

# PROPIEDADES Y USOS DEL ZINALCO

G. Torres Villaseñor, J. Negrete\* y L. Valdés

Instituto de Investigaciones en Materiales  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Apartado Postal 70-360  
04510 México, D.F.

## RESUMEN

El Zinalco es una aleación desarrollada en el IIM-UNAM, basada en Zn, que combina la alta resistencia mecánica de un acero estructural con la buena resistencia a la corrosión que presenta el aluminio y con un peso específico intermedio entre ambos. Esta combinación de propiedades aunado al bajo precio de la aleación, lo hacen apto para competir en el campo de aplicaciones del aluminio 6063. En el presente trabajo se exponen las principales propiedades del Zinalco, el origen de éstas y sus posibilidades como material estructural en competencia con el aluminio.

## ABSTRACT

Zinalco is an alloy developed at the IIM-UNAM. The alloy is

---

\* Dirección permanente: Instituto de Geología y Metalurgia de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.

based in Zn and combines the high strength of the structural steel with the good corrosion resistance of the aluminum, with a density in between the iron and the aluminum. These combination of properties and the low cost of the allow make it competitive in the field where the aluminum 6063 is applied. This paper discusses the origen of the properties of the alloy, Zinalco, and its possible applications in substitution of the aluminum.

## 1. INTRODUCCION

El nombre "Zinalco" es una marca registrada a favor de la UNAM, que cubre una variedad de aleaciones, desarrolladas en el IIM de la UNAM, basadas en Zn; con propiedades sumamente atractivas y novedosas. Una de las posibles aplicaciones para esta aleación está en la sustitución de las aleaciones de aluminio en aquellas aplicaciones en donde la resistencia a la corrosión juega un papel más importante que la ligereza, como es el caso de la industria de la construcción, en donde el aluminio por su bajo costo de mantenimiento se ha convertido en un material imprescindible, aumentando la dependencia de México con las materias primas extranjeras, ya que en nuestro país no existe la bauxita, que es la materia prima convencional para la producción de aluminio.

Por otra parte, el Zn ha sido hasta ahora un material subutilizado y de bajo precio, del cual México es un productor a nivel mundial. Consciente de este problema, el Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM, ha dedicado seis años de trabajo al estudio de aleaciones de Zn que puedan tener aplicaciones en estructuras. El resultado de los trabajos fue la aleación denominada Zinalco, que entre otras propiedades tiene la de ser extruida o laminada, cambiando así la vieja idea de que las aleaciones de Zn son útiles sólo en fundición. La importancia de este desarrollo radica esencialmente en la posibilidad de dar un uso masivo al zinc, en sustitución de materias primas importadas como es el aluminio. La posibilidad de extruir al Zinalco, en las mismas instalaciones usadas para extruir aluminio, aunado a un ahorro de energía del proceso e igual rapidez de producción, dan a esta aleación competitividad con los productos de aluminio; por otro lado, su alta resistencia mecánica semejante a la de los aceros estructurales, permiten disminuir el problema del peso del Zinalco, cuya densidad está en relación de dos

a uno con respecto al aluminio, ya que aprovechando su alta resistencia mecánica se pueden diseñar perfiles con secciones de carga menores que las utilizadas para aluminio, disminuyendo así el peso del perfil.

Los productos laminados a partir de Zinalco podrían competir con los del aluminio y aun con los de acero inoxidable en aquellos casos en que no se requiere elevar la temperatura arriba de los  $90^{\circ}\text{C}$ , como es el caso de muebles de cocina, recipientes, lámina acanalada, etc.

El conformado de las láminas puede hacerse en la forma tradicional o a través de procesos superplásticos, en los cuales se utilizan métodos semejantes a los del conformado de plásticos, con el correspondiente ahorro de troqueles y desgaste de moldes.

En general, los usos futuros que se darán al Zinalco, dependerán del ingenio del arquitecto o ingeniero que lo use.

