

Universidad de Chile

Facultad de Artes

Escuela de Postgrado

**RESTAURACIÓN Y CONSERVACIÓN DE
METALES ARQUEOLÓGICOS SUBMARINOS:
PLATA Y BRONCE.**

Objetos provenientes del naufragio del galeón español San Diego

Memoria presentada al departamento de postgrado de la Universidad de Chile
para optar al título de restaurador del patrimonio cultural mueble.

POR JOHANNA ANDREA RIVERA DÍAZ

Profesor guía: Johanna María Theile
Santiago, Chile 2004

A mis papás, hermanos y amigos que me ayudaron en el desarrollo de este trabajo

Agradecimientos

Quiero agradecer sinceramente a Olivier Berger por su ayuda y confianza depositada en mí para realizar esta práctica de restauración en metal arqueológico en su taller en Suiza. También a Guylane Samson, Steffani Jud, Alexander Jungi, Karin Jud, Regula Sager y Renate Jud por brindarme su apoyo y amistad.

También quiero agradecer especialmente a Marie Soares y al personal del laboratorio de conservación y restauración del Schweizerische Landesmuseum Zürich (Suiza) por ayudarme a realizar los análisis de Fluorescencia de Rayos X, y sin costo alguno. Además al Antikenmuseum Basel und Sammlung Ludwig (Suiza) por facilitarme sus microscopios para realizar algunos análisis; y también a Johanna Theile por presentarme a las personas mencionadas anteriormente ya que gracias a esto yo pude realizar mi práctica y tesis en Suiza.

Tabla de Contenidos

1. Introducción.....	6
2. Marco Histórico.....	9
2.1 El comercio entre Europa y Filipinas	
2.2 Incursión holandesa en Asia	
2.3 Expedición de Olivier de Noort	
2.4 Antonio de Morga	
2.5 Olivier de Noort llega a las Filipinas	
2.6 Historia oficial del combate del San Diego en Filipinas	
2.7 Historia del San Diego contada por los testimonios de la tripulación	
3. Expedición, hallazgo y distribución de los objetos.....	35
3.1 Expedición y hallazgo del galeón	
3.2 Objetos a bordo del galeón	
3.3 Distribución de los objetos y exhibiciones	
3.4 Restauración de los objetos de metal por el IRRAP	
4. Estructura de metales, mecanismos de alteración y conservación.....	49
4.1 Estructura y corrosión de metales	
4.2 Metales arqueológicos: plata y bronce	
4.3 Conservación de objetos de metal submarinos en el sitio de excavación	
5. Conservación y restauración de objetos de plata y bronce.....	93
5.1 Candado y llave de bronce chinos	
. Observación y ficha técnica	
. Diagnóstico y propuesta de intervención	
. Tratamiento y restauración	
5.2 Plato español de plata	
. Observación y ficha técnica	
. Diagnóstico y propuesta de intervención	
. Tratamiento y restauración	

5.3 Cuchara de plata española	
. Observación y ficha técnica	
. Diagnóstico y propuesta de intervención	
. Tratamiento y restauración	
5.4 Conservación y mantenimiento de metales	
6. Conclusión.....	194
7. Anexo.....	196
I. Concreción Marina	
II. Fluorescencia de Rayos X	
III. Sellos y Cuños	
IV. Índice de Imágenes y Tomas Fotográficas	
8. Glosario.....	232
9. Bibliografía.....	236

1. Introducción

El siguiente trabajo consiste en la restauración de objetos de metal arqueológicos que provienen del galeón español “San Diego” que se hundió en las costas de Filipinas en el año 1600. Luego del descubrimiento y excavación de las piezas realizado por un equipo Francés a cargo del señor Franck Goddio (a principios de los años 90) los objetos fueron llevados a distintos lugares, entre ellos España, Filipinas, Suiza y Francia. Un grupo de estas piezas se encuentran actualmente en Basilea, Suiza, en el atelier Art Metal Conservation GmbH a cargo de Olivier Berger.

El proyecto de restauración de las piezas de metal provenientes del naufragio llegó hasta el taller ya que Franck Goddio, el actual propietario de las piezas, le encomendó a Olivier Berger la restauración y conservación de estas. Estas piezas –que suman en total unas doscientas- llegaron desde una bodega para objetos en tránsito ubicada en Ginebra, Suiza. Es así como el señor Berger, me ofrece realizar mi práctica de restauración en su taller para restaurar algunos de estos objetos.

A Olivier Berger –restaurador y conservador de objetos de metal arqueológicos- lo conocí en el congreso mundial ICOM-CC de Metal, realizado en la Universidad de Chile y coordinado por el postítulo de restauración y conservación del patrimonio cultural mueble. Luego de finalizado el congreso y mis clases del postítulo de restauración, seguí en contacto con el señor Berger, y le manifesté mi interés en profundizar en el área de restauración de metales; por lo que él me ofreció realizar mi práctica en su taller.

Decidí hacer mi trabajo de restauración sobre objetos submarinos, ya que esta área no está todavía explorada e investigada en Chile, por lo que encontré muy interesante y a la vez un desafío trabajar con este tipo de objetos.

Los objetivos que me planteo con respecto a este proyecto es investigar, entender y comprender los problemas y características que presentan los objetos que se encuentran en ambientes submarinos, a la vez, intentar solucionar estos problemas, darles el mejor tratamiento posible a las piezas, como también conservar siempre su historia.

La metodología que utilice para la elaboración de este trabajo fue:

1. Buscar referencia bibliográfica y artículos sobre metal arqueológico submarino.
2. Investigar acerca del ambiente submarino y como afecta éste los objetos de metal.
3. Realizar un completo diagnóstico de las piezas a través de exámenes de laboratorio que se efectuaron en dos museos distintos.
4. Con la ayuda de los análisis: identificar los materiales que componen el objeto, además de sus productos de corrosión.

Antes de realizar cualquier tratamiento se deben tomar importantes decisiones técnicas y estéticas, porque incluso una mínima intervención puede remover capas metálicas del objeto lo que puede causar más daño que ayuda.

Estas decisiones técnicas y estéticas se discutieron en conjunto con el conservador. Aquí se plantearon los problemas de cada objeto a tratar y se trazó un plan para asegurar el mejor tratamiento al objeto, respetando el principio de mínima intervención y respetando la superficie original de estas piezas. Luego de analizar y evaluar nuestra propuesta, es el conservador en jefe el que finalmente decide el tratamiento del objeto.

Luego del diagnóstico realizado a los objetos metálicos del San Diego, sacados a flote después de cuatrocientos años de inmersión, nos dimos cuenta que estos aparecen corroídos y frágiles. Algunos de estos objetos están deformados o incompletos y algunas decoraciones han desaparecido parcial o totalmente. El interés histórico y técnico de estas piezas no volverá a surgir hasta después del trabajo de restauración, incluyendo la limpieza, la recomposición de los trozos, la limpieza de las inscripciones y la restitución de la forma original. Si este material arqueológico no es tratado, estará amenazado por una reanudación de la corrosión, independiente de las degradaciones acaecidas durante la

inmersión. Por lo tanto es importante restaurar y conservar los objetos que eventualmente podrían reaccionar con un medioambiente no adecuado.

En cuanto al trabajo escrito, para lograr una mejor comprensión, decidí dividirlo en las siguientes partes: marco histórico, metales y sus mecanismos de alteración y finalmente la restauración de los objetos.

En este trabajo el marco histórico es imprescindible para que comprendamos por qué un galeón español estaba hundido en las costas Filipinas, además de ayudarnos a conocer la variedad de objetos a bordo del navío, y saber más sobre el comercio y la vida del siglo XVI.

En cuanto a los metales y sus mecanismos de alteración, es muy importante adentrarnos en esta área para poder entender la composición y deterioro de los metales. Este capítulo nos abre paso al siguiente punto el que consiste en la restauración en sí de los objetos del galeón.

2. Marco Histórico

En el siglo XVI, Filipinas era el final de toda travesía, el lugar donde terminaban las rutas de Asia y América. Desde la caída de Constantinopla en 1453, la ruta terrestre quedó cortada por lo que se hizo necesario buscar otras alternativas por la vía marítima para llegar a Asia desde Europa.



Fig.1: Mapa del Archipiélago Malayo

En 1487, Bartolomé Díaz descubre un paso marítimo por el Este, en el extremo sur del continente africano, se le llamó Cabo de Buena Esperanza. Este canal lograba unir Asia con el resto de mundo, y abría en el Océano Indico un territorio bajo dominio portugués.

“Si Oriente pertenecía a Lisboa, Poniente sería español; así se había decidido en Tordesillas el 7 de junio de 1494, bajo la autoridad del pontífice Alejandro VI Borgia. Este reparto del mundo partía de la preclara intuición que tuvo Cristóbal Colón. Es cierto que el navegante genovés fue el primero en intentar alcanzar Asia por el Oeste, se sabía desde muy poco antes que la tierra era redonda; estaba tan convencido que decidió intentarlo en el otoño de 1492. Lector asiduo de Marco Polo, esperaba encontrar Cipango tras Catay y Bangui, pero se iba a encontrar con un espectáculo imprevisto y nada despreciable: América. Tras esta aventura se proyectaron nuevas expediciones hacia el Oeste en busca de Asia. Pero pronto fue necesario rendirse ante la evidencia: la barrera era inmensa y había que rodearla (...), aunque ya se sabía que detrás de la barrera se abría un nuevo Océano, avistado desde la orilla del Nuevo Mundo el 25 de septiembre de 1513 por el explorador Vasco Nuñez de Balboa.”¹

Esta misión en busca de Asia le correspondió a un portugués que trabaja para el Rey de España: Hernando de Magallanes, quien decidió recorrer la costa oriental de América del Sur hasta encontrar el paso el 20 de noviembre de 1520, entrando así en el Océano Pacífico. Magallanes concluyó su misión en las islas San Lázaro, que más tarde se llamarían Filipinas.

Como consecuencia de este primer viaje alrededor del mundo, se decidió en el tratado de Zaragoza de 1525, que “las islas de las especias” serían portuguesas, pero no se hablaron de las islas San Lázaro que, de hecho, pasaron a dominio español².

¹ Desroches, Jean-Paul. Prólogo del catálogo: El San Diego. Un tesoro bajo el mar. Editado por Compañía Española de Petróleos, S.A. CEPSA. Madrid 1995.

² Filipinas perteneció a lo que se llamó Virreinato de Nueva España. El Virreinato era una entidad político-administrativa establecida por los monarcas españoles durante el periodo colonial (inicios del siglo XVI-principios del siglo XIX) en los territorios del actual México (núcleo esencial del virreinato), y que tuvo asimismo jurisdicción sobre algunas zonas actuales del sur estadounidense, el resto de Centroamérica, las islas caribeñas, una porción del norte sudamericano (ya que incluyó durante buena parte de su existencia a Venezuela) y sobre las islas Filipinas.



Fig.2: Planisferio náutico español de 1573 de Domingos Teixeira. En el centro observamos una línea negra que separa las futuras colonias de los dos países, las tierras españolas al oeste y las tierras portuguesas al este, según los términos del tratado de Tordesillas firmado en España el 7 de junio de 1494.

En este gran impulso la motivación económica no estaba escondida. Los turcos habían cerrado el Mediterráneo, y las especias de Oriente ya no llegaban normalmente por aquel camino, iniciado por los venecianos y otomanos. Era más indispensable que nunca tener canela, azafrán, clavo, pimienta y resinas; los portugueses supieron traerlas por vía marítima, doblando el cabo Buena Esperanza, y, una vez asentados en la India, se abrieron camino hacia China y las Molucas, base de las especias. Estas islas se habían convertido en el objetivo de los poderes marítimos de la época; ya estaba allí Portugal y, muy cerca, y con ánimo de poseerlas los españoles. No tardarían en llegar los holandeses y, después, otros navegantes, a medida que avanzaban, paralelamente, la cosmografía, el saber levantar mapas y, por supuesto la construcción naval y la fortaleza y dimensión de las naves.

Tuvo extrema importancia que en 1565, el navegante Urdarreta lograra regresar directamente desde Manila a América. Conocida la manera, ocho años más tarde comenzaba la línea marítima desde Filipinas a México, línea que iba a durar dos siglos y medio y que iba a unir la China con Occidente, con escalas en Acapulco, Veracruz y Cádiz, entre las más importantes.

Esta línea marítima cobró docenas de navíos, miles de vidas y tesoros cuantiosos. A los peligros naturales –huracanes, carencia de mapas precisos y de indicaciones seguras- y a

las limitaciones del cuerpo humano –sed y hambre, enfermedades (como el escorbuto) o accidentes- se unieron otras derivadas de la condición humana: las naos (naves) eran codiciadas por las riquezas que movían -metales preciosos y objetos europeos y americanos, en una dirección- y objetos de la suntuosa industria china en la otra -sedas, marfiles, porcelanas etc.- además de un tráfico –complementario- en especias. Esta ruta quedó definida con los nombres de “nao de Acapulco”, o “de la China”, o “nao de Manila” y significó “la primera economía a escala mundial dirigida desde Europa”.

2.1 El comercio entre Europa y Filipinas

Es cierto que Madrid no se preocupaba demasiado por esta lejana posesión; pocos querían instalarse allí, en un país salvaje y con un clima penoso. Las Filipinas no tenían aparentemente nada. No se daban allí ni la plata del Perú, ni las especias de las Molucas, ni la seda o la porcelana de China. La administración sólo sobrevive gracias al subsidio real. Este real, satisfecho regularmente por el tesoro Mexicano, permite desarrollar progresivamente la infraestructura y su funcionamiento.

La plata que llegaba desde Acapulco por galeón era muy apreciada porque se negociaba bien con ella en Asia. Los Ming, que carecen totalmente del metal blanco, se convierten en sus clientes exclusivos. La seda y la porcelana, productos de los que China mantenía un monopolio, se convierten en excelentes monedas de cambio, mucho más atractivas por el apetito insaciable de americanos y europeos por tales productos. Es una oportunidad para Manila, que, en diez años, se cubre de depósitos y almacenes. Su situación estratégica la convierte, a finales del siglo, en el centro del comercio mercantil con Asia. Manila se encuentra en el centro de una negociación vital para los dos imperios más poderosos del momento: La China de Wanli y la España de Felipe II.

Esta ruta para alcanzar Manila, desde Europa, debía franquear de una sola vez 18.000 kilómetros a través del Pacífico, y a ella había que añadir otros 7.000 kilómetros entre Veracruz y Sevilla. Para que esta aventura fuera posible, se requirió de la experiencia marítima de los españoles, junto con el ingenio de los artesanos de los Ming. También fue necesaria la insensata atracción que ejercían las islas de las especias, así como la

posibilidad de una mano de obra abundante para extraer de las minas de Potosí la plata de este comercio.



Fig.3: Descripción de la bahía de Manila. En primer plano la isla de Mariveles, donde el San Diego y el San Bartolomé hicieron escala el 13 de diciembre de 1600. En segundo plano la ciudad de Manila rodeada de murallas, con el río Pasig a la izquierda. A la derecha el puerto arsenal de Cavite, lugar de salida de las naos para China. En Manila se distinguen los barrios filipinos, chinos y japoneses.

La travesía del galeón de Manila comenzaba en Acapulco (perteneciente al virreinato de Nueva España) en el mes de Marzo y finalizaba en Filipinas en Julio, retornando durante un periodo más largo, entre Julio y Enero, ya que el viaje de regreso se enfrentaba con muchas dificultades por la acción de los vientos, de forma que un pequeño retraso podía suponer una espera definitiva hasta el año siguiente. La mayoría de los galeones se construyeron en los astilleros del puerto de Cavite y tenían una capacidad muy variable, que llegó a oscilar entre las 300 y las 1.700 toneladas.

En el Parian (el mercado filipino de Manila) se embarcaban los productos procedentes de toda Asia. De allí salían grandes cantidades de porcelanas y tejidos de seda y algodón, alfombras persas y chinas, objetos de mobiliario, como biombos, escribanías (mesas o escritorios) y camas, así como estaño, plomo, hierro, salitre y pólvora, junto a especies traídas de las Molucas, Java y Ceilán. A todo ello se sumaban los esclavos, que, pese a las



Fig.4: Vista de la Bahía de Manila, grabado en acuarela. En la C la ciudad de Manila, en B el puerto de Cavite en el que el San Diego había sido preparado para el combate naval.

prohibiciones, se introducían sin problemas. En contrapartida, el virreinato de Nueva España entregaba ingentes cantidades de plata junto a cacao procedente de sus tierras y de Guayaquil, y productos llegados desde España y de los más diversos puntos de América. La plata, que era extraída principalmente de Potosí, servía para pagar a funcionarios y a soldados, y para comprar nuevas mercancías para el viaje del año siguiente.

