

# Caracterización de los aceros sinterizados obtenidos a partir de polvos prealeados Fe-1,5 % Mo<sup>(\*)</sup>

J.M. Torralba<sup>(\*)</sup>, N. Candela<sup>(\*)</sup>, J.M. Ruiz-Román<sup>(\*)</sup>, L.E.G. Cambrero<sup>(\*)</sup>  
y J.M. Ruiz-Prieto<sup>(\*)</sup>

**Resumen** Se estudian los aceros aleados sinterizados con molibdeno, cobre, níquel y grafito, a partir de la influencia de su composición sobre distintas propiedades mecánicas y físicas. En todos los aceros, se utilizó una composición de carbono constante, así como polvos prealeados de Fe-Mo, con 1,5 % Mo. Las condiciones de sinterización elegidas han sido las más próximas a las utilizadas en la industria pulvimetalúrgica, que es el usuario potencial de los materiales estudiados.

Palabras clave: **Aceros sinterizados. Polvos prealeados.**

## Characterization of sintered steels obtained from Fe-1.5 % Mo prealloyed powders

**Abstract** Sintered molybdenum-, copper-, nickel- alloyed steels, have been studied through the influence of the chemical composition on different mechanical and physical properties. In all the studied steels, a constant percentage of carbon has been used, as well Fe-Mo prealloyed powders, with a 1,5 % Mo content. Selected sintering conditions were close to those used in the P/M industry, potential consumer of the studied steels.

Keywords: **Sintered steels. Prealloyed powders.**

### 1. INTRODUCCIÓN

Con este estudio se intentan caracterizar, desde el punto de vista mecánico y microestructural, los aceros sinterizados obtenidos a partir de polvos prealeados Fe-1,5 % Mo (Astaloy Mo de Höganäs AB, Suecia) de reciente aparición, y posibilitar una rápida transferencia de resultados a la industria. Por ello, las condiciones de fabricación utilizadas para la obtención de las probetas objeto de estudio han sido prácticamente idénticas a las que se siguen en la industria pulvimetalúrgica.

En este trabajo se estudian los aceros aleados sinterizados con molibdeno, cobre y níquel, obtenidos a partir de polvos prealeados de Fe-1,5 % Mo (con un contenido de carbono añadido fijo) al que se adicionan cantidades conocidas de níquel, cobre o de ambos elementos. El estudio, se centra en la influencia de la composición sobre distintas propiedades mecánicas (resistencia a la tracción, alargamiento y dureza) y físicas (densidad y variación dimensional).

### 2. ANTECEDENTES

Son muy numerosos los trabajos de investigación que tienen como objeto los aceros sinterizados con cobre y níquel, tanto en estado sinterizado como tratados térmicamente. En muchos de estos

---

(\*) Trabajo recibido el día 27 de abril de 1994.  
(\*) Dpto. de Ingeniería de Materiales. E.T.S. de Ingenieros de Minas. Universidad Politécnica de Madrid. c/ Ríos Rosas, 21. 28003-Madrid (España)

trabajos, también se contempla la aleación con molibdeno, pero sin exceder el 0,5 % (1-3). En algunas investigaciones se estudian valores superiores al 0,5 % Mo, como en (4-6), aunque los dos últimos trabajos referenciados se apartan considerablemente de las condiciones típicas de sinterización de la industria pulvimetalúrgica (utilización de temperaturas por encima de 1.200 °C o ciclos mixtos de reprensado-resinterización).

A partir de la aparición en 1990 de los polvos prealeados Fe-1,5 % Mo (7) (comercializados por Höganäs AB, de Suecia, con el nombre de Astaloy Mo), se desarrollan numerosos trabajos de investigación que utilizan este material prealeado, o bien mezcla con el mismo porcentaje de molibdeno (8-10).

Recientemente, se han desarrollado nuevas familias de polvos prealeados por *difussion-bonding*, pero utilizando como base polvos, a su vez prealeados de Fe-1,5 % Mo (11). Estas nuevas familias de polvos prealeados están diseñadas en función de su contenido de cobre o de níquel, para una alta precisión dimensional o una elevada capacidad de autotemple (incluso con enfriamientos muy lentos).

### 3. PROCESO EXPERIMENTAL

La composición y principales propiedades de los materiales utilizados para la obtención de los aceros sinterizados objeto de este estudio, quedan reflejadas y relacionadas en la tabla I.

#### 3.1. Mezcla y compactación de polvos

La etapa de mezcla tiene como fin obtener una distribución uniforme de los polvos así como buena

homogeneidad de tamaños, debido a que estos factores influyen decisivamente en posteriores operaciones, de modo que una mala mezcla provocará una mala homogeneidad en la composición del material, produciendo finalmente gran variación de las propiedades finales. Así mismo, durante la etapa de mezclado se pueden producir segregaciones si se trata de polvos con diferentes densidades, formas y tamaños. En la tabla II se ofrecen las distintas composiciones estudiadas. Una vez obtenidas las aleaciones, se procedió a la mezcla en un mezclador de doble vasija, que la realiza por medio de dos movimientos (giros en sentido paralelo y perpendicular al eje de los recipientes cilíndricos que contienen el material). La mezcla se realizó en cada dirección de

TABLA II.— Composición de los aceros obtenidos a partir de mezclas, % en masa. En todos los casos el contenido de molibdeno es del 1,5 %