## 2. DESARROLLO DE LA ALEACION

El proyecto bajo el cual la aleación Zinalco tuvo su desarrollo fue propuesto a la Organización de Estados Americanos en 1977. Dentro de los objetivos del programa estaba el de desarrollar una aleación capaz de sustituir al aluminio, basada en materias primas nacionales. A través de una revisión de la bibliografía y de publicaciones periódicas, fue posible determinar que las aleaciones Zn-Al tenían propiedades prometedoras. Estas aleaciones son universalmente conocidas por sus excelentes propiedades como aleaciones para fundición y por sus propiedades superplásticas. Hace aproximadamente 42 años las aleaciones de Zn-Al fueron desarrolladas en Alemania para sustituir al bronce, ya que el cobre se había escaseado. Algunas aleaciones conteniendo del 10 al 30% de aluminio rivalizaron con el bronce al grado de llamarlo bronce blanco. Después de un tiempo varias compañías europeas continuaron el desarrollo de estas aleaciones con excelentes resultados, popularizando su uso como aleación para cojinetes. No fue sino hasta la década de los 80's que aparecieron estas aleaciones en los Estados Unidos con los nombres ZA-12 y ZA-27, cuya nomenclatura corresponde a los porcentajes aproximados de aluminio. La aleación con mayor contenido de aluminio tiene una resistencia a la cedencia de 380MPa, superior a la ZA-12 que es de sólo 210MPa. En general, de todas estas alea-

ciones ninguna fue desarrollada para ser extruida o laminada, sus aplicaciones están dirigidas a productos de fundición.

Otro tipo de aleaciones importantes que han surgido del sistema Zn-Al son las aleaciones superplásticas. La superplasticidad se puede considerar como uno de los desarrollos más fascinantes logrado en el área de los materiales en los últimos años. Aunque fueron hechas hace 50 años, el interés por estudiarlas y aplicarlas surgió en la década de los 60's, y sólo en los últimos 10 años se ha logrado avanzar y aprender algo acerca de la naturaleza de estas aleaciones, que pueden ser termoformadas tan fácilmente como el vidrio o los plásticos. La aleación comercial, basada en Zn-Al con estas propiedades lleva el nombre de Super Z300 y contiene 22% Al y 0.5% Cu y 0.01% Mg.

Como se puede inferir de lo anteriormente expuesto, ha habido recientemente un interés especial por el desarrollo de las aleaciones de Zn. Una buena razón para esto es su bajo precio (1/2 del precio del aluminio), su alta resistencia a la corrosión y una relativa abundancia de este metal en el mercado. Es claro que se corre el peligro de que se agote, pero para el caso de México es mejor que se agote utilizándolo en el país que vendiéndolo al extranjero, ya que siempre queda la posibilidad de reciclarlo.

Hasta la fecha no existe publicada una aleación de Zn que tenga aplicaciones directas a la extrusión o al laminado. Las aleaciones como la ZA-27 presentan una ductilidad muy limitada, considerándose casi frágiles, ya que su deformación máxima alcanza tan sólo el 10%. La aleación superplástica es muy susceptible a la corrosión intergranular y a la fluencia lenta, con lo cual su uso como material estructural queda muy limitado.

En el Zinalco se han logrado eliminar estos impedimentos para su aplicación estructural, de tal manera que puede ser extruido (Fig. 1) con relaciones de área y velocidades semejantes a las usadas al extruir aluminio. Los perfiles obtenidos según el método descrito en la Ref. 1, tienen una resistencia máxima a la tensión de 400 MPa, con una ductilidad suficiente para permitir que los perfiles planos puedan ser doblados a 180° (Fig. 2) sin observar agrietamientos en los bordes. La ductilidad y la resistencia mecánica pueden ser variadas como se verá más adelante.

