

Un enfoque metalúrgico y electroquímico para el estudio de los metales históricos

Jorge González Sánchez, Luis Dzib Pérez, Ildefonso Esteban Pech Pech

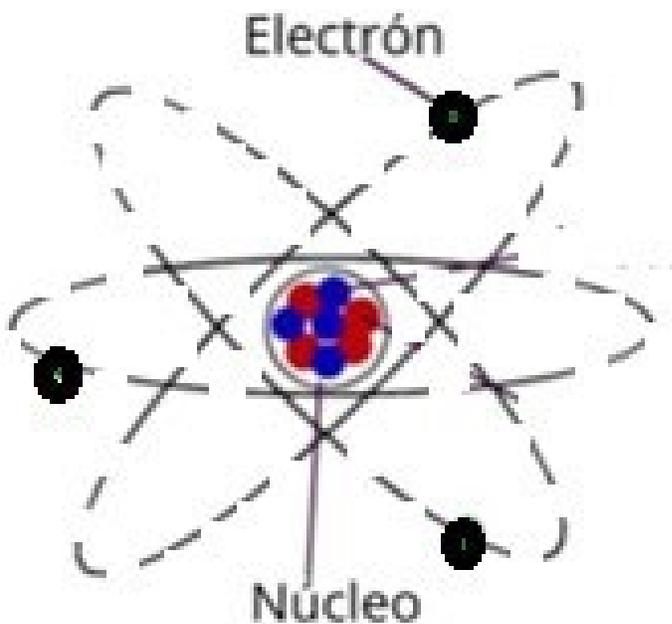


Figura 1.. Representación esquemática del átomo.

El estado de deterioro y la preservación de piezas metálicas con valor histórico-artístico está íntimamente relacionado con la estructura del metal a nivel microscópico y con el medio al que está expuesto. Las propiedades químicas, físicas y mecánicas del metal están determinadas por la forma en que los átomos del metal se encuentran acomodados espacialmente (su microestructura). El fenómeno de corrosión se debe abordar atendiendo los aspectos metalúrgicos y electroquí-

micos del proceso para la preservación y conservación de piezas metálicas con valor arqueológico. Este artículo presenta una explicación básica sobre los fundamentos de la metalurgia física para entender la relación de las características metalúrgicas de las aleaciones con su resistencia a la degradación por corrosión. Es decir, para entender y controlar el proceso de degradación de metales y aleaciones por corrosión debemos primero conocer la estructura de los metales y la relación que tiene con sus propiedades. Se presenta también una introducción a la electroquímica de la corrosión para un entendimiento a nivel técnico de los procesos de degradación por corrosión de los metales.

Partiremos del modelo atómico que considera que el átomo está constituido por un núcleo en el que se encuentran protones y neutrones, rodeado por electrones que se mueven en orbitales de energía que los mantienen siempre atraídos al núcleo como se esquematiza en la figura uno. Consideremos que de forma idealizada los átomos metálicos se comportan como esferas perfectas y sólidas [1-



2]. Los electrones de valencia de los átomos metálicos forman lo que se conoce como nube electrónica y se mueven libremente alrededor de los átomos (cationes) metálicos, formando una nube de electrones en todo el volumen del metal [1]. Los átomos en los metales están unidos por fuerzas asociadas a su tamaño y a la cantidad de electrones que orbitan al redor del núcleo del átomo con una característica muy interesante y que no es de conocimiento común: los átomos metálicos están acomodados en arreglos periódicos en distancias siempre constantes en las tres direcciones (x, y, z), que se repiten millones de veces, (arreglos de largo alcance), llamados celdas cristalinas.

Los metales y aleaciones tienen estructura cristalina a nivel nanómetros cuyos arreglos periódicos alcanzan dimensiones de micrómetros y cientos de miles de grupos de átomos acomodados en estructuras cristalinas creciendo en diferente dirección conforman al metal en dimensiones desde milímetros a metros [1,2].