TABLE II.— Composition of the admixed steels, % in weight. For all cases, 1.5 % Mo content

C	Cu	Ni
0,7	1	0
	2	0
	3	0
	4	0
0,7	0	1
	0	2
	0	3
	0	4
0,7	2	2
	2	4

TABLA I.— Composición química y principales propiedades de los materiales de partida estudiados

TABLE I.— Chemical composition and main properties of raw materials

Material	Composición química, %					Densidad aparente, g/cm <sup>3</sup>	Vel. de flujo, s/50 g	Tamaño de partícula, μm	Tipo de polvo
	C	Cu	Ni	Mo	Fe				
Astaloy Mo	—	—	—	1,5	resto	3,0	25	20-180	Atomizado en agua
Cobre	—	> 99,3	—	—	—	2,2-2,6	37	45-76	Electrolítico
Níquel	—	—	> 99,9	—	—	0,7-2,0	32	3-5	Carbonilo
Carbono	> 98,0	—	—	—	—	0,13	—	< 53	Natural

giro durante 5 min, tras los cuales se alcanzó una buena homogeneidad de los distintos elementos.

Una vez finalizada la etapa de mezclado, se procedió a compactar los polvos. La compactación se realizó de forma uniaxial y en matriz flotante. El material se compactó directamente en una matriz con la forma de la probeta de tracción normalizada (según ASTM Standard E-69). La velocidad de carga fue de 3.920 N/s. En todos los casos, se seleccionó una presión de compactación de 700 MPa.

### 3.2. Sinterización

La sinterización se llevó a cabo en un horno tubular de laboratorio, a 1.120 °C durante 20 min en atmósfera de 95 % N<sub>2</sub> - 5 % H<sub>2</sub>.

### 3.3. Propiedades evaluadas

#### 3.3.1. Propiedades físicas

Las propiedades físicas determinadas fueron la densidad (en estado sinterizado) y la variación dimensional después de la sinterización. La densidad de los materiales sinterizados se determinó por el método de Arquímedes. Al tratarse de materiales porosos antes de su inmersión en agua debe realizarse su sellado con una laca o pintura. La densidad se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$D = M_{\text{seco}} / [(L - M_{\text{agua}}) - (L - M_{\text{seco}} / \delta_3)]$$

donde:

$M_{\text{seco}}$  = Peso del material.

$L$  = Peso del material sellado.

$M_{\text{agua}}$  = Peso del material sellado sumergido en agua.

$\delta_3$  = Densidad del sellante ( 1,2 g/cm<sup>3</sup> ).

La determinación de la variación dimensional longitudinal,  $V_{\text{dim}}$ , se realizó mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$V_{\text{dim}} \% = (L_2 - L_1) * 100 / L_1$$

donde:

$L_1$  = Longitud de la probeta en verde, mm.

$L_2$  = Longitud de la probeta en estado sinterizado, mm.

#### 3.3.2. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas determinadas en este trabajo de investigación fueron la dureza, la resistencia a la tracción y el alargamiento.

La dureza se determinó por el método Rockwell, escala A.

Mediante el ensayo de tracción se determinaron la resistencia a la tracción y el alargamiento.

### 3.4. Estudio metalográfico

Todos los materiales se estudiaron por microscopía óptica convencional y por microscopía electrónica de barrido, para caracterizar algunas áreas de los mismos y estudiar la difusión de los distintos elementos de aleación en cada tipo de acero. Las distintas fases encontradas se identificaron mediante un completo estudio de microdurezas.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Propiedades físicas

#### 4.1.1. Densidad

En la figura 1 se muestran las densidades de sinterización de todos los materiales estudiados. Puede apreciarse que el níquel propicia un aumento de la densidad, favoreciendo la contracción de los compactos sinterizados. En cuanto al efecto del cobre, es negativo, como se verá a continuación, por cuanto produce una fuerte expansión o hinchamiento en las probetas, tanto mayor cuanto más elevado es su contenido. En las probetas en las que existe mezcla de los dos elementos los resultados tienden a mostrar el valor medio de los resultados obtenidos por separado.

#### 4.1.2. Variación dimensional

Esta propiedad indica si en el transcurso de la sinterización existe algún tipo de variación en

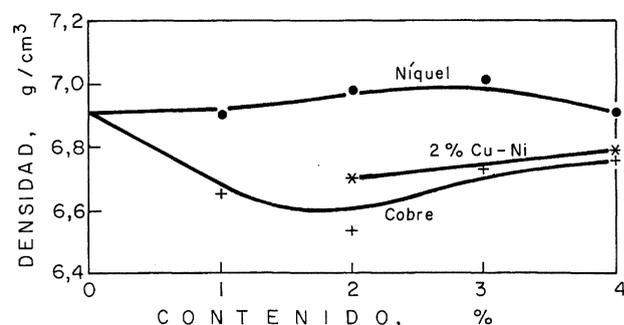


FIG. 1.— Densidad de los aceros Fe-0,7 % C-1,5 % Mo sinterizados a 1.120 °C/30 min para distintos contenidos de cobre y de níquel.