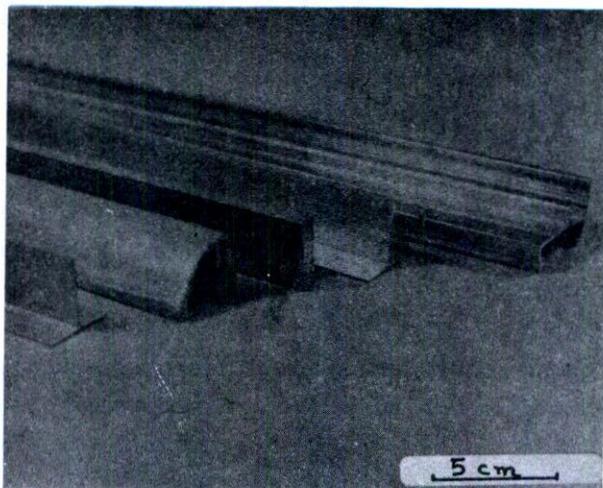


Fig. 1. Diferentes tipos de perfiles obtenidos por el método de extrusión con maquinaria utilizada para aluminio.

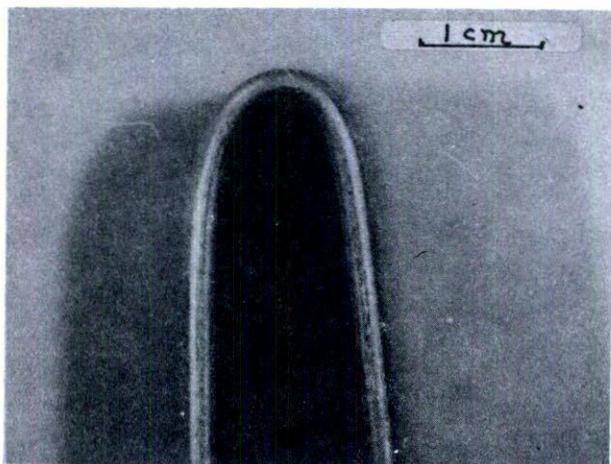


Fig. 2. Prueba de doblado a  $180^\circ$  efectuada en un perfil plano de Zinalco. La estructura atómica conferida al material permite pasar esta prueba sin presentar agrietamiento.

La resistencia a la corrosión del Zinalco es una de sus propiedades más atractivas ya que es superior a la que presentan los productos galvanizados, además de aceptar recubrimientos protectores por anodizado o inmersión en baños de cromatos. La aleación también puede ser pintada siempre y cuando la superficie esté perfectamente limpia.

Los electrodepósitos de cobre-níquel-cromo son otras posibilidades de dar acabados a esta aleación, con la ventaja de que la adherencia que tiene esta aleación a los electrodepósitos es superior a la que presenta el zinc puro o los plásticos.

El Zinalco bajo condiciones apropiadas puede ser laminado y llevado a condiciones de superplasticidad, si así se desea, para aplicaciones en termoformado (Fig. 3), o dejarse en condiciones de máxima resistencia mecánica para aplicaciones comunes a las láminas.

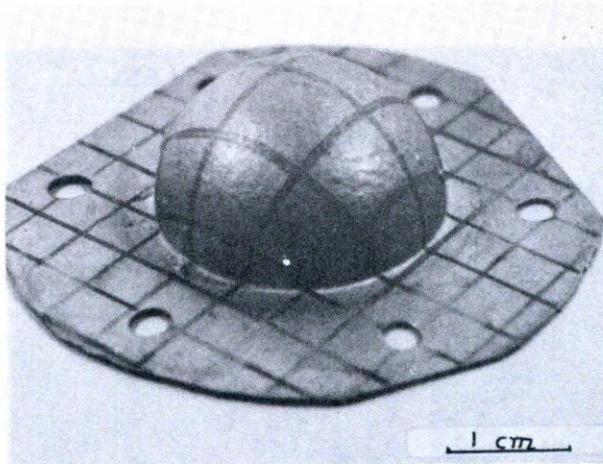


Fig. 3. Conformación por métodos superplásticos de una lámina de Zinalco. La deformación se efectuó por acción de la presión atmosférica únicamente. Este método permite obtener formas complicadas sin utilizar herramientas caras.