La llegada del galeón a Acapulco era avisada desde el momento en que se aproximaba a las costas; a partir de ese momento repicaban las campanas de las iglesias y la noticia se trasmitía a la capital del virreinato, donde comenzaban los preparativos para la celebración de la feria de Acapulco, que coincidía con la estancia del barco en su puerto. La población, que



Fig.5: Vista del puerto de Acapulco en 1618

carecía de actividad durante el resto del año, reunía a un gran número de comerciantes que, a pesar de las limitaciones legales que pesaban sobre el comercio interregional, conseguían llegar a tiempo con su carga. Esta feria podía durar entre 20 y 60 días y en ella se concentraba todo el comercio con Asia, ya que Acapulco fue, desde 1581, el único puerto autorizado para comerciar con Filipinas, especialmente tras la prohibición definitiva del

comercio directo del virreinato del Perú con el archipiélago, en 1597. En 1624, también se prohibió el comercio entre el Perú y Nueva España con la intención de controlar al máximo las salidas de plata del virreinato peruano.

El Océano Pacífico era considerado al principio, zona exclusiva de España y los galeones iban poco armados, no teniendo que defenderse más que de los piratas chinos, japoneses o moros (musulmanes del sur del archipiélago). Cuando el almirante inglés Thomas Cavendish, en su vuelta al mundo, capturó y saqueó en 1587 el *Santa Ana*, rico galeón almirante español que efectuaba su viaje de Manila a Acapulco, los españoles se vieron obligados a adoptar medidas de defensa contra estos enemigos europeos más peligrosos.

La gran riqueza que transportaba el Galeón de Manila fue un objetivo permanente de los piratas. En el largo periodo en que la ruta estuvo activa, sólo cuatro galeones cayeron en manos de piratas, corsarios o bucaneros ingleses. Además de Thomas Cavendish que se apoderó del *Santa Ana*; en 1709, Woods Rogers se apoderó del *Encarnación*; en 1743, George Anson consiguió hacerse con el *Nuestra Señora de Covadonga*; y en 1762, el *Santísima Trinidad* fue apresado con todo su cargamento³.

Dos pueblos marineros, rivales de España, hostigaron tenazmente la ruta del galeón. Los ingleses y los holandeses, quienes, con sus colonias contiguas a Filipinas, realizaron varios intentos de anexionar éstas a sus vastos dominios en el archipiélago indonesio o –en ocasiones- apoderarse de algún galeón.

³ Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2002. © 1993-2001 Microsoft Corporation.

2.2 Incursión holandesa en Asia

La primera expedición holandesa hacia las indias orientales, financiada por ricos mercaderes y mandada por Cornelis Van Houtman, dejó Ámsterdam el 2 de abril de 1595. Esta flota, compuesta por cuatro navíos y 284 hombres, siguió la ruta del este por el Cabo de Buena Esperanza y llegó a Sumatra y Java en 1596. Intentó, sin éxito, llegar a las Molucas, comerció en las aguas del archipiélago desafiando al poder portugués y llegó a Ámsterdam en agosto de 1597. Esta expedición no fue comercialmente lucrativa pero tuvo un fuerte impacto psicológico y político. Los holandeses quedaron convencidos de que la potencia ibérica en los mares no era invencible y que las fabulosas tierras de las especias estaban mal defendidas por las flotas hispano-portuguesas. Era, pues, posible combatir a los españoles y a los portugueses en sus lejanas colinas y contestar su potencia política y comercial. Cuando llegó la noticia de la incursión holandesa, el rey de España pidió en 1598 a su virrey de las indias que reforzase su flota en el estrecho de las Molucas, para prevenir y castigar toda incursión enemiga.

Ese mismo año, no menos de cinco flotas, partieron rumbo a las indias Orientales por la ruta del Este, y entre ellas, la dirigida por Jacob Van Neck. Su flota, compuesta por ocho navíos con una tripulación de 560 hombres se hizo a la mar desde Texel en mayo; pasó por Java y por las Molucas donde los holandeses establecieron sus primeras bases y volvió a Ámsterdam, en julio de 1599, con un cargamento de especias: se establecía, así, el comercio holandés con las “islas de las especias” a través del cabo de Buena Esperanza.

Los holandeses se envalentonaron y decidieron ese mismo año de 1598 lanzar dos flotas sobre las huellas de Magallanes, por la ruta del Oeste. Hasta ese momento solo tres expediciones habían logrado dar la vuelta al mundo: las de Magallanes, Drake y Cavendish. Pero otra expedición, la de Olivier de Noort, logró el éxito tan esperado por los holandeses: navegar alrededor del mundo.

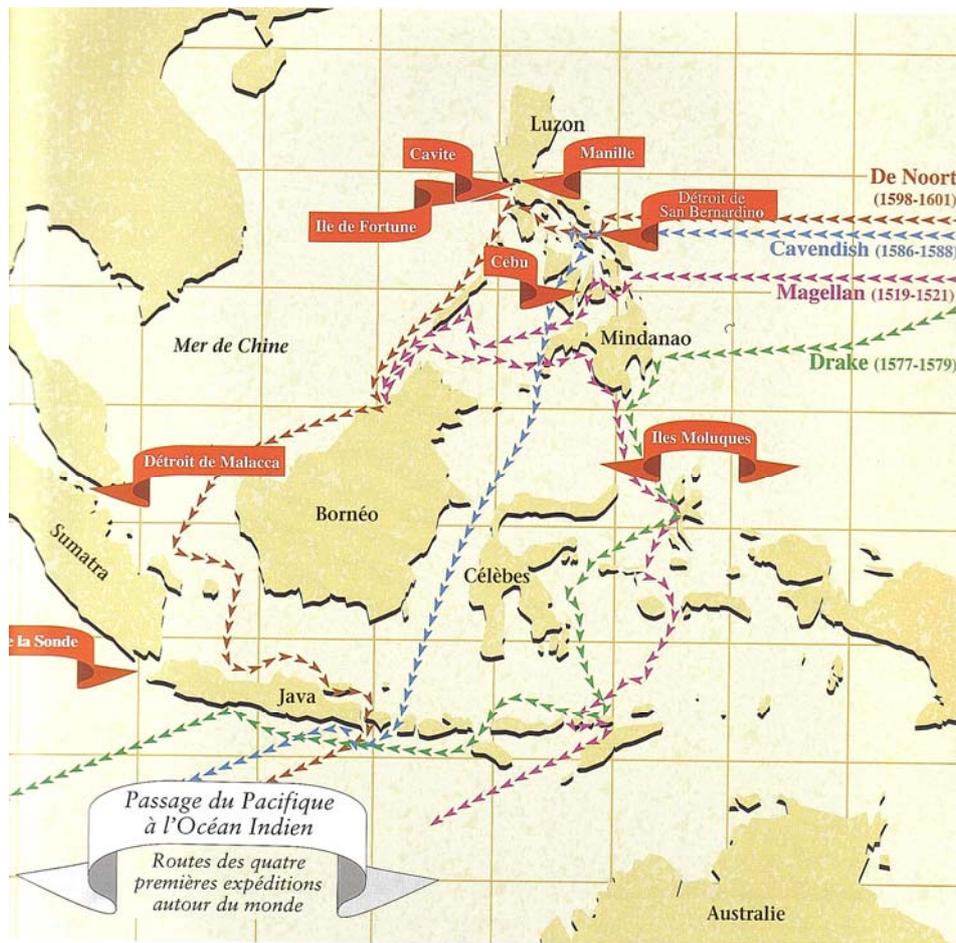


Fig.6: Reconstrucción de las diferentes rutas seguidas por las cuatro primeras vueltas al mundo, a través de las indias orientales. La cantidad de islas explica la dificultad del paso. Noort y Cavendish tomaron el paso de San Bernardino. Este estrecho era la principal puerta del archipiélago en el pacífico, pero las fuertes mareas hacían bastante peligroso su paso y varios galeones acabaron en los bancos y arrecifes.

2.3 Expedición de Olivier de Noort

La expedición de Olivier de Noort fue financiada por comerciantes de Róterdam y de Ámsterdam. La flota, se componía de cuatro navíos, y Noort invirtió capital suyo en la empresa. La experiencia de Olivier de Noort, los beneficios distribuidos en sus expediciones anteriores y sus buenas relaciones, contribuyeron a que los mercaderes lo nombraran almirante de la flota, y también contribuyó a que Mauricio Nassau –gobernador de las provincias Unidas- confiara en él. Mauricio Nassau redactó una carta en la que evidenció esta misión:

“...hemos equipado estos navíos que enviamos a las costas de Asia, de África, de América y a las islas de las Indias Orientales para establecer tratados y comerciar con los habitantes de estos lugares. Pero como hemos sido informados que los españoles y los portugueses son hostiles a los ciudadanos de nuestras provincias y hacen obstrucción a su navegación y comercio en estos parajes, contrariamente a todos los derechos naturales de las ciudades y de las naciones...damos órdenes explicas de ir hacia estas islas, de resistir, de hacer la guerra y de golpear en lo posible a dichos españoles y portugueses.”⁴

Con los 200.000 florines reunidos por los mercaderes de Róterdam y de Ámsterdam, se armaron cuatro navíos: el *Mauritius*, que era el nombre del gobernador, navío almirante de 275 toneladas; el *Hendrik-Frederik*, del nombre del tercer hijo de Nassau, barco vice-almirante de 350 toneladas, y dos navíos más pequeños llamados “yates”, de unas 50 toneladas cada uno: el *Eendracht* (Concordia) y el *Hope* (Esperanza).

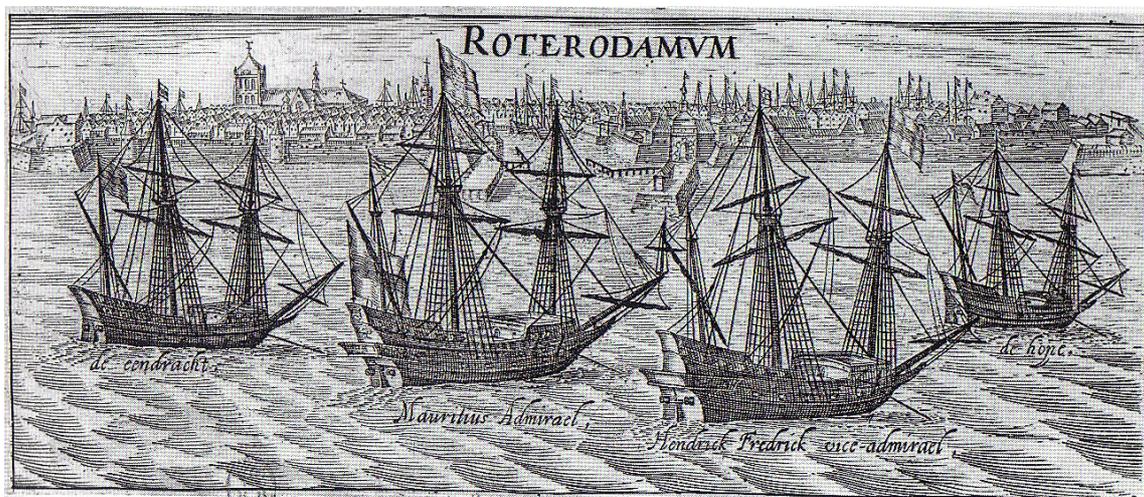


Fig.7: Ilustración de la página de cobertura de la obra de Olivier de Noort. Los cuatro barcos de la expedición están representados en el momento de su salida de Róterdam el 12 de agosto de 1598: El *Eendracht*, el *Mauritius* (que volverá solo de la expedición de 1601), el *Hendrick-Frederick* y el *Hope*.

⁴ *De Nassau, Mauricio*. Cartas datadas entre el 1600 a 1612. Cit. por *Goddio, Franck*. En: “El comienzo de una aventura”. *El San Diego. Un tesoro bajo el mar*. Editado por Compañía Española de Petróleos, S.A. CEPESA. Madrid 1995.

La flota de Olivier de Noort partió de Ámsterdam el 13 de septiembre de 1598, llegando al estrecho de Magallanes en noviembre de 1599, tardando cuatro meses en salir de allí debido a las tempestades y ataques de tribus indias.

Una vez en el Pacífico, siguió la costa chilena hacia el norte, esperando apoderarse de algunos ricos galeones españoles. Pero estos habían sido prevenidos con anterioridad sobre la llegada de una flota holandesa. Todas las ciudades, puertos y barcos ya estaban prevenidos, por lo que de Noort sólo logró apoderarse de dos barcos mercantes españoles, sin gran valor, procedentes de Chile.

De Noort evitó correr riesgos de encuentros con flotas de guerra españolas, por lo que decidió atravesar el Pacífico a la altura del Perú. Arribó a las islas Marianas (llamadas antes las islas Ladrones) en septiembre del 1600 y atracó en la isla de Guam, donde conoció la habilidad de los indígenas para el trueque. Después de una corta estancia allí, levó anclas y se dirigió hacia Filipinas, entrando al archipiélago por el estrecho de San Bernardino en octubre del 1600.

2.4 Antonio de Morga

En España, el rey Felipe II, había nombrado en 18 de agosto de 1593, a Antonio de Morga, de 35 años, consejero y lugar teniente general del gobernador de las Filipinas. Su jurisdicción se extendía a los asuntos del gobierno de las islas y la guerra.

Su función de lugarteniente general convertía de Morga, en el segundo personaje del gobierno de las Filipinas. Sin embargo, el prestigio de esta colonia era inferior a la de México o Perú. Antonio de Morga partió de Cádiz, en febrero de 1594, en un viaje que debía conducirle en primer lugar a México. Se embarcó con su mujer e hijos en un galeón y llegó a México en Mayo de 1594. Nombrado capitán general de la flota compuesta por dos galeones, asistió a su armamento para la travesía del Pacífico y desembarcó finalmente en Manila el 10 de enero de 1595. A su llegada encontró una autoridad gubernamental muy debilitada. El gobernador Gomez Perez Dasmarinas había sido asesinado meses antes por un marinero chino, y su hijo Don Luis, ocupaba provisionalmente su lugar, a pesar de su juventud. En 1596, el gobernador Luis Dasmarinas fue remplazado por Francisco Tello, con el que las relaciones del lugarteniente general fueron inmediatamente ambiguas.

Aunque Morga se alegraba del reemplazo de don Luis, pronto se dio cuenta que don Francisco también tenía sus defectos y que se preocupaba más de él mismo que del bien del Estado.

Militarmente hablando, la colonia, debía enfrentar la revolución permanente de los Moros, además las relaciones con Japón eran políticamente muy tensas. Las aguas de la colonia se encontraban llenas de piratas japoneses que eran una amenaza para el comercio. Además las relaciones entre Morga y el gobernador eran malas, se acusaban mutuamente mediante cartas al rey de corrupción y difamación.

En este ambiente alterado llegó a Manila el 31 de octubre de 1600 una extraña noticia: barcos enemigos, ingleses u holandeses, habían entrado en el archipiélago por el estrecho de San Bernardino.

2.5 Olivier de Noort llega a las Filipinas

La noticia de la llegada de los holandeses suscitó gran temor en la capital, acrecentado por encontrarse la ciudad prácticamente sin defensas: la armada y la flota españolas se encontraban en una expedición en el sur del archipiélago contra los pueblos moros rebeldes.

La *Audiencia*⁵, en cuanto recibió la noticia, decidió fortificar la capital y el puerto arsenal de Cavite, en la bahía, para prevenir cualquier ataque enemigo. Ordenó además armar una flota para perseguir a los holandeses. Se encontraba en el puerto de Cavite un galeón mercantil, el *San Diego*, que esperaba buena estación para dirigirse a Acapulco, así como un pequeño navío –un patache- el *San Jacinto*, perteneciente a un portugués, llegado de las Molucas, donde había sido informado de la intrusión de barcos enemigos. En los astilleros del puerto de Cavite se encontraban también dos galeras en construcción, así como un pequeño navío de 50 toneladas, cuya construcción estaba siendo terminada. No había ningún navío de guerra de alta borda disponible y la *Audiencia* decidió enviar un responsable para armar una flota. Fue designado responsable de esta tarea Juan Ronquillo de Castillo. Pero de acuerdo con informes que Morga envió al rey, Ronquillo, no hizo nada y no mostró disposición alguna para *hacer cualquier cosa*. El gobernador, por lo tanto,

⁵ Ver glosario

influenciado por Morga, hizo detener a Ronquillo. Morga se propuso entonces como responsable de la preparación de la flota, y obtuvo de la *Audiencia* este nombramiento. La *Audiencia* nombró además, a Cristóbal Tellez de Almazan para organizar la defensa terrestre de Manila.

Morga partió el mismo día a Cavite. Sus dotes de organizador pudieron ejercerse plenamente y fueron de gran eficacia. Los astilleros terminaron la construcción del pequeño navío de 50 toneladas, que fue bautizado con el nombre de *San Bartolomé* y las dos galeras fueron también rápidamente preparadas para su botadura.

Morga requisó el *San Diego* que pertenecía a los comerciantes Luis de Belver y Anton Thomas. Se trataba de un galeón de unas 300 toneladas, construido en la isla de Cebú. El *San Diego* fue armado para el combate, así como el patache portugués, mandado por el capitán Esteban Rodríguez Perez, y el *San Bartolomé* comandado por Juan de Alceda. Los astilleros no pudieron facilitar suficiente artillería y se quitaron cañones de bronce de los fuertes de Manila. El *San Diego* fue equipado así con 14 cañones de bronce, el *San Bartolomé* recibió 10 y otros fueron embarcados en el patache portugués. Todos los navíos fueron ampliamente provistos de armas, de municiones y de pólvora por los arsenales y se embarcó gran cantidad de provisiones.