FIG. 1.— Density of Fe-0.7 % C-1.5 % Mo steels sintered at 1, 120 °C for 30 min for different copper and nickel contents.

cuanto al tamaño de la probeta bien sea por contracción o por dilatación. En la figura 2 se aprecia cómo el cobre propicia un aumento positivo de la variación dimensional, es decir, una expansión o hinchamiento. El níquel provoca una disminución de la variación dimensional a medida que aumenta el contenido de dicho elemento.

## 4.2. Propiedades mecánicas

### 4.2.1. Resistencia a la tracción

En la figura 3 se observa cómo el níquel propicia un incremento de la resistencia a la tracción así como el cobre en las aleaciones en las que se encuentra de forma simultánea con el níquel.

### 4.2.2. Alargamiento

El alargamiento tiene un comportamiento inverso al de la resistencia a la tracción, según se aprecia en la figura 4. Se observa que el efecto del níquel es más acusado que el del cobre, lo mismo que en la representación gráfica correspondiente a la resistencia a tracción. Del mismo modo, también aparece un mínimo, que en el caso de la resistencia era un máximo, correspondiente al 3 % Cu. En el caso del níquel, el efecto no es tan acusado como en el del cobre, pero la progresión es paralela al comportamiento a la resistencia a la tracción, pero con sentido inverso.

### 4.2.3. Dureza

En la figura 5 se representan los resultados correspondientes a la dureza de los materiales estu-

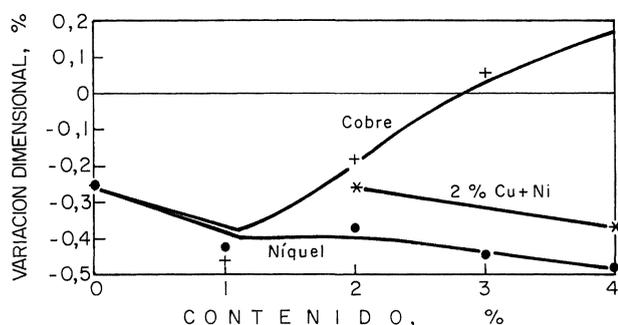


FIG. 2.— Variación dimensional de los aceros Fe-0,7 % C-1,5 % Mo sinterizados a 1.120 °C/30 min para distintos contenidos de cobre y de níquel.

FIG. 2.— Dimensional change of Fe-0.7 % C-1.5 % Mo steels sintered at 1,120 °C for 30 min for different copper and nickel contents.

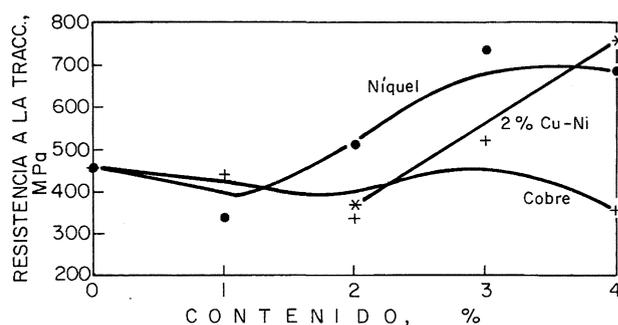


FIG. 3.— Resistencia a la tracción de los aceros Fe-0,7 % C-1,5 % Mo sinterizados a 1.120 °C/30 min para distintos contenidos de cobre y de níquel.

FIG. 3.— Tensile strength of Fe-0.7 % C-1.5 % Mo steels sintered at 1,120 °C for 30 min for different copper and nickel contents.

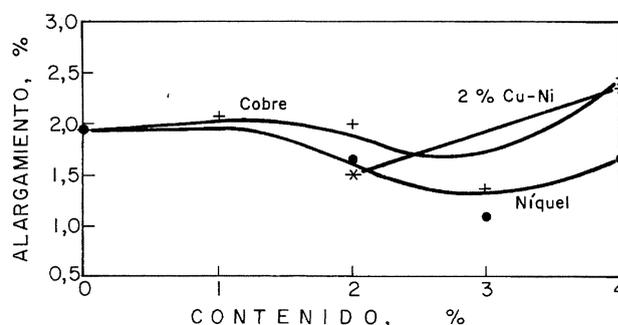


FIG. 4.— Alargamiento de los aceros Fe-0,7 % C-1,5 % Mo sinterizados a 1.120 °C/30 min para distintos contenidos de cobre y de níquel.

FIG. 4.— Elongation of Fe-0.7 % C-1.5 % Mo steels sintered at 1,120 °C for 30 min for different copper and nickel contents.

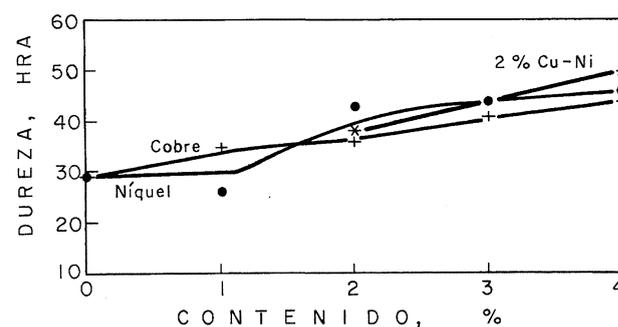


FIG. 5.— Dureza de los aceros Fe-0,7 % C-1,5 % Mo sinterizados a 1.120 °C/30 min para distintos contenidos de cobre y de níquel.