Otro de los estudios realizados dentro del programa de desarro-

llo del Zinalco fue el de la posibilidad de soldar este material, lográndose demostrar que es perfectamente soldable con aleaciones a base de zinc que no requieren alta tecnología para usarse, ya que su aplicación es semejante a la aplicación de soldadura con estaño-plomo (Fig. 4). Una ventaja de esta soldadura es que se difunde fácilmente en la aleación, dando alta resistencia mecánica a la unión a pesar de que la soldadura sea blanda.

Esta facilidad para soldar el Zinalco le da una nueva ventaja sobre el aluminio.

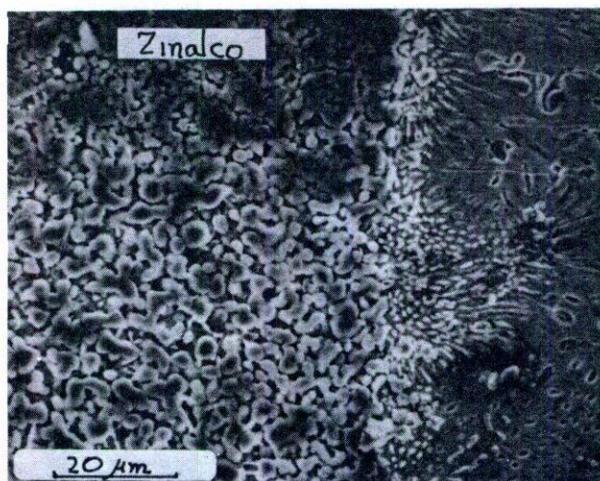


Fig. 4. Microestructura de una soldadura realizada en Zinalco por métodos convencionales. Obsérvese que el material de aporte penetra por difusión al Zinalco (región izquierda) originando un enlace de alta resistencia mecánica (M.E.B.).

### 3. PROPIEDADES MECANICAS

Las propiedades mecánicas del Zinalco, están íntimamente ligadas a su microestructura, esto es, al arreglo microscópico que pueden tomar las fases que componen la aleación; estas fases son primordialmente una solución sólida de (Al-Zn) denominada fase  $\alpha$  y una solución sólida de

(Zn-Al) denominada fase  $\beta$ . Cuando la aleación es enfriada lentamente desde arriba de la temperatura eutectoide ( $275^{\circ}\text{C}$ ), las fases  $\alpha$  y  $\beta$  se arreglan en una estructura laminar (Fig. 5) semejante a la estructura de perlita en los aceros; si por el contrario el enfriamiento es rápido, como es el caso de un temple en agua, la estructura resultante está compuesta por granos ultrafinos de aproximadamente  $1\mu\text{m}$  de diámetro (Fig. 6). Esta estructura se origina por una descomposición espinodal de la fase de alta temperatura (fase  $\gamma$ ). Estudios dilatométricos<sup>(2)</sup> permitieron comprobar que aun el templado más severo es incapaz de evitar esta transformación.

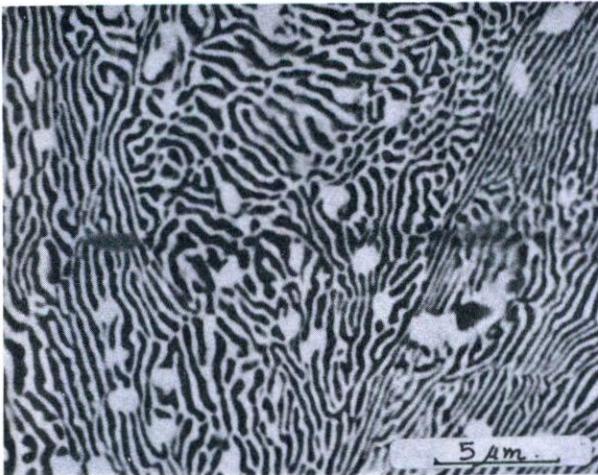


Fig. 5. Estructura de perlita obtenida en una aleación convencional Zn-Al por enfriamiento lento (M.E.B.)

