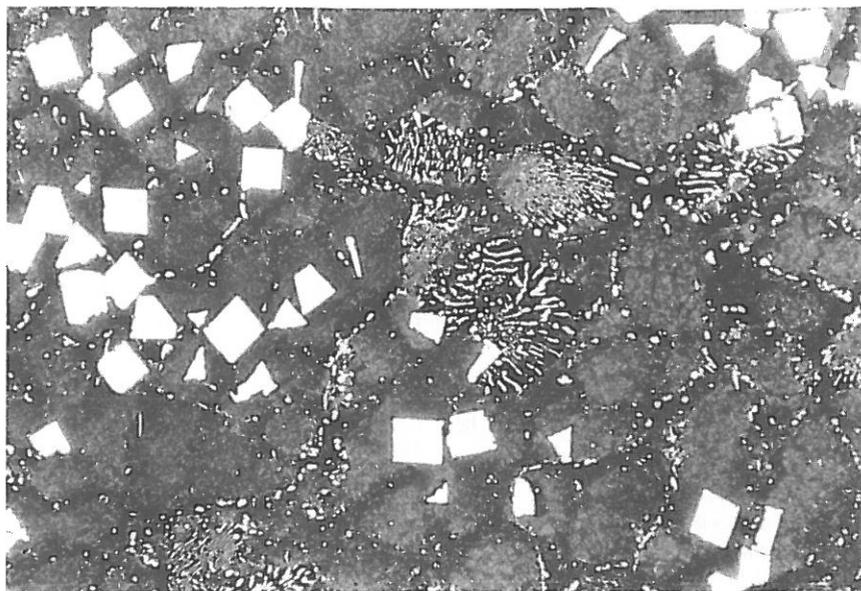


FIGURA 4.

Entre los datos de la probeta que se relacionan se incluyen los siguientes:

- Número de orden.
- Metal base.
- Aleación.
- Composición.
- Preparación metalográfica, incluyendo operaciones de pulido y ataque.
- Descripción sucinta de la estructura.
- Diagrama de equilibrio.

También se han incluido tantas fotografías como se ha creído necesario para la completa comprensión de la estructura, con su correspondiente pie o comentario.

Además, en previsión de la ampliación de la colección a muestras industriales, se han incluido las entradas siguientes (que en esta colección no se utilizan):

- Procedencia de la muestra.
- Normas aplicables.
- Propiedades y aplicaciones típicas.
- Otros comentarios

La realización de estas fichas supone un esfuerzo considerable por la dificultad de obtener buenas micrografías, por lo que, generalmente, se toman, al menos, dos exposiciones distintas. Por último, el número de fotos se multiplica de nuevo si se trata de obtener más de un ejemplar del material gráfico preparado.

5. EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD Y CONCLUSIONES

Como resultado de la implantación de estas "prácticas demostrativas" el número de alumnos por grupo se ha podido aumentar hasta unos 50.

Por otra parte, también se ha disminuido la duración de la práctica, puesto que el alumno no tiene que realizar labores que no tiene experiencia excesiva. El enfoque de la muestra, búsqueda en el campo de observación apropiado. Tampoco existe deterioro de las muestras que pueda confundir al alumno sobre los detalles a observar. El guión que se entrega es, ahora, más sucinto pues no por qué contener la descripción del procedimiento de observación o preparación.

El inconveniente, a priori, del sistema implantado es la falta de contacto de los alumnos con el laboratorio, lo que dificulta el conocimiento de los aparatos usados y el propio manejo del equipo, con la laboriosa búsqueda y reconocimiento de estructuras y detalles que se trata de visualizar, se pierde en esta nueva aproximación ya que es el profesor el que, sobre una muestra positiva de buena calidad, señala dichas matices o estructuras.