El hecho de que los átomos de las aleaciones y los metales se encuentran acomodados tridimensionalmente en forma periódica es lo que les permite ser sometidos a deformación plástica sin romperse. Lo anterior es un proceso que no se puede realizar en materiales poliméricos, cerámicos o compuestos de matriz cerámica. El hecho que la mayoría de los metales se puedan deformar sin romperse es posible por el fenómeno de deslizamiento de planos de átomos unos sobre otros. Para visualizar esto veamos las formas de acomodo de los átomos en las aleaciones metálicas en las celdas cristalinas, como se muestra en la figura dos.

La naturaleza ha determinado que hay planos y direcciones preferenciales en las cuales se presenta el deslizamiento cuando se aplica esfuerzo a un metal y se produce su deformación plástica. Tal es el caso de piezas de oro y plata hechas con láminas muy delgadas producidas por golpeteo de una pieza que se adelgaza al deformarse plástica-

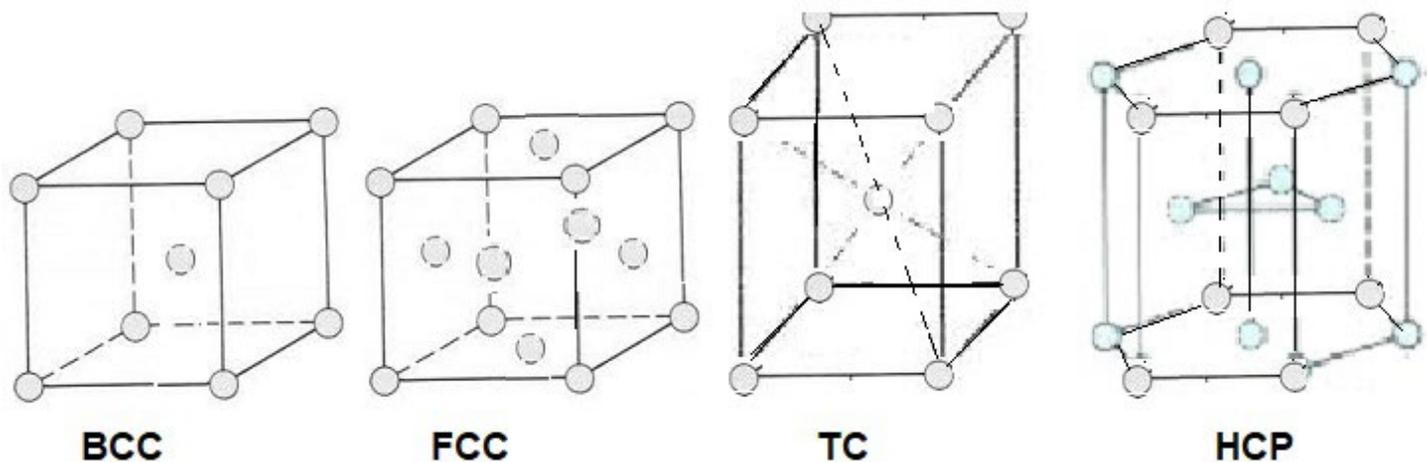


Figura 2. Geometrías de las celdas cristalinas. BCC (Cúbica centrada en el cuerpo), FCC (Cúbica centrada en las caras), TC (tetragonal centrada en el cuerpo) y HCP (Hexagonal compacta).



Figura 3. Cañones de hierro colado (fundición de hierro) y campana de bronce.

mente. También existen piezas metálicas cuya forma final es producto del proceso de fundición y solidificación, como los cañones de fundición de hierro y campanas de bronce como las que se presentan en la figura tres.

Una campana de bronce o unos cañones de hierro colado no pueden deformarse plásticamente debido a su composición química y su mi-

croestructura; en lugar de deformarse cuando se aplica una carga, se fracturan en dos o más partes. Así mismo, la resistencia a la corrosión de todos los metales depende de su microestructura y de su composición química [2]. Las imágenes en la figura cuatro, corresponden a las metalografías realizadas en la superficie de un cañón de fundición de hierro y la de un cepo de un ancla tipo almirantazgo fabricadas con

hierro forjado. Mismo metal base, el Fe, pero con diferente concentración de carbono como elemento de aleación [3,4].