Los mecanismos que permiten la deformación de las aleaciones superplásticas Zn-Al no están aún perfectamente determinados. Bajo condiciones de alta temperatura ( $T > 200^{\circ}\text{C}$ ) se acepta que el principal mecanismo de deformación es el deslizamiento de granos. Este deslizamiento puede llevarse al cabo por procesos que involucren difusión, como el propuesto por Ashby y Verrall<sup>(3)</sup>, o simplemente movimiento de un grano sobre otro<sup>(4,5)</sup>. A temperatura ambiente, condiciones bajo las cuales los meca



Fig. 6. Granos finos obtenidos al originarse una transformación espino. durante el temple en la misma aleación de la Fig. 5 (M.E.B.).

nismos de deformación han sido poco estudiados, es generalmente propuesto que la deformación se lleva al cabo por los procesos clásicos de deslizamiento de planos atómicos y dislocaciones. Dentro de las investigaciones realizadas con Zinalco (a temperatura ambiente) hemos podido comprobar, a través de experimentos *in situ*, que los procesos en los que intervienen dislocaciones, no actúan para la deformación de esta aleación ni en la su perplástica, es decir, la deformación a temperatura ambiente también se lleva a cabo por deslizamiento de granos o de dominios como el caso del Zinalco (Fig. 7).

El resultado parece lógico ya que se ha observado por microscopía electrónica que tanto los granos como los dominios son casi perfectos, es decir, no tienen dislocaciones en su interior. Al aplicar un esfuerzo a estas estructuras, los cristales perfectos presentarán una resistencia mecánica muy alta (clásica de los cristales libres de dislocaciones) pro vocando que el deslizamiento se efectúe a través de las fronteras y no por deslizamiento de planos dentro de los cristalitos. Basándonos en es to hemos propuesto<sup>(6)</sup> que la deformación de estas aleaciones Zn-Al con pro-

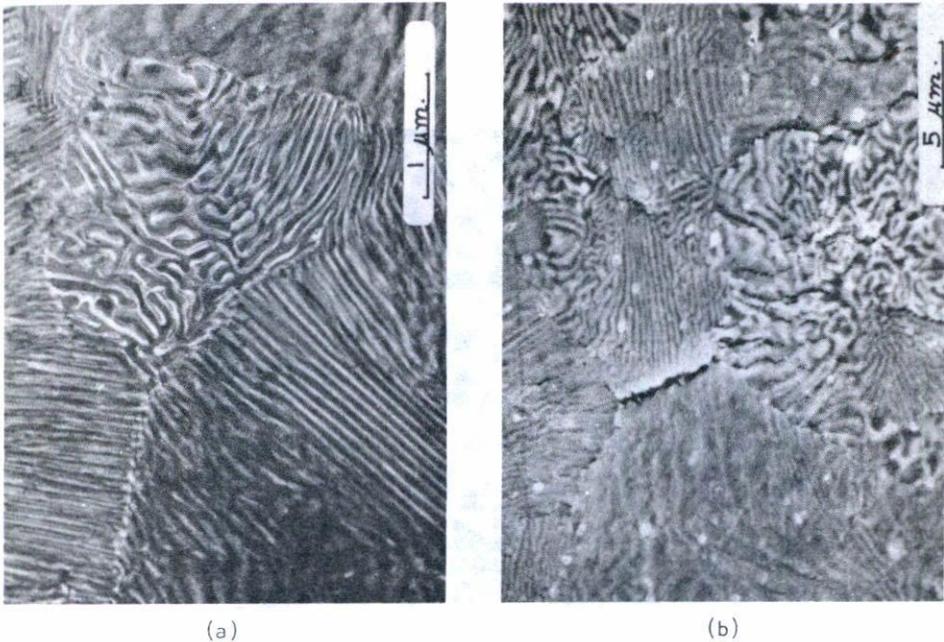


Fig. 7. a) Microestructura del Zinalco observada a través de microscopía electrónica por transmisión (200 Kv). La microestructura consiste en dominios con dimensiones de aproximadamente  $6\mu\text{m}$ , formados de estructura laminar.