En 30 días el puerto de Cavite se encontraba en estado de defensa y la flota estaba casi dispuesta para salir al encuentro del enemigo. Entre tanto los holandeses se habían situado a la entrada de la bahía y saqueaban a los mercantes que se dirigían a Manila. Pronto se observó que no era intención del enemigo atacar Manila ni Cavite, debido a que su flota se encontraba reducida a la mitad, pero su bloqueo podía provocar de todos modos la ruina para la pequeña colonia española.

Olivier de Noort se había enterado, que el galeón del rey, el *Santo Tomás*, era esperado en Manila de regreso de Acapulco, con el equivalente de dos años de renta de la nao de la China, en piezas de plata, es decir, más de un millón y medio de pesos. El almirante pensaba actuar por sorpresa y en Manila la angustia estaba en su grado máximo, porque la captura de este galeón por parte de los holandeses hubiese provocado, la ruina de la colonia.

Morga debía nombrar a un almirante para estar al mando de la flota española. Varios oficiales experimentados, entre los que se encontraba Juan Ronquillo, estaban

perfectamente calificados para tal tarea. Pero Morga vio ahí una ocasión para distinguirse al servicio del rey en circunstancias excepcionales e, incluso, históricas. La colonia española de Manila era consciente de que una victoria disiparía por mucho tiempo la amenaza y que una derrota podría significar la pérdida de las Filipinas para España.

El 11 de diciembre comenzó el embarque: los oficiales, tripulación y marinería fueron divididos entre el *San Diego* y el *San Bartolomé*. Morga hizo del *San Diego* navío almirante, y en él fueron embarcados una cantidad impresionante de soldados, entre ellos españoles, filipinos, negros y mercenarios japoneses. Se añadieron a ellos la tripulación y 150 nobles y oficiales de la aristocracia española de Manila, así como tres eclesiásticos. El número total de personas embarcadas en el *San Diego* debía sobrepasar las 450, lo que era considerable teniendo en cuenta las dimensiones del navío.

Se le dieron instrucciones a Morga para que estableciese lo más rápidamente posible contacto con el enemigo y de iniciar combate -para que este no pudiese huir- para destruir o hundir los barcos piratas. Si los navíos enemigos huían, Morga debía perseguirlos hasta el estrecho de Malaca, lugar por el que los enemigos debían pasar de todas formas. De ser así el almirante hubiera tenido que esperar los vientos del suroeste, propicios para el retorno, es decir, hasta el mes de junio. Por este motivo Morga decidió sorprender al enemigo lo más rápidamente posible. No quería permanecer varios meses en el mar.

Dos versiones distintas se han dado de esta historia. La versión de Antonio de Morga -de la que el gobernador Francisco Tello es fiel reflejo- fue expuesta en diferentes informes al rey de España, de forma detallada en los preámbulos, pero más bien discreta en lo que se refiere al combate naval propiamente dicho. Esta versión, que es la que se expone en los libros, se convertirá en la historia oficial. La otra versión no será revelada por documentos, ya que estos fueron conservados en secreto en la época. Estos documentos se encontraban en la *Casa de Contratación de Sevilla*, y fueron descubiertos por Franck Goddio y su equipo al momento de hacer la investigación para la excavación. De acuerdo a Goddio “*estos documentos iban a restablecer la verdad sobre esta jornada que decidió la suerte de las Filipinas y que fue conocida históricamente con el nombre de la ‘Jornada de los Holandeses’*”.

2.6 Historia Oficial del Combate del San Diego en Filipinas

En los diferentes informes de Morga y del gobierno se narraron los acontecimientos de la siguiente manera.

La madrugada del 14 de diciembre se avistaron los dos barcos holandeses que estaban anclados cerca de un pequeño islote, en la entrada de la bahía. El *San Diego* se aproximó al navío almirante holandés, lo cañonea y lo aborda, emprendiendo el combate. El capitán Alceda, sin hacer caso de las órdenes del almirante, no aborda el *Mauritius* y persigue al *Eendracht* que huye hacia el sur. El combate entre el *Mauritius* y el *San Diego* dura seis horas. Hacia las 14 horas se declaró una vía de agua en el *San Diego*, debido, probablemente, a que este navío mercante, demasiado frágil para un combate naval, se había dislocado a causa de los numerosos cañonazos que había recibido durante la batalla. Se declara también repentinamente fuego en el *Mauritius* y el almirante español decide cortar las amarras que unen al *San Diego* con el navío holandés, para salvar a sus hombres y la artillería y pensando llegar a la isla fortuna, a dos leguas del lugar de la batalla.

El *San Diego*, libre de amarras, navega unos metros hacia esa pequeña isla y se va repentinamente a pique, arrastrando con él a los hombres armados. A pesar de los gritos de un oficial que le suplica: “*Sálvese, Vuestra Gracia, porque el navío se hunde*”⁶, el almirante es el último en arrojar al mar y nada durante más de cuatro horas llevando en sus manos los dos estandartes arrebatados del enemigo. Un centenar de hombres logra salvarse de los lanzazos, de los tiros de cañón y de arcabuz de los holandeses, gracias a que éstos, dominando el fuego, huyen. Los supervivientes logran llegar a la playa de la pequeña isla desierta de Fortuna.

Esta historia del primer combate naval en las Filipinas entre dos potencias europeas fue criticada por Juan de Alceda y por diferentes personalidades de Manila. Morga y el gobernador tuvieron que enviar numerosas cartas e informes complementarios que confirmaron la versión inicial. El propio Olivier de Noort, que pudo huir y terminar su

⁶ *Morga, Antonio. Sucesos de las Islas Filipinas dirigido a Don Cristóbal Gómez de Sandoval y Rojas, Duque de Cea por el Doctor Antonio de Morga, alcade del crimen de la Real Audiencia de la Nueva España, consultor del Santo Oficio de la Inquisición. México 1609* Cit. por *Goddio, Franck*. En: “El comienzo de una aventura”. *El San Diego. Un tesoro bajo el mar*. Editado por Compañía Española de Petróleos, S.A. CEPESA. Madrid 1995.

vuelta al mundo, dio una versión en la que queriendo subrayar su éxito, habló de combates encarnizados que duraron seis horas entre holandeses y españoles. En 1602 publicó su narración en un libro titulado, “Descripción del penoso viaje”. Antonio de Morga, supo de la existencia de este libro, y relató, sin modificar significativamente su versión inicial, esta batalla en una obra histórica sobre las Filipinas, “Sucesos de las islas de las Filipinas”. Esta obra circuló durante años como copias manuscritas, antes de ser impresa por Antonio de Morga en México en 1609.

Debido a que los relatos de ambos libros y algunos informes acerca de la batalla, se contradecían o eran difíciles de explicar (como por ejemplo que Morga haya nadado por cuatro horas con los estandartes holandeses), los investigadores que llevaron a cabo la excavación del *San Diego*, decidieron indagar más, y viajaron hasta España para buscar los relatos de los sobrevivientes al naufragio.

Los investigadores buscaron cartas de testigos o relatos desconocidos acerca de la batalla, y en Madrid se encontró un informe del padre jesuita Alonso Bernal, embarcado a bordo del *San Bartolomé* y, en el monasterio de San Cugat en Barcelona, un relato del padre Chirino. Este último afirma haber oído decir al piloto sobreviviente del *San Diego*, que el naufragio había tenido lugar a media legua de la isla Fortuna y no a dos como asegura Morga. Estos documentos contradecían seriamente la versión oficial de los hechos. Pero la pieza nueva esencial era un importante informe del interrogatorio de los testigos que se encontraron en la *Casa de Contratación de Sevilla*. Estos informes son los testimonios recogidos en Manila de los sobrevivientes del naufragio, a partir del 10 de enero de 1601, menos de un mes después del naufragio. Veintidós testigos fueron interrogados. Estos relatos contradecían totalmente los textos oficiales. La naturaleza y la diversidad de los testigos: grumetes, pajes, marinos, cirujano, soldados, sargentos, capitanes, secretario, tonelero, cañoneros, así como la concordancia de los relatos, no dejaban duda alguna sobre su veracidad.

2.7 Historia del San Diego contada por los testimonios de la tripulación

Al levar anclas la mañana del 12 de diciembre de 1600, la tripulación del *San Diego* se mostraban inquietos porque el almirante había querido embarcar a bordo a todos los hombres, cuando el *San Jacinto*, pudo haber embarcado alguno de ellos. Morga parecía pensar que gracias a esta tropa tendría ventaja sobre el enemigo. El embarque no se había desarrollado de manera normal debido a que varios oficiales y soldados no se presentaron, por lo que hubo que reemplazarlos por mercenarios. Las razones de esta deserción se debieron, según parece, por el nombramiento de Morga como almirante. A su salida del puerto Cavite, el *San Diego*, mal lastrado⁷, viró de bordo por estar sobrecargado de un número impresionante de jaulas de gallina, de cajas, de vasijas, de grandes baúles y de camas. Además, el número de personas embarcadas parecía extremadamente elevado para una larga navegación persiguiendo a los navíos holandeses: entre españoles, filipinos, japoneses y negros, se encontraban unas 500 personas. Había allí un desorden indescriptible y Antonio de Morga, poco habituado a las cosas de mar, no sabía como remediarlo. No dio ninguna orden a sus oficiales. Por la mañana el capitán Alceda recomendó al almirante añadir lastre a su navío, para equilibrarlo mejor, habida cuenta de la artillería pesada embarcada, pero Morga no escuchó el consejo, sólo quería iniciar el combate lo más rápido posible. Morga, tampoco oye los consejos del propietario del navío, Luis de Belver, que formaba parte de la expedición:

“El capitán Luis de Belver le dijo al doctor Morga que el navío, que era muy ligero, sólo navegaba bien con mucho lastre. Le recomendó bajar a tierra cajas y camas. No sólo no lo hizo sino que, ordenó al capitán Ordiales que pusiese todo bajo los puentes, lo que obstruyó toda la cala^{8,9}”.

Los marinos del *San Diego* tenían que dormir sobre el castillo de proa, ya que no había sitio para ellos bajo los puentes. La salida estaba prevista para el día siguiente, al amanecer. Pero en la noche, el *San Diego* levó anclas sin prevenir al *San Bartolomé* a pesar

⁷ Ver glosario.

⁸ Ver glosario.

⁹ Testimonio del capitán Lope de Rada. Referencias: A.G.I fil. 59 n° 41. Cit. por *Goddio, Franck*. En: “El comienzo de una aventura”. El San Diego. Un tesoro bajo el mar. Editado por Compañía Española de Petróleos, S.A. CEPSA. Madrid 1995.

de que las órdenes de Morga precisaban que los dos navíos debían salir juntos del puerto. Los testimonios que los investigadores recopilaron son coincidentes en este hecho y se sabe por Alceda que su vigía avistó al *San Diego* alejándose del puerto, por lo que el *San Bartolomé* partió con más de una hora de retraso.

De acuerdo con los relatos que Goddio y su equipo recopilaron, al amanecer se avistaron los navíos holandeses. Olivier de Noort comprende que los españoles habían enviado una flota contra él y decide reforzar la tripulación del *Mauritius* con los hombres del *Eendracht* y prepara su táctica: envió su bote al *Eendracht* para traer hombres a su navío y ordena huir al vice-almirante, mientras él se ocuparía de retrasar a la flota española, puesto que el *Eendracht* tiene por misión llevar a Holanda la información recogida sobre el comercio y las defensas españolas. El *Mauritius* se pone en posición de combate para iniciar la batalla con el *San Diego* que llega con gran adelanto sobre el *San Bartolomé*, al tiempo que el *Eendracht* intenta huir. El *Mauritius* dispara y causa daños en el *San Diego*. El almirante español ordena responder, pero no sucede nada:

“El doctor Morga pregunta a un artillero qué piezas están en condiciones para disparar. Le contesta: todas. Le ordena entonces disparar. El artillero le responde que no podía disparar ninguna ya que el navío estaba demasiado cargado y además porque el agua entraba por las bocas de los cañones. Morga le dice que: se arregle como pueda¹⁰”

Morga ordena que se dispare con una pieza ligera que se encontraba en el puente. El *Mauritius* dispara nuevamente provocando serios daños en el *San Diego*, a la vez que varios soldados mueren. Morga considerando precaria su situación, ordena el abordaje sin esperar la llegada del *San Bartolomé*. El contramaestre le pregunta si es preciso reducir vela, como se acostumbra en tales maniobras, pero Morga insiste en que las velas no se recojan y el *San Diego* aborda el *Mauritius* de frente. La violencia del choque hace que el *Mauritius* se pierda el balance. Los soldados españoles saltan con garfios al *Mauritius* y utilizan las anclas de estribor del *San Diego* para retener al *Mauritius*. Los holandeses al darse cuenta que son más de 300 españoles armados, y ellos no más que 59, disparan

¹⁰ Testimonio de Juan Romero, grumete. Referencias: A.G.I fil. 59 n° 41. Cit. por *Goddio, Franck*. En: “El comienzo de una aventura”. *El San Diego. Un tesoro bajo el mar*. Editado por Compañía Española de Petróleos, S.A. CEPSA. Madrid 1995.

algunos tiros de arcabuz y se refugian bajo cubierta. Los grumetes se apoderan de los estandartes holandeses e izan en el *Mauritius* los estandartes españoles. Los soldados vuelven al *San Diego* para hacer su informe y para entregar a Antonio de Morga, como trofeo, las banderas tomadas al enemigo. Los marinos se sorprendieron al encontrar al almirante cerca del puente, rodeado de colchones para protegerse, pálido y postrado. Le entregaron los estandartes y esperaron sus órdenes. El almirante permaneció mudo:

“El doctor Morga habría debido ordenar entonces que nuestros hombres saltasen sobre el puente del navío almirante enemigo para rematar la victoria. Pero he visto que no ha dado ninguna orden ni dicho nada porque estaba pálido, casi desmayado y desanimado. Le dije entonces que ordenara a los hombres ir sobre el enemigo. Me contestó: ¿pero qué puedo hacer? ¡Todo el mundo veía así que estaba desanimado!”¹¹

En el puente, 300 hombres armados esperan la orden de perseguir a los holandeses bajo los puentes. Estos, al ver la enorme diferencia de fuerzas proponen, a través de las portas abiertas, rendirse a cambio de salvar la vida. Se transmite el mensaje a Morga, pero éste permanece petrificado. Durante este tiempo Juan de Alceda, recupera su retraso y, de acuerdo con las órdenes recibidas, se sitúa al otro lado del *Mauritius* y le dispara. Algunos soldados españoles que se encontraban en el puente del *Mauritius*, piden al *San Bartolomé* que cese el fuego porque el navío enemigo ya había sido capturado: *que sus Señorías no disparen, somos amigos!*¹².

Navega, el secretario personal de Morga, proclama desde el *San Diego* que el barco pertenece ya al rey de España, que hay que detener los disparos y perseguir al *Eendracht* que en ese momento se encontraba a más de dos leguas de la zona del combate. Alceda cumple la orden y no espera la confirmación de la misma, aunque es contraria a las instrucciones escritas que Morga le había dado en la víspera. El *San Bartolomé* se separa del lugar de la batalla e inicia la persecución del *Eendracht*.

¹¹ Testimonio de Juan Giraldo, artillero. Referencias: A.G.I fil. 59 n° 41. Cit. por *Goddio, Franck*. En: “El comienzo de una aventura”. El San Diego. Un tesoro bajo el mar. Editado por Compañía Española de Petróleos, S.A. CEPSA. Madrid 1995.

¹² *Ibid.*

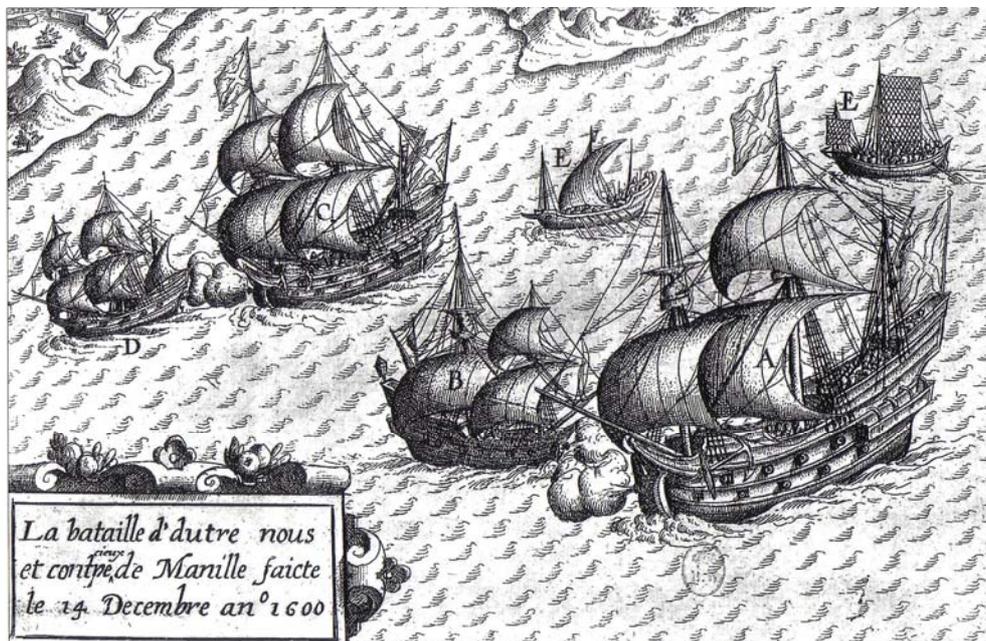


Fig.8: El San diego (A) persigue y cañonea al Mauritius (B). Al fondo (C) el San Bartolomé alcanza y comienza el combate contra el Eendracht (D).