Obsérvese la diferencia en la microestructura del hierro fundido y la del hierro forjado, el primero contiene una gran cantidad de carbono, el cual, durante la solidificación de la aleación, no puede solubilizarse en el Fe y se precipita formando carburo de hierro (Fe_3C) en forma de láminas delgadas intercaladas por láminas de hierro alfa o ferrita ($\text{Fe-}\alpha$) el cual contiene una despreciable concentración de C. La microestructura de la fundición de hierro consiste en una fase continua de $\text{Fe-}\alpha$ con zonas de laminas intercaladas de Fe_3C y $\text{Fe-}\alpha$ (fase llamada Perlita) y hojuelas de grafito que no logró transformarse en Fe_3C [1-2].

La presencia de Fe_3C hace a estas aleaciones en general muy duras, poco dúctiles en comparación con los aceros o con el hierro forjado. Las piezas de fundición de hierro se obtienen por colado de metal líquido en moldes de arena con diferentes velocidades de enfriamiento. Por su parte el hierro forjado presenta una sola fase de $\text{Fe-}\alpha$ con límites de granos equiaxiados (de si-

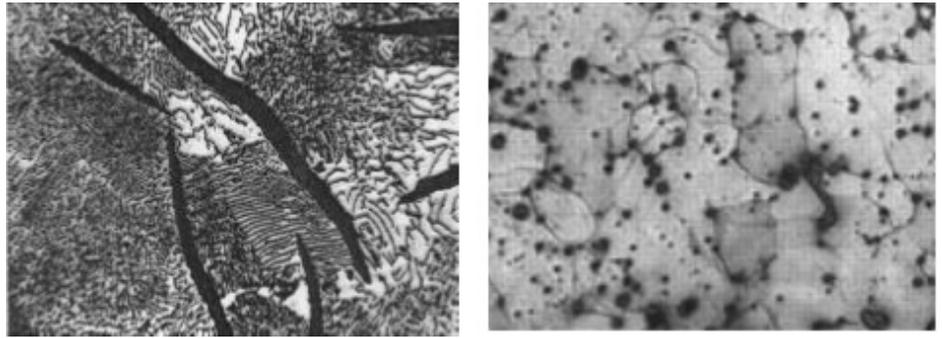


Figura 4. Metalografía superior es de la fundición de hierro, izquierda (aleación de Fe con más de 2% en peso de C), la micrografía de la derecha es de hierro forjado (aleación de Fe con menos de 0.08% en peso de C) [3,4].

milar magnitud en los 3 ejes) bien definidos y una gran cantidad de inclusiones no metálicas. El hierro forjado se puede moldear por golpeo o por prensado elevando su temperatura muy por debajo de su temperatura de fusión, por eso se pueden lograr formas complicadas de piezas de hierro forjado.

Por otra parte, la mayoría de los metales se encuentran en la naturaleza en forma de minerales y el ser humano, aplicando grandes cantidades de energía, extrae los metales de los minerales y los transforma en materiales para uso en ámbitos comunes y tecnológicos. Por lo tanto, la corrosión es un proceso espontáneo de regresión de los metales a su estado natural de menor energía para reaccionar, la cual es en forma de compuestos o minerales [5]. El proceso de corrosión involucra que se lleven a cabo simultáneamente 2 reacciones electroquímicas, una de oxidación (el metal pierde sus electrones de valencia) y pasa a forma iónica en solución para después convertirse en compuesto al reaccionar con otros elementos no metálicos, y otra reacción en la que participan los electrones liberados por el metal al oxidarse. Esta otra reacción es la de reducción o catódica [5]. Si una de las reacciones no se lleva a cabo, el proceso de corrosión no es posible.