- b) Zinalco deformado plásticamente. Durante la deformación los dominios se deslizan como mosaicos uno sobre el otro.

propiedades superplásticas, incluyendo al Zinalco en su estado de trabajo, se produzca en una forma similar a la deformación de arcillas; así el esfuerzo cortante ( $\tau_o$ ) necesario para producir cedencia en el metal, consistiría de dos términos: uno es el esfuerzo cortante  $\tau_c$ , requerido para vencer la fuerza de cohesión entre granos, y el otro un esfuerzo de fricción ( $\mu$ ), el cual es proporcional al esfuerzo normal a la superficie ( $\sigma_n$ ) de los granos:

$$\tau_o = \tau_c + \mu\sigma_n$$

El esfuerzo de cohesión entre granos ( $\tau_c$ ) es un término que decae muy rápido con la temperatura, es decir, es alto a temperatura ambiente, sin embargo a temperaturas cercanas a los  $200^\circ\text{C}$  se reduce en un 90%

de su valor. El término que involucra la fricción entre granos es proporcional a la velocidad con la cual se deslicen los granos. Así, a una rapidez alta de deformación, la fricción es alta y el esfuerzo de cedencia deberá ser alto, sin embargo a bajas rapidezces de deformación ( $10^{-3}$ /seg) este término es despreciable y el esfuerzo de cedencia bajará. En resumen, el modelo nos predice que el esfuerzo de cedencia varía con la rapidez de deformación ( $\dot{\epsilon}$ ) y que éste decae muy rápido con la temperatura, lo cual es típico de estas aleaciones<sup>(7)</sup>.

Para el caso de Zinalco hemos observado que el deslizamiento ocurre por el deslizamiento de dominios de perlita que asemejan "granos" (Fig. 7) y que su resistencia mecánica en este caso es superior en un 20% al material con granos finos. Sin embargo, un tratamiento térmico de Zinalco que produzca una estructura de granos finos, reditúa en una mayor ductilidad del material.

La fluencia lenta o termofluencia que sufren las aleaciones clásicas Zn-Al al ser cargadas en forma constante es una gran limitante para aplicaciones estructurales. Este fenómeno afecta con mayor severidad a la estructura de granos finos, no así a la estructura de dominios del Zinalco, la cual tiene una deformación de alrededor del 1% en 15 años y se espera mejorar.

El mecanismo de deformación, a base de deslizamiento de granos sin intervención de dislocaciones, produce efectos interesantes durante la deformación de este material. Uno de estos efectos es la ausencia de endurecimiento por trabajo mecánico. Este efecto se puede observar durante la laminación, a través de medidas de dureza a diversos pasos de laminación.

#### 4. RESISTENCIA A LA CORROSION

Entre los resultados más relevantes obtenidos en este estudio, se encuentra el hecho de que el Zinalco con cualquiera de sus microestructuras tiende a formar una capa de óxido protector al someterlo al vapor de agua, como se puede inferir de las curvas de ganancia en peso contra tiempo de exposición<sup>(8)</sup>.

El material deformado presenta una mayor ganancia en peso, posi

blemente debido a que, como se puede observar de la Fig. 7, la deformación produce levantamiento de los granos (relieve superficial); esto implica un aumento de la superficie efectiva reflejándose en una mayor cantidad de óxido protector formado.

La capa protectora formada de esta manera fue analizada por microscopía electrónica de barrido y por espectroscopía Auger<sup>(8,9)</sup>, encontrándose que la película protectora está formada principalmente de alúmina, es decir, el aluminio contenido en la aleación hace el papel de Cr en el acero inoxidable. La capa así formada alcanza un espesor de  $1\mu\text{m}$ , lo que es suficiente para mantener el brillo y color natural de la aleación, aunque esté expuesto a la atmósfera de la Ciudad de México.