FIG. 5.— Hardness of Fe-0.7 % C-1.5 % Mo steels sintered at 1,120 °C for 30 min for different copper and nickel contents.

diados. Tanto el cobre como el níquel aumentan la dureza en los sinterizados de Astaloy Mo, como se muestra en la figura 5.

### 4.3. Metalografía

A continuación, se muestra el estudio metalográfico de los distintos materiales en estado de sinterizado, tanto por microscopía óptica convencional (Figs. 6 y 7) como por microscopía electrónica de barrido (Fig. 8).

En la figura 6 se aprecia la microestructura bainítica que propicia la presencia de 1,5 % Mo (Astaloy Mo con 0,7 % C) junto con distintos contenidos de níquel y cobre. En los aceros con níquel, se aprecian áreas de austenita metaestable que se corresponden con otras ricas en níquel (Fig. 8). Estas áreas de austenita presentan elevada porosidad producida por el efecto Kirkendall (12). Tanto el cobre como el molibdeno presentan una buena distribución (Fig. 8); el cobre, gracias a su buena difusividad en el hierro, y el molibdeno ayudado por el hecho de que no está mezclado, sino por su origen en el polvo prealeado. En la figura 6, se aprecia que aparece cobre libre para adiciones del 3 %, muy inferiores a los habituales en otros aceros sinterizados con cobre (probablemente debido a que el alto nivel de molibdeno obstaculiza la difusión del cobre). La presencia de cobre en estos aceros favorece una disminución sensible de la porosidad del material gracias a la sinterización en fase líquida transitoria, aunque no impide que queden algunos poros pequeños y redondeados. En la interfase austenita-bainita, en los aceros con níquel, se distinguen áreas martensíticas. Al aumentar el contenido de níquel crece la cantidad de martensita en la interfase, hecho que se confirma con un aumento de la microdureza de la misma (Fig. 9). También la microdureza de la bainita, en los aceros al cobre, aumenta al hacerlo el contenido de este elemento, debido al incremento de la cantidad de cobre en disolución sólida (Fig. 10).

En la figura 7 se muestra la microestructura de los aceros sinterizados con molibdeno, níquel y cobre. Se aprecian, en estos aceros, áreas bainíticas que rodean a las zonas austeníticas ricas en níquel. En la interfase perlita-austenita existe una franja extensa de martensita. Según el estudio de microdurezas (Fig. 11), se aprecia que conforme aumenta el contenido de níquel, manteniéndose constante la cantidad de cobre, las zonas de interfase se endurecen considerablemente, y de un modo menos acusado las áreas austeníticas y bainíticas.

## 5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados reflejados en el apartado anterior permiten la siguiente interpretación:

En primer lugar, se debe resaltar que los resultados obtenidos en los aceros basados en el Astaloy Mo (con 0,7 % C en masa) son similares a los obte-

nidos por (13) en condiciones similares a las utilizadas en el presente trabajo, y por (14), que realizó ensayos similares sinterizando en hidrógeno a 1.160 °C. Sin embargo, diversos autores (5 y 6) obtuvieron propiedades superiores empleando presiones de compactación más elevadas (del orden de 100 MPa) y temperaturas de sinterización de 1.250 °C, lo que es lógico debido a la obtención de una mejor sinterización de los compactos por el empleo de temperaturas más elevadas. No obstante, estas últimas condiciones de sinterización distan mucho de las utilizadas habitualmente por la industria.

Los aceros Astaloy Mo con 0,7 % C y porcentajes variables de níquel, se comportan, con respecto a la densidad, como se muestra en la figura 1, aumentando ésta según se incrementa el contenido de níquel, lo que puede explicarse por el hecho de que el níquel, al ser un elemento gammágeno, favorece la presencia de austenita retenida después de la sinterización, lo cual propicia una mejora de la densificación. Además, en general, la adición de elementos de aleación al hierro mediante mezcla de polvos elementales de menor tamaño que el del material de base (en este caso el Astaloy Mo) propicia una activación de la sinterización, tanto por el aumento de la superficie específica como por los fenómenos de difusión que se producen.

Si se considera la variación dimensional, (Fig. 2), se aprecia que el comportamiento del acero presenta una variación negativa con el aumento del porcentaje de níquel, lo que es totalmente acorde con lo mencionado anteriormente.

La resistencia a la tracción mejora con el contenido de níquel como muestra la figura 3. Este efecto puede atribuirse, en principio, a que el níquel forma solución sólida y endurece la matriz. A partir de 4 % Ni, disminuye la resistencia a la tracción, como consecuencia de la mala difusividad del níquel en el hierro, que propicia la formación de áreas con alta concentración de níquel (como ha corroborado el estudio microestructural) produciendo heterogeneidades microestructurales. Es de resaltar que los valores de los resultados obtenidos son superiores a los obtenidos por Hamiuddin (1).

El alargamiento presenta una respuesta inversa a la resistencia a la tracción, como muestra la figura 4; en este caso, el comportamiento es coherente con el de la mayoría de aceros convencionales, en los que un aumento de la resistencia conlleva una disminución del alargamiento.

La dureza de los aceros sinterizados al níquel (Fig. 5) mejora con la adición de este elemento, debido a que (pese a su mala difusividad en el hierro) aumenta la cantidad del mismo en solución sólida.