En el caso de piezas metálicas con valor histórico-artístico, los materiales metálicos más usados en la antigüedad y a lo largo de la historia de la humanidad han sido el hierro y sus aleaciones, así como el bronce (aleación base cobre), por lo que la mayor parte

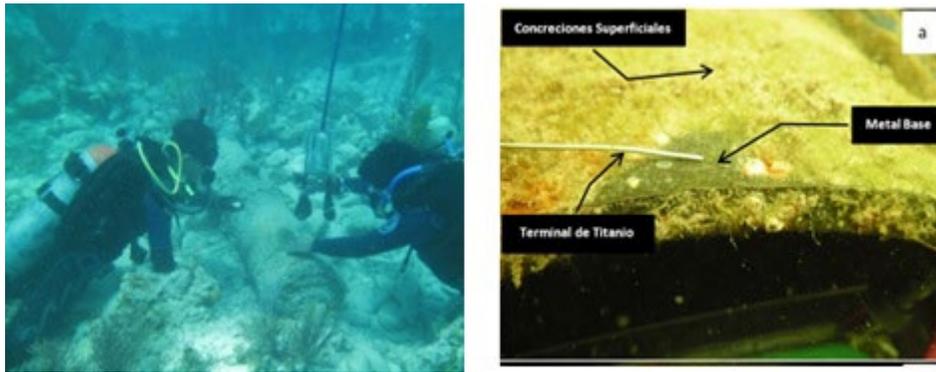


Figura 5. Actividades de arqueología subacuática con mediciones de la condición electroquímica de piezas sumergidas en el mar [7].

de las piezas metálicas que forman parte del patrimonio metálico de Campeche fueron fabricadas con estos metales. Se han estudiado piezas metálicas sumergidas en el mar como se muestra en la figura 5 [7]. Para estos estudios se requirió el apoyo de los arqueólogos subacuáticos del INAH, utilizando equipo especial para la evaluación in situ, del estado de deterioro y velocidad de corrosión de las piezas metálicas.

Para piezas del patrimonio metálico que normalmente se encuentran expuestas al aire libre o en recintos cerrados, pero sin control de la humedad, es fundamental establecer el grado de corrosividad de la atmósfera circundante y la concentración de contaminantes atmosféricos como el Cl^- y el SO_2 . En esta base, el parámetro atmosférico más importante que incide directamente con el proceso de corrosión es la humedad, el cual, es el origen del electrolito necesario en el proceso electroquímico. A espesores pequeños de la capa de humedad la corrosión es muy difícil, y obviamente, en ausencia total de humedad, la corrosión no se presenta [8,9]. De lo anterior queda claro la importancia del conocimiento de las causas y los factores que influyen en la formación de películas de humedad sobre la superficie metálica. La causa más importante es la precipitación de agua (en forma de lluvia o niebla). La condensación de humedad se presenta cuando la humedad relativa en la atmósfera sobrepasa el 100% [8,9].

Referencias

Arano D., (2008). Conservación de cañones de fundición de hierro del periodo colonial, que forman parte del patrimonio cultural de San Francisco de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche.

Bernés F. R., (2008). Preservation of iron-based archaeological artefacts exposed to tropical-humid atmosphere at: Transworld Research Network 37/661.

Callister, W. C., (2001). Fundamentals of Materials Science and Engineering. United States of America. John Wiley & Sons, Inc.

Commission of the European Communities, The characterization of corrosion test sites in the Community, (1998). EUR 7433 (EN), Luxemburgo.

Dzib L. González- J., León A., Espínola P. Laines F. Manual de técnicas electroquímicas aplicadas al estudio de la corrosión de materiales metálicos en el fondo marino, (2013). Universidad Autónoma de Campeche.

Genescá J, Ávila J. (1987). Más allá de la herrumbre, vol. 1. México. La ciencia desde México, Fondo de Cultura Económica.

R. E. Reed-Hill, R. Abbaschian, (1994), Physical Metallurgy Principles. Boston, MA PWS Publishing Company.

Salazar J.P. Mapas de España de Corrosividad Atmosférica. (1993) Capítulo 10. Editores: M. Morcillo y S. Feliu. CYTED Madrid.

Urbani, G. The Science and Art of Conservation of Cultural Property. (1996). En N.S. Price, M.K. Talley Jr. and A.M Vaccaro (eds), Historical and Philosophical Issues in the Conservation of Cultural Heritage, The Getty Conservation Institute. USA.