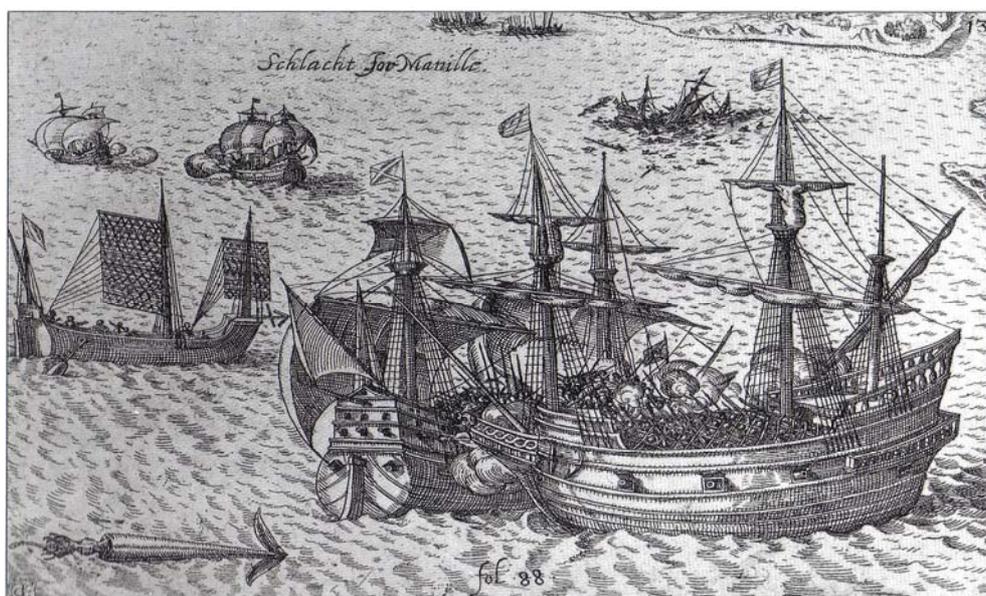


Fig.9: El San Diego en segundo plano, desplegadas las velas aborda el Mauritius que ha reducido vela en espera del abordaje

Los holandeses a bordo del *Mauritius* comienzan a notar que algo andaba mal entre los españoles, ya que nadie venía a sacarlos de sus escondites. Pasan las horas y los oficiales vienen a ver a Morga para intentar obtener la orden de atacar a los holandeses escondidos bajo cubierta., pero éste, postrado, permanece mudo. Cinco horas después del abordaje los españoles no han intentado nada aún. De repente corre un rumor por el *San Diego*: se ha abierto una importante vía de agua y el mar entra a *raudales* llegando casi al primer puente; se dice que algunos hombres ya se habían ahogado en la bodega. La vía de agua había sido causada por la violencia del choque en el abordaje, o por las portas abiertas del *San Diego*, o quizás por un cañonazo holandés que hubiese alcanzado la línea de flotación. Los oficiales anuncian que es imposible reparar la vía de agua, debido al desorden indescriptible que reinaba en las bodegas, siendo tal la cantidad de objetos que allí no se podía mover nadie. Ni siquiera había sitio para cuidar de los heridos.

Los holandeses, prevenidos quizá por las voces de alarma, recuperan la esperanza. Olivier de Noort aplica una vieja artimaña de marinero avezado: incendia voluntariamente su propio navío para obligar, por una parte a sus hombres a salir del puente superior a combatir y para asustar a los españoles. Del *Mauritius* sale una espesa columna de humo y el *San Diego*, amarrado a él se encuentra entre dos peligros: arder, si permanece amarrado al navío holandés, o hundirse, si se libera de él.

Morga sale de su postración y ordena cortar las amarras. El padre jesuita Diego de Santiago, sorprendido ante tal orden, dice al almirante que es preciso primero apropiarse del navío enemigo, pasar allí a todos los hombres antes de ejecutar tal maniobra, porque el *San Diego* se va a hundir y exhorta a los hombres a combatir. Pero Morga, repite la orden de cortar las amarras. Los españoles tienen dificultades para liberarse del *Mauritius* bajo los tiros de los holandeses que, ahora, atacan. Cuando por fin, cortan las amarras, el *San Diego* navega hacia la isla Fortuna, se inclina después por la proa y se hunde. Antonio de Morga es uno de los primeros en lanzarse al agua sobre una pequeña balsa, cuidando de llevar los dos estandartes que le habían traído como trofeo. Los hombres se sujetaban a todo lo que flota, otros que habían permanecido sobre el puente del *Mauritius* se embarcan en un bote e intentan huir. Muchos soldados y oficiales que no habían tenido tiempo de deshacerse de sus armaduras se ahogan inmediatamente. Otros logran desvestirse y tirarse al agua.

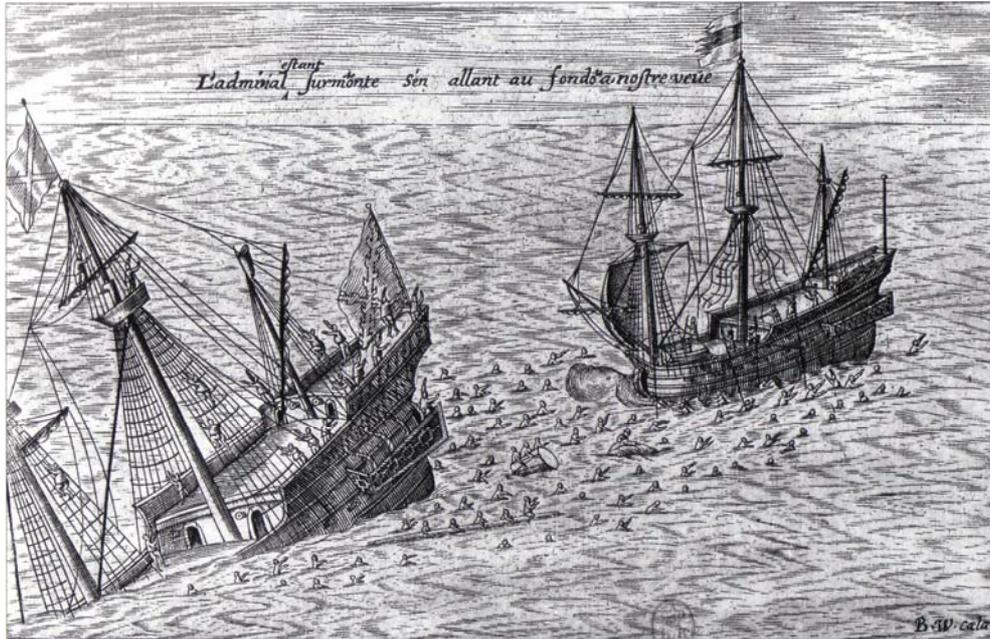


Fig.10: En el primer plano el San Diego se hunde por la proa. El Mauritius cañonea a los sobrevivientes y los holandeses matan a golpes de lanza a los sobrevivientes que intentan salvarse subiendo a bordo.

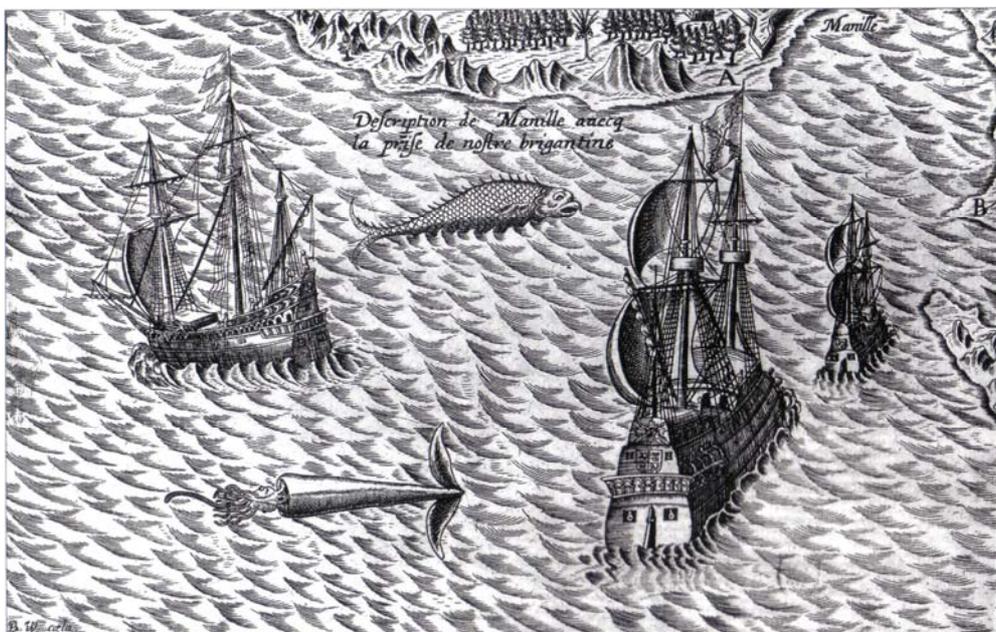


Fig.11: El Mauritius con su aparejo dañado y su única vela en estado de navegar, huye, mientras que en el primer plano el San Bartolomé persigue al Eendracht.

Los holandeses, recuperado el control de su navío, y a pesar de las súplicas de los naufragos, matan a lanzazos, cañonazos y tiros de mosquetón a aquellos que se aproximan al *Mauritius* con la esperanza de ser rescatados. Olivier de Noort logra extinguir el incendio que él mismo había causado y huye encantado por este increíble cambio de situación en su beneficio.

Empujado sobre su balsa por su secretario y por dos marinos, Morga llega antes que los otros sobrevivientes a la isla Fortuna. Algunos soldados heridos mueren en la playa. Mientras Alceda se apoderó del *Eendracht* después de una persecución de dos horas. Para Morga el desastre es total: Con el *San Diego* se han ahogado más de 350 hombres, de los que al menos, 60 pertenecían a la más alta nobleza española de Manila. Además la colonia se iba a encontrar prácticamente sin defensas, porque los mejores cañones de las murallas se habían embarcado en el navío almirante con gran cantidad de armas y municiones. Morga decide volver inmediatamente a Manila con una embarcación indígena, para hacer su informe y dar su versión de los hechos antes de que Alceda vuelva como vencedor. Para no perder tiempo, deja en la isla Fortuna a los hombres heridos, algunos de los cuales perecieron por falta de cuidado.

En Manila Morga, hace al gobernador el informe que más tarde se transformó en la historia oficial del *San Diego*. Pero no puede impedir que estalle el escándalo, porque los sobrevivientes hablan y sus familias acusan a Morga de incompetencia, de abandono e incluso de cobardía. Se abre una investigación y se interroga a los sobrevivientes. Diversos testimonios, que los investigadores del *San Diego* han encontrado tras cuatro siglos de olvido, tenían carácter de secreto y los investigadores que realizaron los interrogatorios habían jurado no divulgarlos, salvo orden real contraria.

Morga intenta acallar el asunto; el gobernador, que había cometido la imprudencia de nombrarle almirante, también tiene interés en que la verdad no llegue al rey y el informe que le envía es un fiel reflejo de la versión de Morga. El primer oidor y el gobernador intentan imponer una versión de los hechos que no les sea demasiado perjudicial.

En julio de 1601, los investigadores que interrogaron a los testigos, envían un informe al rey en el que se duda de la buena fe de Morga. Se le acusa además de presionar a los testigos para que no se expresen libremente, y piden al rey que abra una investigación oficial.

Morga que cae enfermo, se entera de este informe que fue enviado al rey y le escribe una larga carta en la que acusa a los investigadores de estar de acuerdo con Alceda y sus enemigos y que lo quieren perjudicar. Recuerda además al rey que Alceda había sido acusado de robo el año anterior, y asegura que él ha sido víctima de una terrible conspiración y pide justicia al rey. Finalmente afirma que no ha hecho más que contar la verdad en sus relatos y ruega al rey considere que sus recientes acciones tenían por único objetivo salvar a la colonia, solicitando como recompensa un traslado *fuera de este lugar de exilio* hacia otro lugar en el que pudiese seguir prestando sus servicios.

Morga omitió prudentemente reconocer y precisar cuál había podido ser su culpa. Quería evitar, de esta manera a toda costa, que las acusaciones contra él pudiesen manchar su reputación y comprometer el nombramiento en México que tanto deseaba.

La polémica entre Morga y sus detractores duró años y envenenó el clima de la colonia suscitando odios implacables y enemistades irreconciliables. Cada una de las partes encontró testigos más o menos directos y de buena fe para confirmar su versión de los hechos. Numerosos informes, quejas oficiales al rey, cartas, súplicas e incluso relatos anónimos comentaron cada uno a su manera la “Jornada del Holandés”.

En 1603, tres años después de penosas e incesantes querellas, llegó a Manila la orden real que nombraba a Morga en la *Audiencia* de México. Ejerció allí durante más de 10 años la función de juez de las causas criminales y de consejero de Oficio de la Santa Inquisición.

Aunque lo terminó en 1602 después de cuatro años de trabajo, no publicó su libro *Sucesos de las Islas Filipinas* hasta 1609, en México. Es cierto que la voluntad de imponer una versión oficial definitiva de la “Jornada del Holandés” pesó mucho en su decisión. El relato que hace de la batalla de la isla Fortuna en esta obra contrasta, sin embargo, con los informes y correspondencia que había mantenido en 1601 y 1602.

En 1615 fue nombrado presidente de la *Audiencia* real de Quito y por primera vez en su vida Morga no tuvo que trabajar bajo la autoridad directa de un superior. En México y en Quito mostró reales dotes de administrador y de organizador. Morga muere en Quito el 21 de julio de 1636, siendo sepultado en la Iglesia de los Franciscanos.

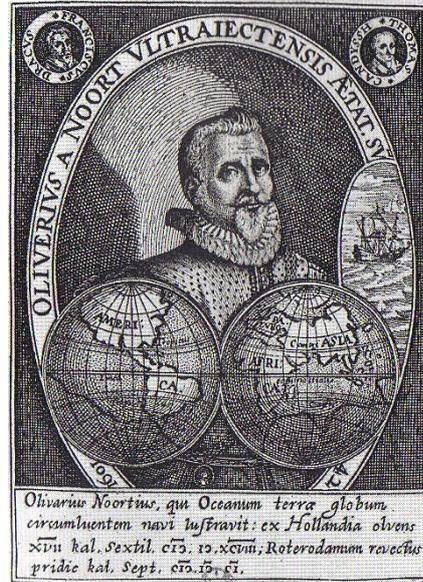


Fig.12: (Izq.) Único retrato conocido de Antonio de Morga, pintado probablemente en el siglo XIX. Este cuadro se ha conservado en las bodegas de la antigua Universidad de Osuna cerca de Sevilla. (Der.) Retrato de Olivier de Noort, portada de una edición tardía a partir del gradado de la edición original de la obra “Descripción de un penoso viaje”.

Con respecto a Olivier de Noort, después del naufragio del *San Diego*, llegó al estrecho de Malaca y terminó su vuelta al mundo en penosas condiciones. Llegó a Róterdam el 28 de agosto de 1601 después de 3 años de un viaje extenuante. Cuando el *Mauritius* echó el ancla al puerto, quedaban 8 sobrevivientes, además del almirante.

Su regreso fue festejado. Traía pocas mercancías y la expedición había sido un fracaso financiero. Pero el aspecto político de su proeza marítima primó sobre cualquier otra consideración y su libro “*Descripción del penoso viaje*” tuvo un gran éxito. A su regreso, Olivier de Noort estaba arruinado y, aunque su esposa se había asegurado de la buena marcha de una taberna que poseían durante su larga ausencia, tuvo que venderla y participó en una expedición anglo-holandesa contra navíos ibéricos en 1602. Fue nombrado, después, capitán de una compañía de soldados por Mauricio de Nassau. Vivió luego una tranquila vida de cuartel hasta 1626, fecha en la que se retiró a la ciudad de Schoonhoven, con su esposa, y murió en esta ciudad al año siguiente.

El cuerpo de Noort fue enterrado en la iglesia de *San Bartolomé*. En la tumba está grabado su escudo acompañado de un globo terráqueo, teniendo encima el *Mauritius* con sus velas desplegadas y con la inscripción:

Aquí yace el noble Olivier de Noort, capitán de la primera flota que partió de Holanda y que navegó por el estrecho de Magallanes alrededor del mundo. Murió el 22 de febrero del año 1627”.