En los aceros Astaloy Mo con 0,7 % C y porcentajes variables de cobre, la densidad disminuye con la adición de este último elemento, como se

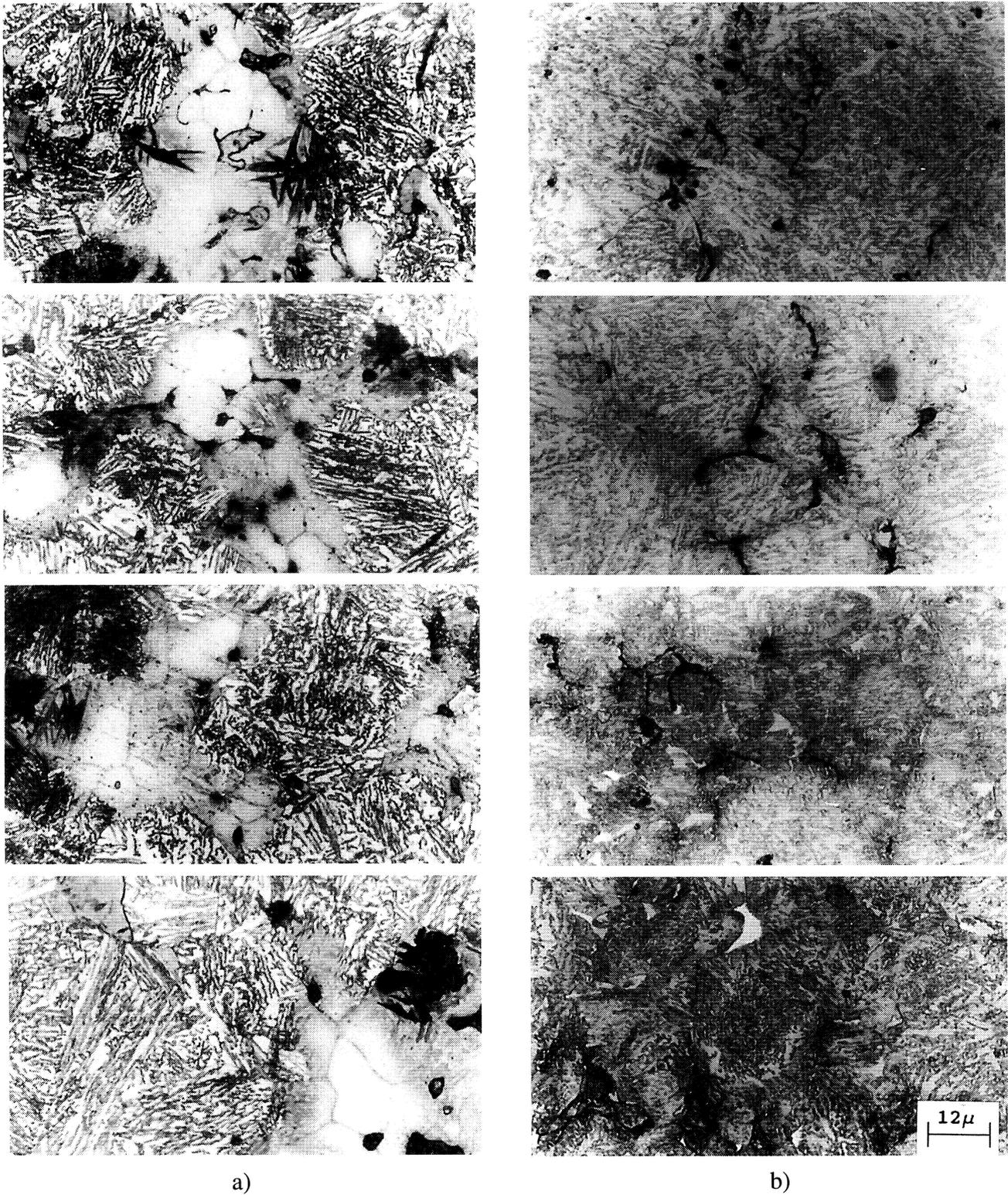
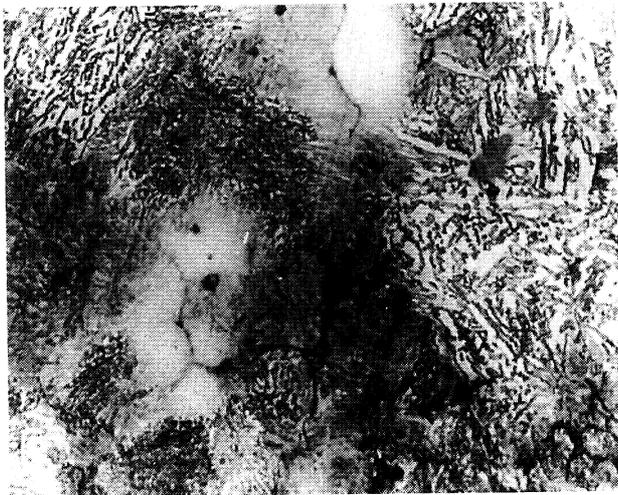


Fig. 6.— Microestructuras de los aceros Fe-0,7 % C-1,5 % Mo sinterizados a 1.120 °C/30 min, para distintos contenidos de cobre y de níquel.