También podemos inferir que la estructura laminar adquiere protección más rápidamente en la aleación con estructura perlítica, que al mismo tiempo es la que presenta una resistencia mecánica mayor.

## 5. APLICACIONES

La maquinabilidad del Zinalco es excelente, muy parecida a la del latón para maquinado rápido (Cu-33Zn-3.2Pb); esta propiedad le permite encontrar una gran variedad de aplicaciones, como la mostrada en la Fig. 8, que corresponde a diseños para portamuestras de microscopio electrónico, en el cual también juega un papel importante su baja resistencia eléctrica ( $5\mu.\Omega.$  cm). Los tornillos fabricados con esta aleación tendrían la propiedad de tener alta resistencia a la corrosión y no formar par eléctrico ni con aluminio ni con el acero, pudiéndose usar tanto en torres eléctricas como en el ensamblaje de ventanas.

La posibilidad de producir perfiles arquitectónicos con Zinalco abre una nueva perspectiva a la arquitectura e ingeniería, ya que estos perfiles tienen alta resistencia mecánica ( $\approx 400$  MPa) y pueden ser soldados para la fabricación de naves para bodegas o nuevas formas de ventanas. La lámina en su estado normal podría aplicarse a la fabricación de muebles de cocina, con la ventaja de resistir la corrosión, y la lámina en estado superplástico podría abrir nuevas técnicas en la fabricación de automóviles, a través de la producción de carrocerías sin soldaduras, semejantes a las de fibra de vidrio. Los experimentos tendientes a conocer más las pro

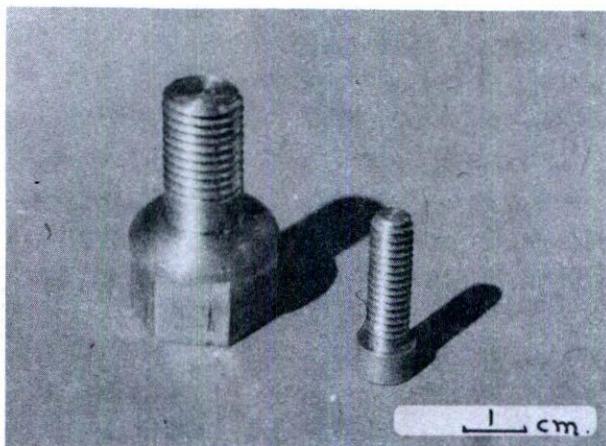


Fig. 8. Tornillos maquinados a partir de Zinalco. La buena maquinabilidad del material, alta resistencia mecánica y excelente resistencia a la corrosión permiten su aplicación en varios campos.

propiedades del Zinalco siguen en el IIM-UNAM con el objeto de hacer del Zinalco un muy buen desarrollo tecnológico.

#### REFERENCIAS

1. G. Torres, L. Valdés y J. Negrete, "Método de Extrusión de Aleaciones Zn-Al-Cu". (Patente en trámite).
2. L. Valdés, J. Negrete y G. Torres, "Estudio dilatométrico de aleaciones superplásticas", *Memorias del VI Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería* (1980) pág. 289.
3. M.F. Ashby y R.A. Verrall, *Acta Metall.* 21 (1973) 149.
4. A. Ball, M. Hutchison, *Met. Sci. J.* 3 (1969) 1.
5. A. Mukherjee, *Mater. Sci. Eng.* 8 (1971) 83.
6. J. Negrete, L. Valdés y G. Torres, *Metall. Trans.* 14A (1983) 1931.
7. R. Taplin, G.L. Dunlop and T.G. Langdon, *Ann. Rev. Mater. Sci.* 9 (1979) 151.
8. G. Torres, A. Ugalde, L. Hernández, I.L. Singer. *Corrosion Science* (en prensa, 1984).
9. G. Torres (editor), "El Aluminio en Latinoamérica", publicación OEA (1982) pág. 356.