Su expedición a las aguas del Pacífico y su incursión en las Filipinas tuvieron importantes consecuencias históricas. Los holandeses, conociendo perfectamente el estado de las fuerzas y de las defensas así como las rutas comerciales españolas, lanzaron expediciones durante la primera parte del siglo XVII para tratar de apoderarse de las Filipinas.

3. Expedición, hallazgo y distribución de los objetos

3.1 Expedición y hallazgo del galeón

Franck Goddio en conjunto con el Instituto Europeo de Arqueología Submarina, habían efectuado durante 8 años, siete búsquedas submarinas en Filipinas sobre *pecios*¹ de los siglos X al XVIII. De esta manera Goddio y el director del Museo Nacional de Filipinas, deciden buscar un navío que estuviera íntimamente ligado a la historia de Filipinas, es así como pensaron en el San Diego. Ningún otro barco había tenido tanta importancia para Filipinas: el combate en contra de los holandeses, decidió en el año 1600, el futuro del archipiélago.

De este modo comenzó la investigación del equipo de Goddio, acerca del San Diego, en la Casa de Contratación de Sevilla, en la Biblioteca del Museo Naval de Madrid y en Simancas, cerca de Valladolid y, después, en Holanda. Es así como se encontraron los informes elevados al Rey de España por el Gobernador de Filipinas y los testimonios de los principales protagonistas de la historia: Antonio de Morga y Olivier de Noort, almirantes español y holandés.

El estudio de los testimonios mantenidos en secreto aportó al equipo precisiones esenciales: como por ejemplo, supieron la dirección del viento y de las corrientes al momento del naufragio, al igual que la posición del San Diego en relación con la Isla Fortuna. Todo indicaba que el San Diego se había hundido en la costa este de Fortuna, a una distancia que no debía exceder de los dos kilómetros y medio.

Con estas indicaciones se envió una expedición exploradora hacia la Isla Fortuna para reconocer el lugar y estudiar los fondos y corrientes dominantes. En diciembre de 1990 el catamarán Kaimiloa, partió desde Filipinas con un equipo del Instituto Europeo de Arqueología submarina, hacia la Isla Fortuna siguiendo un trayecto similar al que siguió el San Diego, cuatro siglos antes.

El fondo marino fue un problema al equipo ya que esperaban fondos lisos que les hubiera permitido utilizar para la excavación un sondeador a bandas laterales, aparato que da una imagen electrónica de los fondos con una buena definición. Pero los macizos corales, esparcidos por la zona de excavación, eran aproximadamente del tamaño de los

¹ Ver glosario

restos del San Diego y ocupar el sondeador hubiera sido ineficaz, lo que restringió los medios de detección. Un ensayo magnetométrico les indicó que la zona estaba relativamente poco perturbada sobre el plano del magnetismo terrestre y que podía llevarse a cabo una búsqueda de anomalías magnéticas debidas a los restos.

De vuelta en Manila, con la información recogida de los archivos y los datos recolectados sobre el terreno, el equipo de Goddio y el Museo Nacional de Filipinas decidieron enviar una expedición en búsqueda del San Diego, financiada por la Fundación Elf. La misión de prospección comenzó en marzo de 1991. Se equipó el catamarán con



Fig. 1: El barco de apoyo a la excavación y el submarino con capacidad para dos personas.

magnetómetros de resonancia magnética nuclear, los cuales miden en continuo el campo magnético terrestre. Goddio sabía que el magnetismo que se origina del hierro existente en los restos de naufragio es, con frecuencia, muy débil, pues la corrosión marina sobre este metal es muy activa. Por lo tanto se dispuso de instrumentos de medida lo más sofisticados posibles para detectar, en profundidades de hasta setenta metros, las débiles anomalías magnéticas. Se sabía que los catorce cañones a bordo del San Diego eran de bronce, y no ocasionarían anomalías magnéticas fácilmente detectables, sin embargo el equipo poseía un documento fechado el 12 de julio de 1601 que hablaba sobre la artillería, armas, municiones y equipos del San Diego, abastecidos por los arsenales reales de Manila. Destacaba en este documento, más de mil balas de cañón de hierro colado o fundido, estimándose que la masa de estas balas debía ser de un mínimo de cinco toneladas cuando eran nuevas; a esto se le añadió las áncoras, los restos del barco y las armas. Se sabe que el hierro desaparece totalmente por la corrosión marina, por lo que la búsqueda se concentró sólo sobre la masa de hierro compacta de las balas de cañón que debían encontrarse en un pozo, que serían de unos 500 kilos.

Se determinó una zona de búsqueda rectangular de tres kilómetros de largo por dos y medio de ancho, paralela a la isla fortuna. Para que la prospección sea fiable y haya un

buen posicionamiento, se instaló sobre la isla fortuna tres balizas retransmisoras. Se cubrió la zona de prospección por pasajes sucesivos espaciados en treinta metros en el sentido de la longitud del rectángulo, con dos detectores magnetométricos tractados, inmersos a diez metros. Muchas veces los detectores registraban la presencia de anomalías magnéticas, que resultaban ser de origen natural geológico, y cada vez que se detectaba una anomalía se mandaba a un buzo a inspeccionar. Esto llevó a Goddio a preguntarse si Morga dijo la verdad en su testimonio. En este caso el barco no se encontraría en ese lugar donde se estaba realizando la prospección sino que mucho más lejos de la isla. A pesar de esto se siguió buscando en el mismo lugar –en el sector del naufragio de acuerdo al relato de los testigos.

Después de cuatro semanas de trabajo, una anomalía magnética fue detectada en el centro geométrico del rectángulo. Los sondeadores midieron en ese lugar 50 metros de profundidad, y la anomalía correspondía a doscientos cincuenta kilos de equivalente de hierro. Se mandó un buzo a investigar y cuando este subió confirmó que la “anomalía” se trataba del San Diego; el cual yacía a cincuenta metros de profundidad, a un kilómetro doscientos metros de la isla Fortuna. Así se comprobó que Antonio de Morga había falsificado los datos, y los modestos testigos recibían, cuatro siglos más tarde una confirmación póstuma brillante: sus declaraciones habían permitido el descubrimiento del San Diego, que yacía en rampa sobre un montículo de coral.

La excavación necesitó meses de preparación y apoyados por la fundación Elf, el 15 de enero de 1992, se comenzó el trabajo. Se arrendaron barcos, un remolcador con una gran plataforma de trabajo, y un submarino con capacidad para dos personas. El total del equipo de excavación era de 32 personas, entre, buzos, arqueólogos, técnicos, un médico, fotógrafos, camarógrafos y tripulación en general.

Luego de anclar los barcos se realizaron las primeras inmersiones de reconocimiento. De acuerdo a la observación del equipo, el túmulo, de unos 25 metros de largo y ocho de ancho, estaba orientado en sentido de la longitud oeste-norte-oeste a este-sur-este. Hacia el oeste yacían, casi paralelas, dos grandes anclas señalando la parte delantera de los restos. Cientos de jarras y tinajas esparcidas formaban una especie de corona alrededor del San Diego. El túmulo estaba formado por piedras de balastro y

sebrado de objetos que a primera vista resultaban irreconocibles por los sedimentos que las cubrían. En la punta de la nave apareció un cañón de bronce; a babor aparecían otros cuatro cañones recubiertos de sedimentos. El conjunto en general dio la impresión de verter sobre un lado. El San Diego después de haber tocado fondo sobre esa loma muy probablemente se había recostado sobre babor.

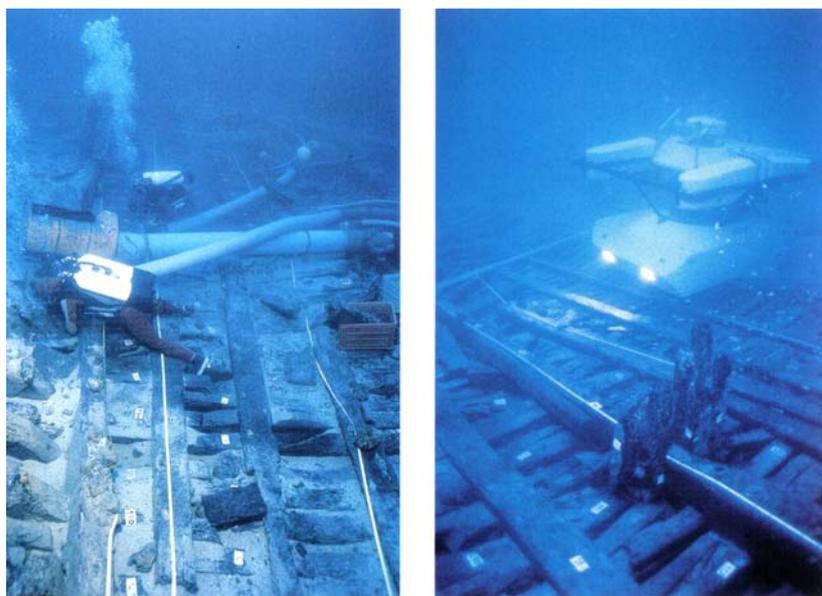


Fig. 2: Trabajos arqueológicos de planimetría y fotografía sobre el casco del San Diego

Algo que sorprendió al equipo y a los buceadores fue el estado de conservación de los restos, porque pocas piezas de cerámica estaban rotas y el conjunto era majestuoso.

Los primeros días de excavación fueron consagrados a la colocación y preparación de los equipos de buceo y de búsqueda. Dos potentes bombas de agua eléctricas inmersas fueron instaladas en el fondo cerca del lugar de excavación. Eran alimentadas por electricidad mediante un generador eléctrico. Estas bombas accionaban tres succionadoras de agua, una especie de grandes aspiradoras de sedimentos, cuyos



Fig. 3: Extractor para la evacuación de piedras

residuos eran evacuados mediante tubos flexibles de veinte centímetros de diámetro y doce metros de largo, los que desembocaban en grandes coladores o filtros destinados a retener elementos que habrían podido escapar a la atención de los excavadores.

Después de trabajar en el fondo marino, los buzos debían efectuar varias paradas en los diferentes niveles de descompresión antes de poder volver a subir al barco.

El primer trabajo que realizaron fue la instalación de una línea que constituiría un punto de referencia longitudinal para realizar el cuadrículado del lugar.

Desde el principio de la excavación aparecieron magníficas porcelanas chinas azul y blanca de la época Ming del reino del emperador Wanli (1573-1620). Estaban intactas en su estuche de fino sedimento. Una vez terminado el sondeo, el equipo excavó sobre el lado de babor de los restos, en un frente de seis metros de ancho. Cada buzo trabajaba con una aspiradora que tenía cerca una jaulita lastrada con plomo con bolsas de plástico de diferentes tamaños para guardar los objetos en lugar seguro, según se iban realizando los descubrimientos. Cada jaulita de color diferente correspondía a una zona de trabajo de un metro por un metro, la superficie máxima que podía excavar un buzo en cuarenta minutos. Estas jaulas eran izadas regularmente a la superficie en un gran cesto de hierro, que se llevaba hasta la cubierta.



Fig.4: (Izq.) Vasijas siamesas en el fondo antes de su elevación. (Der.) Buzo elevando una botella de porcelana china.

Las grandes jarras estaban incrustadas en el coral. En cuanto se sacaban del agua, se liberaban de los sedimentos importantes, de corales vivos, y su contenido se vaciaba con la ayuda de un chorro de agua encima de un filtro. Desde las primeras limpiezas se constató la presencia de residuos vegetales y animales, tales como huesos y granos.

Para el equipo uno de los momentos más impresionantes era cuando se vaciaban los cestos de plástico con los descubrimientos del día. El puente de barco se transformaba entonces en una especie de mercado de objetos raros y extraños: porcelanas de China, cerámicas de España y de las Filipinas, medallones de plata o de bronce, empuñaduras de espadas españolas o de sables japoneses, morriones de bronce, candelabros, platos y fuentes de plata, elementos de cordaje, poleas y piezas de plata que los soldados debieron recibir



Fig. 5: Un buceador muestra un espléndido morrión en el momento de su descubrimiento.

como prendas a su embarque. Otro gran descubrimiento para el equipo fue el astrolabio de a bordo. Esta pieza -excepcionalmente rara, debido a que no existen más de setenta en el mundo- fue encontrada intacta, al lado de un aguamanil de plata. Además en la parte trasera se descubrió dos montones de porcelana; los aparadores de la nave los habían protegido, y se encontraron tal cual como habían sido colocados.

Una vez identificados los objetos, los arqueólogos del Museo Nacional de Filipinas los registraban en libros con su número de inventario y después eran colocados en recipientes de agua dulce para su primera desalinización. Las jarras eran colocadas en cartones, y evacuadas regularmente hacia Manila por barco. La excavación del lado de babor del barco, reveló además de miles de objetos, siete cañones de bronce adicionales a los que habían sido descubiertos por los sedimentos.



Fig. 6: Franck Goddio y los arqueólogos del Museo Nacional de Filipinas clasificando cerámica china.

Una vez terminada la excavación a babor se comenzó a trabajar en la parte trasera del San Diego. En el ábside del barco aparecieron magníficas e importantes piezas de

madera que constituían la *quilla* y las últimas *varengas*². En las extremidades de la quilla reposaba el timón, que conservaba aún el ángulo de barra que el piloto le había dado momentos antes del naufragio, para intentar llegar a la Isla Fortuna.

Antes de finalizar la temporada, el equipo hizo un sondeo en las piedras de lastre, lo que reveló un gran número de objetos como porcelanas, cerámicas y osamentas. Al terminar la temporada se subieron todos los equipos, se aclaró y empaquetó el material y se dejó el San Diego hasta el año siguiente. De vuelta en Manila, se alquiló un gran almacén cerca del puerto y se comenzó el trabajo con los restauradores del Museo Nacional y del Instituto Europeo de Arqueología Submarina; para ello se construyeron grandes recipientes para tratar a los cañones y las áncoras (anclas) con electrólisis; además de desalinizar, limpiar, almacenar y dibujar miles de objetos antes de poder comenzar el verdadero estudio.



Fig.7: (Izq.) Piezas de artillería en el fondo marino. (Der.) Pieza de artillería elevada a la superficie.

La segunda temporada de la expedición comenzó el 8 de enero de 1993. Se encontró el San Diego en el mismo estado en que lo habían dejado. La profundidad a la que se encontraban los restos había disuadido a cualquier buceador pirata de visitarlos. Esta vez no había piezas importantes que rescatar porque ya se habían sacado en la temporada anterior. El trabajo principal de esta campaña era la limpieza del lastre y el estudio de la arquitectura naval del San Diego. Aunque en menor cantidad, los objetos descubiertos eran de gran calidad, particularmente en el lugar de la parte trasera del San Diego. Porcelanas, armas, objetos de plata y joyas de oro vinieron a completar la colección.

² Ver glosario.

Una vez terminada en el fondo la toma de cotas (medidas) y muestras de madera, se subieron elementos complejos para ser dibujados en inmersión. Es así como se sacaron al aire libre las varangas y las alargaderas, así como las bombas de cala que estaban muy bien conservadas. Una vez que se estudiaron estas piezas en superficie, se bajaron al fondo para preservarlas, puesto que la madera, si no lleva un tratamiento complejo se deteriora irremediablemente al aire.

Para el equipo la excavación del San Diego llegó a su fin. El lugar fue enarenado en dos días y el 15 de abril los aparatos fueron subidos a bordo, y la pequeña flota de tres navíos partió hacia Manila.

Cerca de seis mil números de inventario de objetos fueron registrados.

“Esta excavación enriquecerá, sin duda alguna, nuestro conocimiento de la vida de los marinos, de los soldados y de los oficiales a bordo de las embarcaciones de esta época, así como de los métodos de construcción naval de aquella época – saberes transmitidos oralmente pero poco documentados-. Pocas embarcaciones de finales de siglo XVI han sido descubiertas al día de hoy, y el San Diego ha dado lugar a una excavación arqueológica que personalmente creo ejemplar.”³

3.2 Objetos a bordo del Galeón

Durante las dos campañas de excavaciones arqueológicas de 1992 y 1993, el conjunto de objetos que se encontraban a bordo de los restos del San Diego fueron excavados e inventariados recibiendo un número de orden preciso. La numeración de todos los objetos, y de todos los fragmentos, desde el más importante hasta el más ínfimo, se extiende del número 0 hasta el 5.262⁴. Se impusieron algunas observaciones en cuanto a los números de inventario, por ejemplo:

. A veces los objetos recibieron un solo número aunque se tratara de un lote de objetos. Por ejemplo, varias balas de mosquete o varias bolas de cañón fueron reunidas en un paquete que lleva un solo número. Estas agrupaciones tienen la ventaja de no alargar el inventario.

. En cuanto a la enumeración en sí, una caja de porcelana, por ejemplo, puede tener dos números, uno para la caja y otro para la tapa; un jarrón de tierra cocida puede también

³ Goddio, Frank. “Búsqueda y Excavación”. En: Catálogo El San Diego, Un tesoro bajo el mar. Editado por Compañía Española de Petróleos, S.A. CEPESA. Madrid 1995.