Para la evaluación de la actividad implantada se ha aprovechado una encuesta que se viene realizando en los últimos cursos acerca de la realización de prácticas y de la opinión de los profesores de prácticas. En dicha encuesta no se incluye ninguna pregunta específica sobre el cambio de método descrito en el informe, entre otras razones, porque solo los alumnos repetidores podrían evaluar las diferencias. En el cuadro 1 se presenta un resumen de las preguntas relativas a las prácticas. En la tabla I se recogen los resultados correspondientes a dos cursos sucesivos, antes y después de implantar el sistema aquí descrito. Como puede observarse las respuestas de los alumnos no se ha deducido una pérdida de la calidad de la enseñanza, aún cuando la carga lectiva y de preparación de las prácticas se ha reducido considerablemente. Todos los ítems de la batería de preguntas mantienen la puntuación o m

ran ligeramente. Sólo el ítem 3 y el 8 empeoran. En el caso del ítem 3 se justifica porque en la nueva metodología no se les ha sugerido bibliografía de prácticas, por entender que no es necesaria, ya que la bibliografía coincide con la recomendada para teoría. En cualquier caso se incluirá

dicha bibliografía en los guiones que se entreguen en cursos próximos. En el caso del ítem 8, sobre el horario de prácticas, debe reconocerse que ahora, al ser menor el número de grupos, los alumnos tienen menos posibilidades de escoger entre horarios diversos.

CUADRO 1. BATERÍA DE PREGUNTAS SOBRE EL DESARROLLO DE LAS PRÁCTICAS

ENCUESTA FINAL DE LAS PRÁCTICAS DE CIENCIA DE LOS MATERIALES

Se valorarán las respuestas del 0 al 10, según las claves que se señalan junto a cada pregunta.

1.- ¿Te parecen fundamentales estas prácticas para complementar los conocimientos de Ciencia de los Materiales?

[10 - muy fundamentales; 0 - no son necesarias en absoluto]

2.- Puntua la calidad y utilidad de los guiones entregados en cada práctica.

[10 - muy buenos y útiles; 0 - muy malos]

3.- ¿Usas la bibliografía recomendada de la biblioteca?

[10 - en todas las prácticas; 0 - en ninguna práctica]

4.- ¿Se ajusta el informe pedido en las prácticas a lo desarrollado en las mismas?

[10 - sí, mucho; 0 - no, nada]

5.- ¿Echas en falta más prácticas?

[10 - sí, debería haber muchas más; 5 - el número de prácticas es correcto; 0 - no debería hacerse ninguna práctica]

6.- ¿Es correcto el número de 20 alumnos por grupo?

[10 - no, deberían ser más; 5 - es correcto; 0 - no, deberían ser mucho más reducidos]

7.- ¿Es apropiado el calendario de prácticas?. Considérese constante el número de prácticas a impartir.

[10 - no, deberían ser más espaciadas; 5 - sí, es correcto; 0 - no, deberían realizarse en menos semanas]

8.- ¿Es apropiado el horario de prácticas?.

[10 - sí; 0 - no]

10.- ¿Es apropiada la duración de la práctica?

[10 - no, deberían durar mucho más de dos horas; 5 - sí, es apropiada; 0 - no, deberían ser mucho más cortas]

TABLA I. RESULTADO DE LA ENCUESTA A LOS ALUMNOS ANTES Y DESPUÉS

CUESTIÓN	Curso 1991/92		Curso 1992/93	
	Media	Desviación	Media	Desviación
1. Utilidad	7	3	7	2
2. Guiones	5	2	6	2
3. Bibliografía	7	6	2	3
4. Informe	6	4	7	2
5. Número de prácticas	5	2	5	1
6. Número de alumnos	5	2	5	2
7. Calendario	5	5	5	2
8. Horario	9	6	8	4
10. Duración	4	2	5	1
Respuestas	107		78	
Alumnos matriculados	118		125	

En conclusión puede afirmarse que la implantación de un sistema de aprendizaje de las microestructuras básicas de los metales a través de diapositivas y fichas, complementado por una asistencia voluntaria al laboratorio, está mejorando la capacidad de organización docente sin menoscabo de la calidad de la enseñanza.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración prestada por los Técnicos Srta. M. Sánchez y Sres. J. Pinto y M. Madrid en la preparación de las probetas y material audiovisual.

Este trabajo se ha realizado con el apoyo financiero del ICE de la Universidad de

Sevilla, bajo la convocatoria de Ayudas a Actividades de Innovación en la Enseñanza Universitaria 1994.

7. BIBLIOGRAFÍA

- BAILEY, A.R.: *The Role of Microstructure Metals, Metallurgical Services*, Betchworth, 1966.
- BLICBLAU, A.: *Developing materials education with modern technology, Metals Materials*, April 1990, 216-221.
- CALVO, F.A.: *Metalografía Práctica*, Alhambra, Madrid, 1972.
- STAMMERS, M.: *Materials knowledge Engineers, Metals and Materials*, A 1990, 224-226.