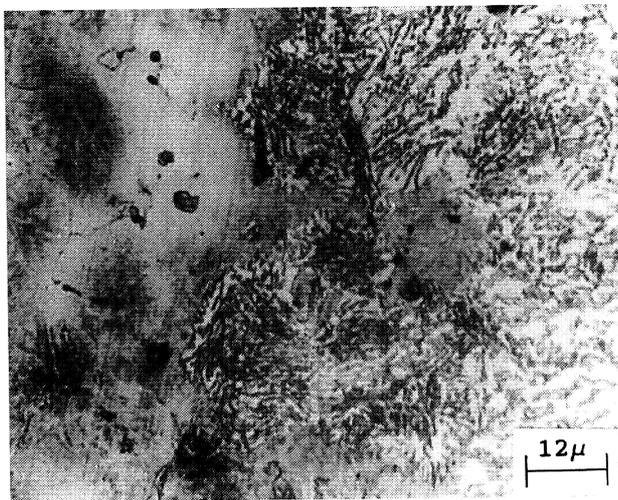
- a) Adiciones de níquel  
 b) Adiciones de cobre. De arriba a abajo: 1, 2, 3 y 4%.  
 Ataque: Nital al 3%.

FIG. 6.— Microstructures of Fe-0.7 % C-1.5 % Mo steels sintered at 1,120 °C for 30 min for different copper and nickel contents.

- a) Nickel additions.  
 b) Copper additions. Up to down: 1, 2, 3 and 4%.  
 3% Nital etching.



a)



b)

FIG. 7.— Microestructuras de los aceros Fe-0,7 % C-1,5 % Mo sinterizados a 1.120 °C/30 min para distintos contenidos de cobre y de níquel.

a) 2% Cu-2% Ni.  
Ataque: Nital al 3%

b) 2% Cu-4% Ni.  
Ataque: Nital al 3%

FIG. 7.— Microstructures of Fe-0.7 % C-1.5 % Mo steels sintered at 1,120 °C for 30 min for different copper and nickel contents.

a) 2% Cu-2 % Ni.  
3% Nital etching.

b) 2% Cu-4 % Ni.  
3% Nital etching.

muestra en la figura 1. Este fenómeno, del todo anormal, es conocido como “hinchamiento del cobre”, muy conocido y ampliamente explicado por numerosos autores (siendo el más destacable el trabajo de Dautzemberg (15)). La variación dimensional que se muestra en la figura 2 es, por tanto, positiva frente al aumento de cobre.

El comportamiento de la resistencia a la tracción, que se muestra en la figura 3, se explica mediante el estudio metalográfico. Dicho estudio muestra (Fig. 6) cómo a partir del 3 % Cu añadido, existe presencia de cobre libre (sinterización con fase líquida permanente) que propicia un efecto de entalla y hace disminuir la resistencia.

El comportamiento de los aceros aleados con cobre frente al alargamiento es similar al que presentaron los aceros al níquel.

En los aceros aleados con cobre, la dureza también se incrementa con el porcentaje de cobre, según se observa en la figura 5, al difundir este elemento rápidamente en el hierro dando lugar a una solución sólida que endurece la matriz.

Al considerar las aleaciones de Astaloy Mo con 0,7 % C - 2 % Cu - 2 % Ni y la aleación de Astaloy Mo con 0,7 % C - 2 % Cu - 4 % Ni, los efectos y las respuestas de los aceros frente a las propiedades mecánicas y físicas evaluadas (excepto el alargamiento) son, en la mayoría de los casos, la media de la respuesta que frente a esas propiedades ofrece, el efecto del níquel y el del cobre por separado. En el caso del alargamiento, para la aleación con 2 % Cu y 4 % Ni, el hecho de que esta aleación sea la de la mayor dureza y resistencia y al mismo tiempo la de mayor ductilidad, se explica por la escasa porosidad que presenta esta aleación gracias a la mejor capacidad de sinterización propiciada por la presencia conjunta de ambos elementos. Finalmente, se debe resaltar que recientemente se ha desarrollado una nueva familia de polvos consistente en materiales prealeados similares a las aleaciones estudiadas en este trabajo (ya comentado en el apartado de antecedentes), con lo que las propiedades obtenidas mediante mezcla elemental de polvos son superiores.

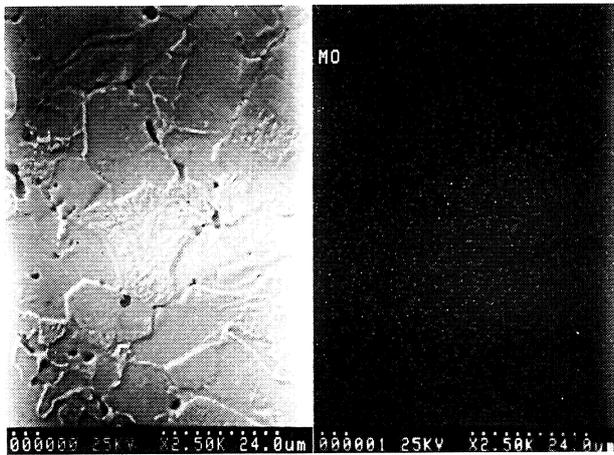
## 6. CONCLUSIONES

Los aceros sinterizados aleados con 1,5 % Mo y 0,7 % C en masa, obtenidos a partir de polvos prealeados Astaloy Mo, presentan unas propiedades mecánicas mejores que las obtenidas a partir de otros polvos prealeados existentes hasta ahora en el mercado.