⁴ El original de este inventario se encuentra actualmente en el Museo Nacional de Filipinas.

tener dos números: uno para la base y otro para el cuello roto. Estos dos números pueden estar más o menos alejados, según la fecha de su descubrimiento.

De acuerdo al relato de Zoé Housez⁵, miembro del equipo, la agrupación de los objetos y fragmentos por categorías fue un tema delicado ya que conllevó a la vez la identificación del objeto y el conocimiento seguro de su utilización.

Debido al exhaustivo trabajo de catalogación de los objetos, no se presentó una lista de todos los objetos presentes, sino más bien un cuadro con 2003 números y cinco lotes, los cuales fueron transportados a Francia al Instituto de Restauración y de Investigaciones Arqueológicas y Paleometalúrgicas para su restauración.

Inventario Arqueológico que fue transportado a Francia para su restauración:

1. **Construcción naval:** Cordaje, roldana, astrolabio, brújula, piedras de lastre, bloques de resina.
2. **Vida a bordo:** Cerraduras, llaves, cadenas, ensenadas, piezas de piedra y madera, piezas de metal, argollas, morteros, majas, alumbrado, piezas diversas, pesos, piezas de plomo, recipientes, objetos de alabastro, baldosas, osamentas humanas, osamentas fáunicas, restos vegetales.
3. **Armamento:** Armas de fuego, palas de fuego. Cañones, morriones, cotas de malla, remaches, pasadores, concreciones de armas, colgantes, anclas, espadas, Tsubas y piezas de Tsubas (partes de sable japonés), elementos de armadura, bolas de cañón, balas de mosquete y arcabuz.
4. **Orfebrería:** Objetos o piezas en bronce, fragmentos o piezas en plata, objetos de oro, vajilla, vasos, cubiertos, piezas de marfil.
5. **Jarras**
6. **Monedas**
7. **Tierras cocidas**
8. **Porcelana azul y blanca**

⁵ Housez, Zoé. "Estado de los lugares arqueológicos". En: Catálogo El San Diego, Un tesoro bajo el mar. Editado por Compañía Española de Petróleos, S.A. CEPSA. Madrid 1995.

3.3 Distribución de los objetos y exhibiciones

Después de la restauración de los objetos tanto en Francia como en Filipinas la colección se dividió.

Por ley del gobierno filipino, la mitad de la colección les pertenece a ellos, y esta colección se exhibe actualmente en el Museo Nacional de Filipinas y una parte en el Guimet de París. Otra parte le pertenece al señor Franck Goddio por financiar y llevar a cabo la excavación.

Tanto el gobierno Filipino como Goddio, los responsables de la fundación ELF y la Asociación de Acciones Artísticas del Ministerio de Asuntos Exteriores Francés (AFAA), quisieron exponer a la comunidad científica y público en general el excepcional legado cultural que representa una extraordinaria amalgama de elementos muy dispares procedentes de Filipinas, España, México, China, Japón, etc., muestra evidente de la relevancia que alcanzó Filipinas dentro del sistema comercial internacional. Para ello propiciaron una exhibición de una parte significativa de los objetos recuperados, mostrándolos sucesivamente en París, Madrid, Nueva York, Berlín y Manila.

El éxito que alcanzó la exposición “San Diego” celebrada en la Fundación Central Hispano de Madrid organizada por la AFAA con el patrocinio de ELF y CEPSA, no pasó inadvertido a las autoridades de la Comunidad y la Caja de Madrid quienes con el apoyo del Ministro de Defensa, vieron la oportunidad de recuperar para el patrimonio español la parte de los objetos que por acuerdo previo entre el



Fig.8: Frontis del Museo Naval de Madrid

Gobierno de Filipinas y Franck Goddio le habían correspondido a éste. Así una parte sustancial de la colección quedó depositada en el Museo Naval de Madrid, como monumento a la historia común de España y Filipinas.

Tras prolijas negociaciones, el 9 de enero de 1999 llegaron a España las piezas propiedad de la Comunidad de Madrid y Caja Madrid, quienes las depositaron

provisionalmente en el Museo Naval. Tres meses después, el 12 de abril, la CAM y Caja Madrid, suscribieron un convenio con el Ministerio de Defensa para asegurar el futuro de la conservación, exhibición y difusión de los restos de la nao en un lugar como el Museo Naval de Madrid, de reconocida solvencia cultural y científica.

Finalmente, los restos de la nao San Diego después de una prolija catalogación, se muestran al público en general y a la investigación científica en particular, en esta antigua institución de la Armada, tras ser inaugurada la sala expositiva por Sus Majestades los Reyes Don Juan Carlos y Doña Sofía, verdaderos impulsores de la operación.

La exposición del Museo Naval de Madrid presenta piezas de artillería y armas portátiles, objetos de la vida a bordo, ejemplos de numismática de finales del reinado de Felipe II, cerámica y porcelana para cargar mercancías y víveres, como vasijas para transporte de salazones (alimentos que se han salado) y verduras. Todas las piezas proceden de Filipinas, España, México, China o Japón. También en el museo se tienen tinajas de gres chinas con cubierta, las cuales sustituyeron en el área del Océano Pacífico a las barricas y toneles del tránsito marítimo en el Atlántico, los barros cocidos para conservar alimentos o cocinarlos y porcelana china, cargamento típico del tráfico marítimo español en la ruta Manila-Acapulco.



Fig.9: Piezas del San Diego expuestas en el Museo Naval de Madrid



Fig.10: (Izq.) Empuñaduras de espada en concreción. (Der.) Candados chinos



Fig.11: (Izq.) Visera de morrión europeo de infantería. (Der.) Monedas de plata de a ocho reales acuñadas en México, Potosí y la Península.



Fig.12: (Izq.) Lámparas de aceite de terracota (Der.) Porcelana China azul y blanca.



Fig.13: (Izq.) Tinajas de Siam. (Der.) Vasija Tradescant de arcilla y cinco asas.

El resto de las piezas del San Diego, que pertenecen al señor Franck Goddio se encuentran en un depósito en Ginebra, Suiza; de las cuales, 200 piezas de metal fueron separadas y enviadas al taller Art Metal Conservation en Basilea para su restauración.

Una vez restauradas, las piezas serán enviadas nuevamente al depósito en Ginebra, y llevadas posteriormente a un museo naval en Portugal.

3.4 Restauración de los objetos de metal por el IRRAP

La restauración de los objetos de metal fue confiada al Instituto de Restauración y de Investigaciones Arqueológicas y Paleometalúrgicas (IRRAP) que se encuentra en Compiègne, Francia.

En el Instituto, antes de determinar los procesos de tratamiento, se identificó con precisión la superficie original de los objetos, es decir su superficie en el momento de ser abandonados. Se realizaron también estratigrafías de los productos de corrosión y con la ayuda de restos de la decoración o de marcas de fabricación, fue posible localizar la superficie original, determinar los productos de corrosión a eliminar, y establecer el tratamiento adecuado. Para los restauradores esta determinación resultó a menudo difícil, ya que algunos objetos, particularmente un aguamanil y una copa, estaban laminados en todo su espesor con un núcleo metálico incompleto.

La variedad de tipos de corrosión encontrados en estos objetos, los llevó a establecer diversos tratamientos de naturaleza mecánica, química y electrolítica⁶.

Cuando la estructura interna del objeto era lo suficientemente homogénea y metálica, algunos productos de corrosión de la plata, negros y bastante densos, como los sulfuros de plata, pudieron ablandarse, incluso eliminarse, por inmersión desde algunos minutos a varias horas en una solución de ditionita alcalina. Este preparado es un agente reductor, particularmente de los productos de corrosión de la plata, que los fragiliza y los desolidariza de la superficie original.

En algunos casos, las concreciones marinas compuestas de arena, conchas y otros restos se levantaban por placas por lo cual se utilizó un tubo de ultrasonidos. La costra pudo ser eliminada totalmente evitando la alteración de la superficie del objeto.

La mayoría de los objetos de aleación de cobre se limpiaron mecánicamente con el tubo de ultrasonido o con un microtorno con una muecilla de diamante, un pequeño cepillo metálico, una goma, o pasta abrasiva de pulir.

Algunos objetos como el morrión y algunos morteros, presentaban productos de corrosión que hacían suponer una matriz rica en hierro. Una estratigrafía de estos productos, confirmada por unos análisis elementales, reveló una aleación a base de cobre con un porcentaje poco desdeñable de hierro. Estas impurezas durante su permanencia en el fondo del océano, pasaron a la superficie original de los objetos hasta formar una capa homogénea de óxidos y hierro. Esta capa fue eliminada mecánicamente.

En cuanto a los platos de plata, se habían soldado entre sí por distintos productos de corrosión. En este caso cualquier tratamiento mecánico o químico habría acarreado alteraciones graves de la estructura. En cambio, presentaban una superficie original metálica, conductora y suficientemente homogénea como para permitir un tratamiento electrolítico. Fue posible, entonces, desolidarizarlos sin problemas y limpiarlos parcialmente. Un complemento de limpieza mecánica y química restituyó el aspecto metálico de la plata al mismo tiempo que reveló informaciones importantes como contrastes y rastros de utilización.

Finalmente, con vistas a la exposición y a su conservación a largo plazo, todos los objetos fueron protegidos con una película de resina acrílica.

⁶ Ver glosario.

4. Estructura de metales, mecanismos de alteración y conservación

4.1 Estructura y corrosión de metales

Los materiales metálicos tienen una estructura *crystalina* que, a nivel microscópico, se manifiesta en forma de lo que se denominan *granos*. Estos granos presentan una geometría que depende tanto del tipo de metal como el tratamiento metalúrgico al que han sido sometidos.

Al calentar un metal o una aleación¹ hasta su *punto de fusión*² se torna líquido, pero si la temperatura con la que se calienta el metal, queda por debajo de su punto de fusión, se comienza a solidificar.

En este paso de líquido a sólido, los átomos se comienzan a reagrupar y se van formando núcleos de cristalización, y desde estos núcleos se van desarrollando los cristales en distintas direcciones. En esta estructura cada cristal debe encontrar espacio para su crecimiento, simultáneamente a la formación de los demás. De esta manera acabarán adoptando formas geométricas poliédricas particulares de reducido tamaño, que son lo que se conocen propiamente como granos, y que son observables al microscopio. Los cristales tienen individualmente la forma de un grano. El tamaño de los cristales viene determinado por las condiciones en las que se ha producido el enfriamiento tanto a nivel general como local.

En los metales puros, o en ciertas aleaciones, los granos son de una misma composición, es decir tienen una sola fase, y son llamados metales *monofásicos*. En las aleaciones, se tienen varias uniones de granos creando composiciones diferentes, es decir, tienen varias fases, por lo tanto estos metales son llamados *multifásicos*. Es por esto que en las aleaciones, la estructura cristalina es más complicada debido a la separación de fases de diferente composición e inmiscibles y que, a nivel microscópico, conforman los diferentes elementos estructurales. En este caso, la forma, dimensiones y separaciones de las fases

¹ Una mezcla de dos o más metales, o de un metal y ciertos no metales, como el carbono, se denomina aleación. El concepto de aleación se analizará con más detalle en el siguiente punto.

² Ver glosario.

están relacionadas con el tipo de aleación, así como los tratamientos térmicos y mecánicos a los que han sido sometidas dichas aleaciones³.

Pueden influir en la configuración y disposición de los granos diversos factores, como los tratamientos térmico-mecánicos. El forjado por ejemplo, es un proceso térmico seguido de otro mecánico que puede inducir a la formación de dobles cristales bien reconocibles, a nivel microscópico, por la aparición de líneas de separación paralelas entre los granos. Otros factores que influyen en la configuración de los granos son: El modo de vaciado del metal en la fundición, el número de troncos cristalinos, la velocidad de enfriamiento y crecimiento del cristal, los tratamientos mecánicos sufridos (forja, estirado, martillado), los tratamientos térmicos sufridos (temple, recocido, revenido) y los esfuerzos y deformaciones que el objetos ha sufrido desde su creación.

a. Características y propiedades físicas de los metales

Las características comunes de la mayoría de los metales son:

- Conductividad eléctrica y térmica
- Reflexión a la luz
- Fusión a altas temperaturas
- Elasticidad y resistencia
- Peso específico elevado
- Reacción a los agentes químicos
- Poseen una estructura cristalina

Los metales muestran un amplio margen en sus propiedades físicas. La mayoría de ellos son de color grisáceo, pero algunos presentan colores distintos; el cobre rojizo y el oro amarillo. En otros metales aparece más de un color, y este fenómeno se denomina pleocroísmo. La mayoría de los metales cristalizan en el sistema cúbico, aunque algunos lo hacen en el hexagonal y en el tetragonal.

³ *Matteini, Mauro; Moles, Arcangelo. Ciencia y Restauración. Método de Investigación.* Junta de Andalucía- Consejería de cultura- Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Editorial Nerea. Año 2001. Sevilla

Los metales también suelen ser duros y resistentes. Aunque existen ciertas variaciones de uno a otro, en general los metales tienen las siguientes propiedades:

- Dureza o resistencia a ser rayados
- Resistencia longitudinal o resistencia a la rotura
- Elasticidad o capacidad de volver a su forma original después de sufrir deformación
- Maleabilidad o posibilidad de cambiar de forma por la acción del martillo
- Resistencia a la fatiga o capacidad de soportar una fuerza o presión continuadas
- Ductilidad o posibilidad de deformarse sin sufrir roturas

Factores como la dureza, la flexibilidad y la fragilidad, pueden producir cambios en las propiedades de los metales. Otros factores como temperatura y deformaciones de diversa índoles (martilleo, compresión, flexión, laminación, estirado), pueden cambiar la estructura de los cristales.

b. Características químicas de los metales

Es característico de los metales tener *valencias*⁴ positivas en la mayoría de sus compuestos. Esto significa que tienden a ceder electrones a los átomos con los que se enlazan. También tienden a formar óxidos básicos. Por el contrario, elementos no metálicos como el nitrógeno, azufre y cloro tienen valencias negativas en la mayoría de sus compuestos, y tienden a adquirir electrones y a formar óxidos ácidos.

Los metales tienen *energía de ionización*⁵ baja: reaccionan con facilidad perdiendo electrones para formar iones positivos o cationes. De este modo, los metales forman sales como cloruros, sulfuros y carbonatos, actuando como agentes reductores (donantes de electrones). Esta pérdida de electrones en los metales, se conoce como reacciones de óxido-reducción o *REDOX*.

Las reacciones de óxido-reducción⁶ son aquellas en las que dos o más átomos cambian su número de oxidación. En su estado elemental, los átomos poseen un número de electrones equivalente al número de protones y, por eso, presentan un número de oxidación

⁴ Ver glosario.

⁵ Ver glosario.

⁶ *Matteini, Mauro; Moles, Arcangelo. La química en la restauración. Junta de Andalucía-Consejería de cultura- Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Editorial Nerea. Año 2001. Sevilla*

igual a cero. En los compuestos, todos los átomos ceden, adquieren o ponen en común electrones, formando enlaces: llegan, pues, a tener un número de electrones diferentes del que presentaban en su estado elemental.

Cuando en una reacción un átomo cede electrones a otro se dice que se oxida, y su número de oxidación aumenta. Al contrario, si el átomo adquiere electrones se dice que se reduce, y su número de oxidación disminuye. Por ejemplo: un átomo con un número de oxidación +II cede un electrón, se oxida, y su número de oxidación cambia a +III. Por el contrario, si adquiere un electrón y se reduce, su número de oxidación será +I.

Si un átomo cede electrones habrá otro que los adquirirá. Por este motivo en cada reacción de oxidación tiene lugar al mismo tiempo una reacción de reducción. El átomo que pierde electrones –que se oxida- actúa con respecto al otro átomo que los adquiere como reductor, mientras que el átomo que acepta los electrones actúa con respecto al otro como oxidante. Por consiguiente:

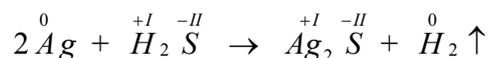
- La *oxidación* es un incremento algebraico del número de oxidación y corresponde a la pérdida real, o aparente, de electrones.
- La *reducción* es una disminución algebraica del número de oxidación y corresponde a una ganancia real, o aparente, de electrones.

Los electrones no se crean ni se destruyen en las reacciones químicas. Por lo tanto, la oxidación y la reducción siempre se producen simultáneamente en las reacciones químicas comunes y en un mismo grado.

- Los *agentes oxidantes* son especies que ganan electrones reales o aparentes. Se reducen. Se oxidan a otras sustancias.
- Los *agentes reductores* son especies que pierden electrones real o aparentes. Se oxidan. Se reducen a otras sustancias.

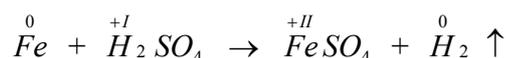
Por ejemplo:

1. La plata ennegrece en presencia de ácido sulfhídrico en el aire y forma sulfuro de plata, con liberación de hidrógeno en forma de gas.



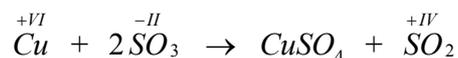
Si se consideran los números de oxidación de los distintos átomos que toman parte en la reacción, se observa que el número del azufre no ha cambiado, mientras que el de la plata ha pasado de 0 a +I y el del hidrógeno de +I a 0. La plata, pues, ha perdido un electrón y se ha oxidado, mientras que el hidrógeno, adquiriendo un electrón, se ha reducido. En este caso, la plata ha actuado como reductor, y el ión H^+ , como oxidante.

2. El hierro se deshace en ácido sulfúrico diluido y forma sulfato de hierro, liberando hidrógeno en forma de gas.

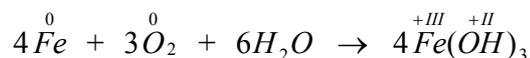


El hierro, oxidándose, cede dos electrones, que son adquiridos por dos iones H^+ , que se reducen entonces a H_2 . Azufre y oxígeno no varían su número de oxidación.

3. Corrosión del cobre en atmósfera contaminada



4. Oxidación del hierro en presencia de aire húmedo



c. Estructura electrónica y enlace metálico

En el átomo, protones y neutrones constituyen su parte central, es decir, el núcleo. Los electrones se distribuyen girando alrededor del núcleo ocupando orbitas que reciben el nombre de orbitales. Los orbitales difieren entre sí por la forma y su distancia con respecto al núcleo, y según su posición se agrupan en niveles. Cada nivel se designa con un número entero progresivo: el más cercano al núcleo recibe el número 1, luego el número 2 etc. Para

distinguir las diferentes formas de los orbitales se utilizan las letras s, p, d, f. La s, la forma más sencilla, es esférica, mientras que el resto son más complejas. Cada nivel tiene un orbital s, pero existen, sin embargo, tres orbitales p, cinco orbitales d, y siete f.

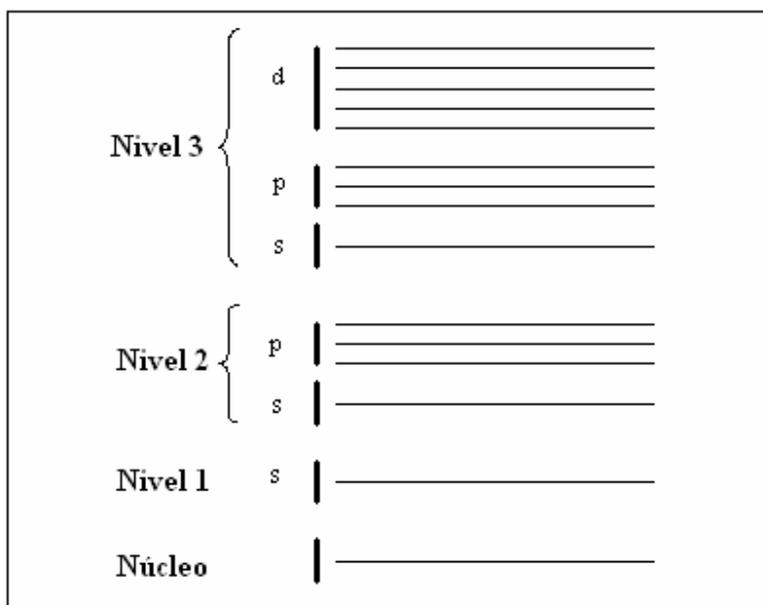


Figura 1: Distribución de los orbitales electrónicos alrededor del núcleo. Cada orbital se representa con una línea que designa el nivel de energía en el que se puede encontrar el electrón.⁷

El primer nivel (nivel 1), el más cercano al núcleo, tiene sólo un orbital s; el segundo nivel (nivel 2) tiene un orbital s y tres p; el tercer nivel (nivel 3) está compuesto por un orbital s, tres p y cinco d y así sucesivamente. En definitiva el número total de los posibles orbitales presentes en cada nivel depende del número de éste. Finalmente cada orbital puede albergar un máximo de 2 electrones, y estos tienden a ocupar, preferentemente, los niveles libres más cercanos al núcleo. En cada nivel se completan primero los orbitales s y, a continuación, los p, d y f. Es por eso que dependiendo del número atómico del elemento, es el número de orbitales que va a tener. Por ejemplo el carbono tiene número atómico 6, es decir tiene en su núcleo 6 protones y, por lo tanto, 6 electrones, los cuales se distribuyen de la siguiente manera: $1s^2 2s^2 2p^2$, fórmula que expresa que los dos primeros electrones ocupan el orbital s del primer nivel; otros dos, el orbital del segundo nivel, y los dos últimos, dos orbitales p del segundo nivel.

⁷ Matteini, Mauro; Moles, Arcángelo. *ibid.*

Enlace metálico:

Los cristales metálicos son generalmente cúbicos centrados en el cuerpo, cúbicos centrados en las caras o hexagonales compactos. La eficacia de empaquetamiento de estas estructuras cristalinas es muy alta, así los elementos metálicos en general son muy densos. En un metal los electrones de enlace están deslocalizados sobre el cristal entero. De hecho, los átomos metálicos en un cristal se pueden imaginar como una estructura de iones positivos inmersos en un mar de electrones de valencia deslocalizados. La gran fuerza cohesiva resultante de la deslocalización es la responsable de la resistencia mecánica de los metales. La movilidad de los electrones deslocalizados explica que los metales sean buenos conductores del calor y de la electricidad.

Las propiedades asociadas a los metales, como brillo metálico, alta conductividad térmica y eléctrica, se explican mediante la *teoría de banda de los metales*. Los electrones que se encuentran en los orbitales de menor energía como los orbitales 1s, 2s y 2p se encuentran localizados en cada átomo metálico. Sin embargo, los orbitales 3s, 3p y los siguientes, se encuentran muy cerca de la energía, por lo tanto, se colocan para formar orbitales moleculares deslocalizados. Los electrones de estos orbitales pueden viajar a través del metal formando una *banda de conducción*.

Otra propiedad del metal, como la capacidad para conducir el calor, sucede ya que los metales pueden absorber calor cuando los electrones se excitan térmicamente y pasan a orbitales vacíos a niveles bajos de la banda de conducción. El proceso inverso se ve acompañado de liberación de calor.

Los metales también tienen apariencia lustrosa, porque los electrones móviles pueden absorber un amplio rango de longitudes de energía radiante al saltar a niveles de mayor energía. Inmediatamente emiten fotones de luz visible y descienden a los niveles inferiores dentro de la banda de conducción.

Los metales son maleables y dúctiles porque, el cristal de un metal puede deformarse con facilidad cuando se le aplica tensión mecánica. Todos los iones metálicos son idénticos y se encuentran dentro de un “mar de electrones”; al romperse los enlaces se forman otros nuevos con facilidad con iones metálicos adyacentes. Las características de la red cristalina permanecen sin cambio y el medio en que se encuentra el ión es idéntico al que existía antes de producirse la deformación. La ruptura de enlaces incluye la proporción

de electrones a niveles superiores de energía. La formación de enlaces se ve acompañada por el regreso de electrones a los niveles de energía originales.⁸

d. Aleaciones

Es un concepto estrictamente químico, es una disolución de dos metales; es un producto homogéneo de propiedades metálicas, compuesto de dos o más elementos por fusión conjunta o por aglutinación, donde uno de los cuales, al menos, debe ser un metal. El aspecto externo de la aleación es aparentemente homogéneo, y sólo un análisis microscópico evidencia su heterogeneidad. Su característica consiste en que no sólo conserva las propiedades de los metales que la componen, sino que, además, los mejora en función de la proporción de los componentes.

Es muy frecuente encontrar en los metales antiguos mezcla de metales, por ejemplo electro (oro y plata) más que oro puro; y la plata contiene casi siempre cobre. Las aleaciones más importantes que podemos encontrar, como materia de obras de arte, son las de cobre por sus buenas propiedades mecánicas y su maleabilidad.: bronce (cobre y estaño, a veces también plomo), latón (cobre y cinc) empleado desde muy antiguo en china, y en acuñación de monedas por los romanos, peltre (cinc, plomo y estaño), acero (hierro y carbono), aleación moderna, aunque en la forja de armaduras de hierro y hojas de espada antiguas ya se machacaba este con las escorias, en presencia de carbono, transformándose en acero⁹.

Existen dos tipos de aleaciones:

- Aleación por sustitución: Es aquella aleación en la cual el metal aleante toma el lugar del metal original en la red cristalina, formando una aleación por sustitución.
- Aleación intersticial: Es aquella aleación en la cual el metal aleante se ubica en los espacios libres dejados por el metal original en la red cristalina, formando la aleación intersticial.

⁸ Araya, Carolina. Introducción a la química de los metales. Seminario de conservación y restauración de metales. Pontificia Universidad Católica de Chile.

⁹ Calvo, Ana. Conservación y restauración. Materiales, técnicas y procedimientos. Ediciones del Serbal. España 1997.

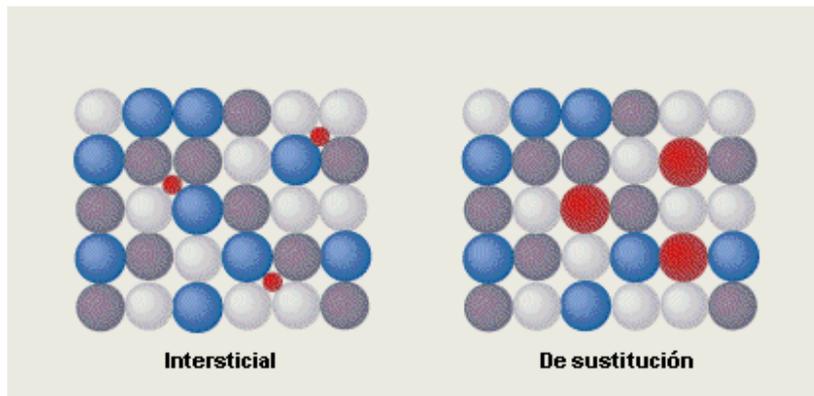


Figura 2: Disoluciones sólidas

Se forma una disolución sólida cuando los átomos de una sustancia se distribuyen por completo alrededor de los de otra. Las aleaciones son con frecuencia disoluciones sólidas. Aquí se ilustran dos tipos de estas disoluciones. La de la izquierda es intersticial, lo que significa que los átomos disueltos ocupan espacios vacíos de la estructura cristalina del material disolvente. Esto sólo es posible cuando los átomos disueltos son mucho menores que los de la sustancia que los recibe. La disolución de la derecha es de sustitución: los átomos disueltos sustituyen a algunos de los que forman la red cristalina receptora. El bronce pertenece a esta categoría¹⁰.

Con frecuencia las propiedades de las aleaciones son muy distintas de las de sus elementos constituyentes, y algunas de ellas, como la fuerza, puede ser considerablemente mayor en una aleación que en los metales por separado. Un ejemplo de esto es la plata, la cual casi nunca se encuentra como metal puro, siempre se le encuentra aleado con cobre, ya que la plata pura es muy blanda, y mezclada con cobre resiste más y se puede trabajar más fácilmente. Por esta razón, se suelen utilizar más las aleaciones que los metales puros. La conductividad en los metales también se puede reducir mediante aleaciones. Las características de las aleaciones son:

- Disminución del punto de fusión
- Modificación de las propiedades mecánicas
- Variación de la dureza
- Cambio de la elasticidad
- Modificación del color
- Disminución del costo de salida del objeto

¹⁰ En: Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2002. © 1993-2001 Microsoft Corporation.

e. Superficie original

Para poder hallar la superficie original en un objeto, debemos entender primero el concepto de pátina. En general el concepto de pátina se refiere a la huella del paso del tiempo por los materiales, con legitimidad histórica. Bajo la influencia del medio ambiente, un objeto puede adquirir ciertos aspectos característicos a su edad, autenticidad o precedencia. De esta manera podemos considerar como pátina, no sólo a un recubrimiento superficial, sino que a todo un conjunto de efectos del proceso de envejecimiento de los materiales. En el caso de los metales, son especialmente importantes las pátinas por las que adquieren aspectos característicos, y cuando éstas son estables se deben conservar siempre, además de que certifica la antigüedad del objeto. Cuando la pátina es estable, provee al objeto de protección del medio ambiente.

La pátina natural es formada sólo por influencia de medio ambiente; pero este término no nos dice si esta respectiva capa formada por el medio ambiente, es estable o no. Algunas personas suelen diferenciar entre pátina externa y pátina interna; en el caso de los objetos de bronce por ejemplo, la primera, estaría formada de sulfatos de cobre de color verde; y la segunda por cuprita (Óxido de cobre) de color café.

Debemos diferenciar además los conceptos de pátina activa o pasiva. Estos conceptos se refieren a la condición y reactividad de la pátina y hace una distinción entre dos clases de corrosión.

La llamada pátina estable o pasiva, se refiere a productos de corrosión que son al mismo tiempo químicamente estables, y también agradables a la vista. La pátina estable, en el bronce por ejemplo, se puede definir como una capa verde o café, un tanto brillante, atractiva estéticamente, con una superficie translúcida que no deja dudas que el metal original se encuentra debajo. Otros tonos que puede adquirir esta pátina van del rojo al café. En el caso de la plata, la pátina proviene de los productos de corrosión llamados sulfuros. El sulfuro de plata puede apreciarse en una variada gama de colores, desde el amarillo y el rojo hasta el azul y el negro. El grosor de la capa determina el color que se ve, esencialmente, mientras más gruesa es esta capa, más oscuro es el color.

Una pátina física y químicamente estable normalmente tiene una superficie suave, un tanto translúcida, y una delgada capa de cuprita café cerca del metal original.

Esta pátina estable, o también llamada corrosión inactiva, se encuentra en capas de óxido estables, formando un deslustre o cambio de color en los objetos metálicos, protegiendo la superficie de estos.

La pátina activa, se refiere a los productos de corrosión que activamente corroen la superficie del metal¹¹.

La superficie original de un objeto en tanto, es la que le otorga la forma y la que lo define, además que es el límite entre el objeto y el medio ambiente. La superficie original describe las características y transformaciones que el objeto ha sufrido.

Superficie original se la llama a la idea de límite del objeto con el su medio, y esta no tiene materialidad pues es soportada por la materia misma del objeto que se puede transformar. También podemos encontrar otros elementos alrededor de la superficie original, como productos de corrosión. Los productos de corrosión externos, se ubican sobre la superficie original, mezclándose además con sedimentos, minerales o elementos orgánicos que se pueden localizar en el medio en el cual el objeto se encuentra.

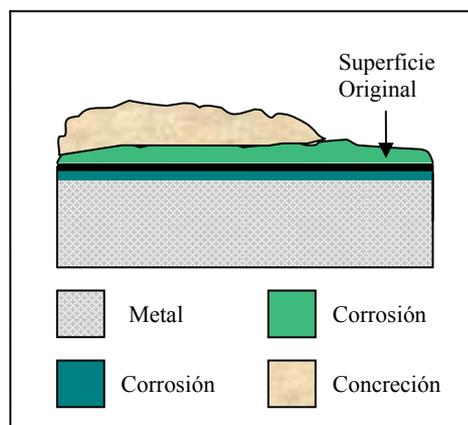


Fig.3 Superficie Original

También los productos de corrosión se pueden ubicar bajo la superficie (es decir, entre la superficie original y el metal original) estos son más difíciles de detectar y eliminar. *“Los índices que permiten la localización de la superficie original pueden estar ligados a la constitución de los productos de la corrosión, a la presencia de decoraciones o tratamientos de superficie (...) y a los mecanismos de corrosión.”*¹²

¹¹ Este punto se tratará a profundidad en el capítulo de corrosión.

¹² Muñoz Vargas, Nelida. Conservación-Restauración metales arqueológicos bajo suelo. Bronce-Fierro. Tesis presentada a la Universidad de Chile. Facultad de Artes. Paris, año 2001

f. Deterioro en los objetos de metal: corrosión

Todos los metales tienen la tendencia a corroerse. Obtenidos de formas estables de minerales, tienen que ser fundidos o transformados para poder ser usados, por lo que con el tiempo tienden a volver a su estado original. Por esta razón si dejamos un metal sin protección en condiciones atmosféricas o medios ambientes húmedos, la apariencia de este metal cambiará gradualmente, y en su superficie se observarán capas de corrosión.

La corrosión es el proceso de deterioro que sufren los materiales metálicos, como resultado de reacciones químicas y/o electroquímicas con el medio ambiente que los rodea, provocando la pérdida de sus propiedades y la formación de incrustaciones minerales.

Cuando el fenómeno de corrosión está presente en un metal, tenemos una reacción REDOX activa. Es un proceso que se desarrolla en un ambiente acuoso donde el metal se está oxidando mientras que otras especies se están reduciendo.

Los metales actúan como *cátodos*, es decir, es la semireacción de Oxidación.

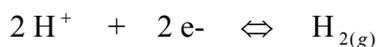
Por ejemplo¹³:



Las especies que actúan como *ánodos*, pueden variar de acuerdo al pH del medio.