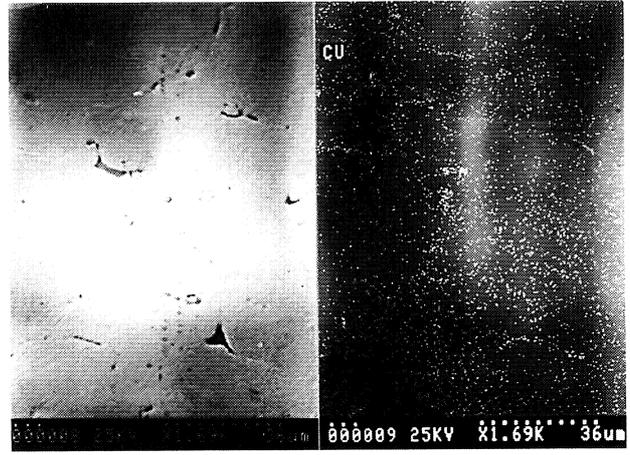
Estos aceros sinterizados presentan, además, un buen control dimensional tras la sinterización (con variaciones dimensionales inferiores al 0,3 %).

La adición de níquel y/o cobre a los aceros sinterizados a partir de polvos prealeados Astaloy Mo, mejora las propiedades mecánicas. La mejor combinación de elementos de adición es la de 2 % Cu y 4 % Ni en masa.

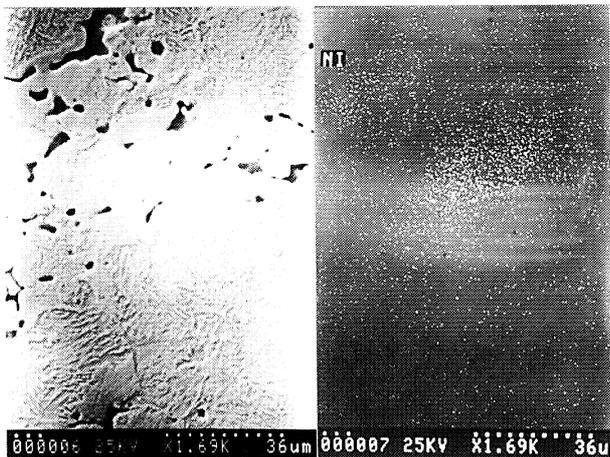
El efecto del níquel sobre las propiedades mecánicas de estos aceros es mayor que el producido por el cobre. Sin embargo, el cobre propicia un mejor



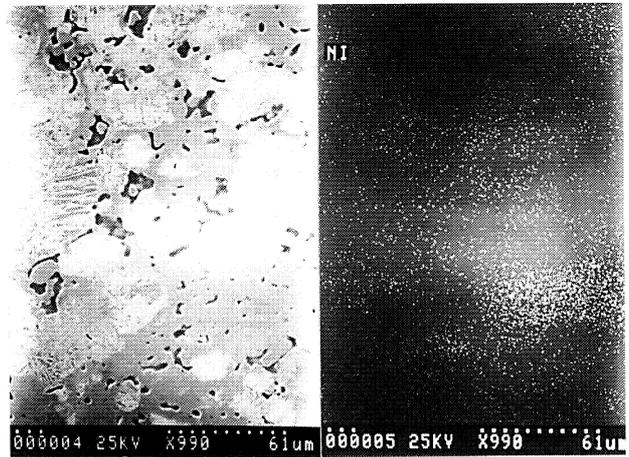
a)



c)



b)



d)

FIG. 8.— Microestructuras obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (junto con distintos barridos).  
 FIG. 8.— Microstructures obtained by SEM (with different scans).

- a) Fe-0,7 % C-1,5 % Mo.
- b) Fe-0,7 % C-1,5 % Mo-2 % Ni.
- c) Fe-0,7 % C-1,5 % Mo-4 % Cu.
- d) Fe-0,7 % C-1,5 % Mo-2 % Cu-4 % Ni.

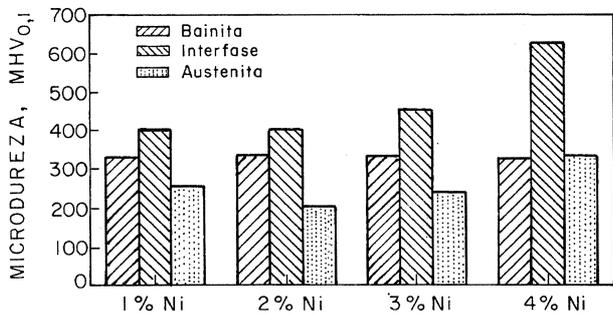


FIG. 9.— Microdurezas de los microconstituyentes del Astaloy-Mo+0,7 % C sinterizados a 1.120 °C/30 min para distintos contenidos de níquel.  
 FIG. 9.— Microhardness of Astaloy-Mo+0,7 % C sintered at 1,120 °C for 30 min for different nickel contents.

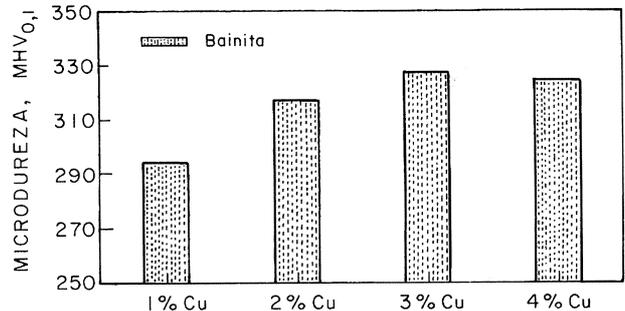


FIG. 10.— Microdurezas de los microconstituyentes del Astaloy-Mo+0,7 % C sinterizados a 1.120 °C/30 min para distintos contenidos de cobre.  
 FIG. 10.— Microhardness of Astaloy-Mo+0,7 % C sintered at 1,120 °C for 30 min for different copper contents.

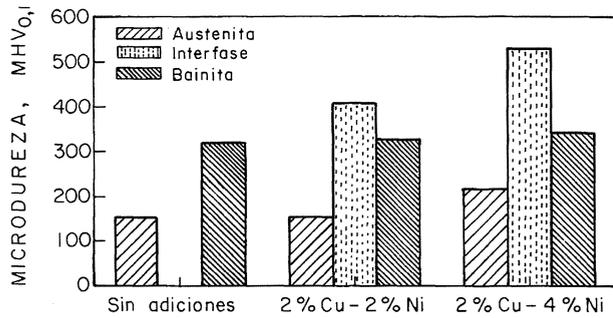


FIG. 11.— Microdurezas de los microconstituyentes del Astaloy-Mo+0,7 % C sinterizados a 1.120 °C/30 min para distintos contenidos de cobre y de níquel.  
 FIG. 11.— *Microhardness of Astaloy-Mo+0.7 % C sintered at 1,120 °C for 30 min for different copper and nickel contents.*

control dimensional. El efecto conjunto de ambos elementos favorece una buena conjunción de propiedades mecánicas y dimensionales.

Se pueden obtener aceros sinterizados con variación dimensional nula a partir de adiciones de cobre (en cantidades ligeramente inferiores al 3 %) al Astaloy Mo con 0,7 % C en masa, junto con propiedades mecánicas aceptables (resistencia a la tracción, 500 MPa y alargamiento, 1,3 %).

## REFERENCIAS

- (1) HAMIUDDIN, Md. *Powder Metall. Int.*, 5, 1983: 257-299.
- (2) SVENSON, L.E. *Powder Metall.*, 22 (4), 1979: 165-174.
- (3) ZAPATA, W.C., TORRALBA, J.M. y RUIZ, J.M. Comparative study of Cu-Ni-Mo sintered steels obtained from

elemental mixed and prealloyed powders. *Horizons of Powder Metallurgy*. Vol. 2. Proc. Intern. Conf. on Powder Metallurgy, PM'86. Düsseldorf (R.F.A.), 1986: 1.053-1.056.

- (4) RUIZ, J.M., TORRALBA, J.M., SÁNCHEZ, J.L., RANNINGER, C. y ZAPATA, W.C. Influence of molybdenum on properties and microstructure of sintered alloyed steels. *Sintering'87*. Vol. 1. Ed. Elsevier Applied Science. Londres, Nueva York, Tokyo, 1988: 677-682.
- (5) DANNINGER, H. *Powder Metall. Int.*, 20 (4), 1988: 7-11.
- (6) SANDEROW, H.I. High temperature sintering of ferrous P/M components. *Advances in Powder Metallurgy*. Vol. 1. Ed. Metal Powder Industries Federation, Princeton, (NJ, EE.UU.), 1989: 187-202.
- (7) LINDQVIST, B. A molybdenum-alloyed steel for surface hardening. *Proc. World Congress on Powder Metallurgy*. Vol. 2. Londres, 2-6 jul. 1990: 170-177.
- (8) DANNINGER, H. *Powder Metall. Int.*, 24 (2), 1992: 73-79. *Powder Metall. Int.*, 24 (3), 1992: 163-167.
- (9) FURUKIMI, O., MARUTA, K., ABE, T., TAKAJO, S. y HABU, K. *Powder Metall.*, 34 (3), 1991: 212-214.
- (10) BOULAMA, A., BRUNEL, G. y CICERON, G. Processes involved during the elaboration of Fe-Mo alloys by powder metallurgy. *Proc. World Congress on Powder Metallurgy PM'90*. Vol. 2. Londres, 2-6 jul. 1990: 222-228.
- (11) BOCCHINI, G.F. Recent advances in diffusion-bonded powders for high-strength PM applications. *Workshop on Advanced Sintered Materials*. Madrid, feb. 1994.
- (12) LENEL, F.V. *Powder Metallurgy: Principles and Applications*. Ed. MPIF. Princeton (NJ, EE.UU.) 1980: 269-284.
- (13) CAMBRONERO, L.E.G., FERNÁNDEZ, C., TORRALBA, J.M. y RUIZ PRIETO, J.M. *Powder Metall.*, 37 (1), 1994: 53-56.
- (14) DANNINGER, H. *Powder Metall.*, 24 (2), 1992: 73.
- (15) DAUTZEMBERG, N. *Arch. Eisenhüttenwes.*, 41, 1970: 1.005-1.010.