Las semireacciones de reducción más importantes en los procesos de corrosión son:

.Descarga del ión hidrógeno en ambientes anaeróbicos:



.Reducción de oxígeno en ambiente ácido:



¹³ Araya, Carolina. Introducción a la química de los metales. Seminario de conservación y restauración de metales. Pontificia Universidad Católica de Chile.

.Reducción de oxígeno en ambiente neutro:



Con la corrosión se pierden las propiedades originales de los metales que tienden a volver a la forma mineral, más estable. La corrosión se produce debido a una serie de reacciones químicas o electroquímicas, más lenta o rápida según la naturaleza del metal, su potencial de oxidación-reducción, presencia de otros metales, y las condiciones a las que está expuesto. Los productos de corrosión implican un aumento de volumen del objeto, cambio de color, y el debilitamiento de sus propiedades mecánicas.

En general los factores externos que determinan la corrosión de los metales son:

- Humedad Relativa
- Composición química de la atmósfera (contaminación ambiental)
- Partículas sólidas
- Temperatura
- Mineralización y acidificación de la humedad condensada y de las precipitaciones

Los factores internos que determinan la corrosión de los metales son:

- Composición química de la aleación
- Estructura metalográfica
- Condiciones de la superficie metálica

En el caso de objetos metálicos que provienen del mar, pueden sufrir la llamada corrosión galvánica, la cual es acelerada por el agua por la capacidad de esta para favorecer los procesos de oxidación, debido a que puede conducir la electricidad. Este tipo de corrosión se produce entre metales distintos que estén cerca, produciéndose así un flujo de electrones entre los metales con distinto potencial eléctrico. Esta corrosión se incrementa, además, si se encuentran dos metales en contacto, o si se trata de un metal aleado. En la corrosión galvánica el metal menos noble se corroe más, protegiéndose o incluso parándose la corrosión en el más noble.

Todos los metales, muestran una tendencia a la oxidación, algunos más fáciles que otros. Una forma de comparar esta fuerza relativa de los metales a la galvanización, o

tendencia a la oxidación, es a través de la llamada serie galvánica. La serie galvánica va de la mayor tendencia a oxidarse a menor tendencia a oxidarse. Mientras más electrones pierde el metal, más se oxida. En metales que formen una aleación el riesgo de oxidación y corrosión es mayor, debido a la diferencia de potencial eléctrico; por este motivo es más fácil que se oxide el hierro que el oro.

Serie galvánica en agua de mar

- ACTIVO

Magnesio

Aluminio

Cadmio

Acero al carbono

Hierro forjado

Hierro fundido

Acero inoxidable (AISI 410)

Acero inoxidable (AISI 340)

Plomo

Estaño

Níquel

Latón

Cobre

Bronce

Cuproníquel

Monel

Titanio

Carbono

Oro

Platino

+ NOBLE

Corrosión en ambientes marinos: En ambientes marinos ocurren ataques electroquímicos entre distintos objetos de metal que no están en contacto directo, es decir, metales con diferente potencial eléctrico no necesitan estar en contacto directo para que ocurra el fenómeno de la corrosión. Cuando uno de los metales tiene cargas iónicas positivas y el otro metal contiene iones cargados negativamente y un conductor eléctrico es puesto entre ellos, en este caso el agua de mar (que actúa como electrolito), la corriente fluiría como en una descarga de una pila. Una vez que el electrolito ha completado el circuito, la corriente electrónica es establecida en el metal, en el área que esté cargada negativamente (cátodo). El área cargada positivamente (ánodo) es eventualmente destruida.

Es decir, al final, el metal ha sido oxidado, se pierden electrones, los cuales dejan el núcleo metálico. Estos electrones son conducidos a través del conductor o puente, hasta otro sitio donde son reducidos (en este caso otro metal).

Estos procesos de corrosión toman lugar a nivel atómico, e involucran no sólo el metal sino que también al medio ambiente (ambientes marinos, humedad alta, oxígeno o gases presentes en la atmósfera). En este proceso electroquímico hay un intercambio de electrones que actúa sobre la superficie del metal (M), en donde se disuelven partículas metálicas cargadas positivamente (cationes M^+) y desde el medio ambiente se forman de partículas cargadas negativamente (aniones OH^-). Ambas partículas reaccionan para formar un film protector ($M(OH)_n$) en la superficie metálica.¹⁴

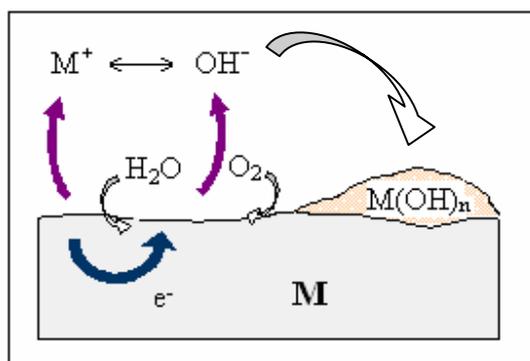


Figura 4: Representación de las reacciones electroquímicas que ocurren en la superficie del metal

¹⁴ Argyropoulos, Vasilike; Doktor, Anke; Mach, Martin; Strandberg, Helena. Protect our European Outdoor Bronze Monuments. Sin información de editorial y año.

Tipos de corrosión:

Heterogeneidades y fallas presentes en la superficie del metal, particularmente en el caso de aleaciones (porosidad, espacios entre los granos de diferente composición, inclusiones combinando elementos diferentes...) son los sitios preferidos para los procesos de corrosión. De acuerdo a la microestructura del metal se desarrollará desde corrosión del tipo *pitting* hasta corrosión generalizada (en toda la superficie o dentro del metal). Es así como podemos identificar diferentes tipos de corrosión en el metal.

Corrosión Pasiva: este ataque se efectúa por igual en toda –o casi toda- la superficie del metal. El objeto, entonces, queda recubierto por una capa denominada pátina. *“Ciertas capas de productos de corrosión pueden formarse entre el metal subyacente y las especie reactivas del medio produciéndose una disminución en la velocidad de la corrosión. Se produce una pasivación. Se desarrolla entonces una capa de productos de corrosión más delgada que es poco soluble, menos porosa, tienen una densidad ligeramente inferior a la de su metal de origen (y) se adhiere fuertemente a la superficie del metal (...)”*¹⁵. Esta capa o film, tiende, además, a proteger el metal del medio ambiente. Pero esta capa pasiva se puede romper por numerosos factores tales como: ruptura mecánica, erosión por agua, disolución química de los productos de corrosión, o por cambios en el medio, como por ejemplo un aumento en la humedad relativa del ambiente en el cual se encuentra el objeto.

Corrosión Activa o Generalizada: La corrosión activa se puede identificar por una rápida expansión de volumen, a medida que el metal se altera para formar un producto de la corrosión. Además, es posible que se observe pulverización de la superficie. Podemos considerar que todo objeto de metal rodeado de escamas o polvo suelto se está corroyendo activamente¹⁶. En este tipo de corrosión hay un ataque total a la superficie del objeto, por lo que se hace muy difícil reconocer la forma de este o sus detalles.

Corrosión Localizada: En este tipo de corrosión hay un ataque hacia el metal sólo en ciertos puntos. Ésta se caracteriza por la presencia de cráteres o picuras, en las zonas corroídas.

¹⁵ Muñoz Vargas, Nelida. *Ibid.*

¹⁶ Notas del ICC 9/1 Cómo reconocer la corrosión activa. Canadian Conservation Institute. Ottawa 1995

Cuando los átomos del metal son expuestos al medio ambiente que esté cargado de moléculas de agua, estos pueden dar electrones, transformándose así mismos en iones cargados positivamente. Este efecto se puede concentrar localmente para formar un *pit* (*picura*), o algunas veces una fractura.

La corrosión de tipo pitting, es un tipo de corrosión localizada que se caracteriza por formar cavidades en el objeto. Esta corrosión es considerada más peligrosa que la corrosión uniforme porque es más difícil de detectar, predecir y atacarla.

La corrosión tipo pitting se puede iniciar por:

- Daño químico o mecánico localizado al film protector del objeto
- Bajas concentraciones de oxígeno disuelto (que tienden hacer menos estable el film protector)
- Altas concentraciones de cloruros (como en ambientes marinos, por ejemplo).

Esta corrosión puede producir orificios abiertos (que no están cubiertos por productos de corrosión) o cubiertos (con una membrana semi-permeable de productos de corrosión).

Aparte de la pérdida localizada de espesor, los pits de corrosión también pueden ser dañinos ya que pueden aumentar el stress y la fatiga en el material.

Corrosión Galvánica: Como se explicó anteriormente, esta corrosión se debe a la diferencia de potencial eléctrico que existe entre dos metales, en donde el menos noble se va a corroer y el más noble permanecerá protegido (al menos por un tiempo).

Corrosión Dendítica: Ésta tiene su origen en la variación de la composición dentro de las aleaciones de las dendritas.

Corrosión Intergranular: Este tipo de corrosión se produce entre las uniones de grano y generalmente no es visible, debido a esta corrosión el metal se puede tornar quebradizo.

Para detener la corrosión es necesario conocer y eliminar las causas de alteración. El examen físico previo es fundamental para determinar el tratamiento. En muchos casos la pieza puede encontrarse completamente mineralizada y sin núcleo metálico. Hay que

conocer el tipo de metal o aleación, el espesor y la regularidad de la capa de corrosión, la presencia de decoración en el objeto etc., realizando metalografías, exámenes de los materiales, y radiografías.

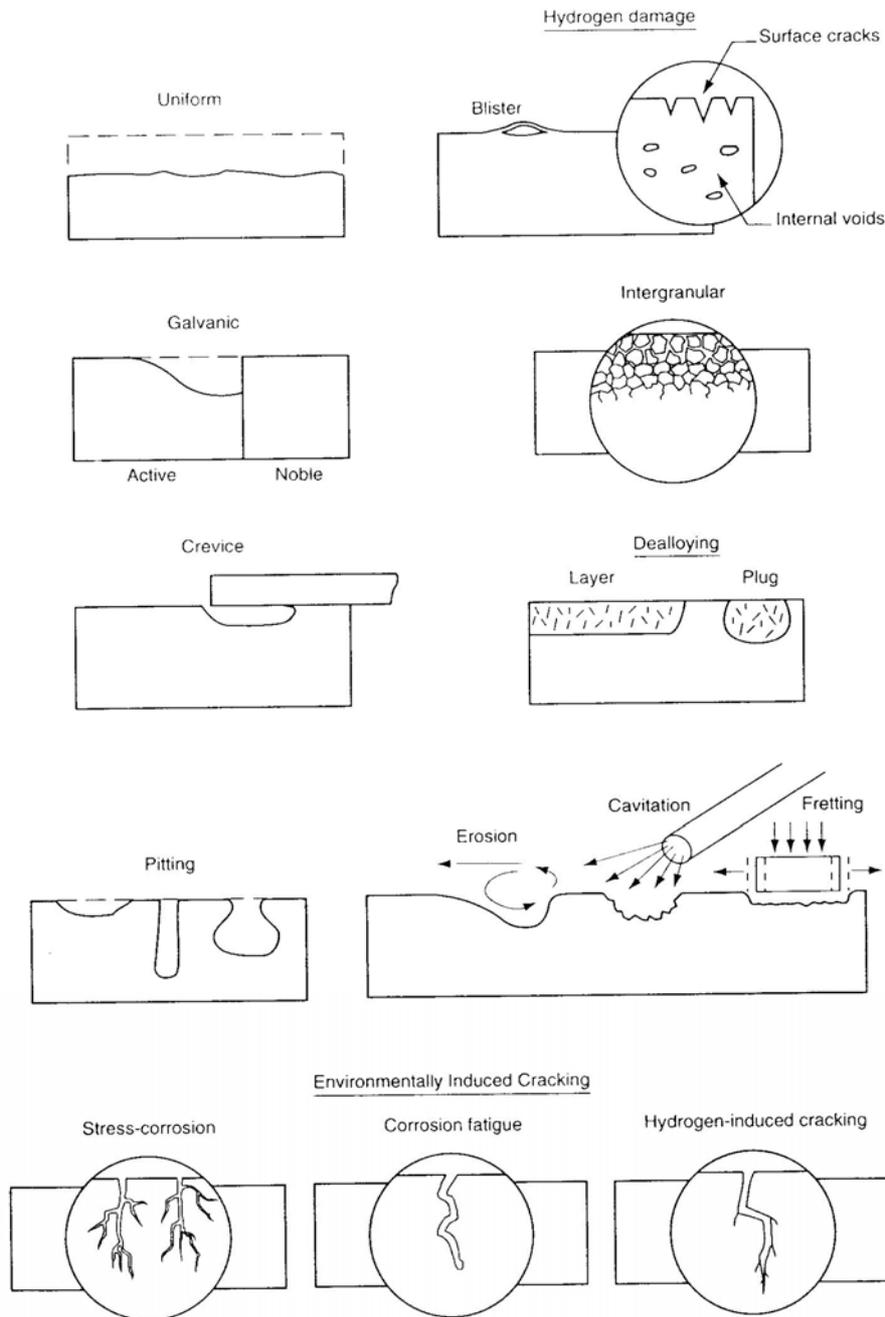


Fig.5: Tipos de corrosión

4.2 Metales arqueológicos: Plata y Bronce

A lo largo de la historia los metales se han utilizado como material para la elaboración de objetos tanto utilitarios como decorativos. En el siglo I a.C. el trabajo de los metales de mayor uso actual —hierro, cobre, estaño, plomo, oro y plata— ya tenía tras de sí una larga historia que había comenzado unos diez mil años antes con el trabajo del cobre. La distinción entre metales preciosos (oro, plata y, desde el siglo XVIII, platino) y no preciosos (hierro, cobre, estaño y plomo) procede de las antiguas civilizaciones del Oriente Próximo y de la Europa prehistórica.

El oro y la plata, estaban en un principio reservados para usos religiosos rituales, fabricación de objetos para templos y para la joyería, así como para los utensilios ceremoniales de figuras semisagradas como los faraones del antiguo Egipto, los reyes-sacerdotes de Oriente Próximo y los jefes tribales europeos desde España hasta el Cáucaso. A medida que estos materiales tan apreciados se hicieron más abundantes sirvieron para proclamar el rango social de un grupo más amplio, la elite de cada sociedad: su nobleza y sus grandes guerreros. El uso del oro y de la plata se extendió al adorno personal, a los utensilios para comer y beber, las armas y a otros objetos, e incluso a piezas de mobiliario como espejos, pies de lámpara, sillas y camas. Poco a poco fueron adquiriendo un valor intrínseco que acabó por expresarse en las primeras monedas, discos de oro y plata con una estampación que emitieron los lidios en Asia Menor en el siglo VII a.C.

Los metales no preciosos como el hierro y el bronce eran apreciados por su resistencia, en especial para armas y herramientas; el cobre, el estaño y el plomo empezaron a emplearse, sobre todo por su utilidad o durabilidad, para objetos de cocina, almacenamiento o para reforzar todo tipo de construcciones de madera.

En la antigüedad se descubrió que los metales tenían la propiedad particular de poder mezclarse o alearse en diversas combinaciones y proporciones para conseguir materiales mejores para fines diversos. De la mezcla de cobre y estaño se obtenía bronce y de la de plomo y estaño, peltre. El ingenio y el conocimiento científico cada vez mayor han explotado esta propiedad de los metales durante los últimos 2.000 años, de tal forma que, aunque todavía es común el uso de las denominaciones hierro, cobre, plomo, plata y oro,

casi todos los productos metálicos son, en realidad, de aleaciones muy cuidadas y complejas.

Hay ciertas características que comparten todos los metales: superficie lisa uniforme, gran resistencia y durabilidad, así como maleabilidad (capacidad de poder trabajarse para obtener casi cualquier tipo de forma). Esta maleabilidad inherente a los metales hace que se puedan trabajar por presión cuando están en estado sólido o con moldes cuando se licúan por calentamiento. Además, los metales son reciclables (a diferencia de la piedra o la madera) ya que pueden fundirse y aprovecharse para hacer nuevos objetos. Esta propiedad fue muy valorada tras el descubrimiento de la fundición (extracción del metal calentando el mineral), que data de mediados del quinto milenio a.C.

Las técnicas para trabajar los metales se desarrollaron muy lentamente y, durante mucho tiempo, estuvieron en relación con el progreso de la *metalurgia*¹ (extracción de una masa de metal de la tierra). Hoy día los expertos sostienen que la metalurgia no se desarrolló hasta que los seres humanos no adoptaron un tipo de vida sedentario, caracterizado por la agricultura y la cría de ganado. Esta difusión comenzó alrededor del quinto milenio a.C. y continuó durante más de 2.000 años.

Técnicas Primitivas

La metalistería más antigua es la del cobre, que se remonta quizá a fechas tan lejanas como el 11000 a.C., utilizando pequeñas pepitas de cobre recogidas del suelo o del agua. Es probable que al principio esas pepitas se consideraran como un tipo especial de piedra de atractivo colorido, que podían afilarse o golpearse —métodos que ya se usaban para trabajar la piedra, el sílex y la obsidiana— para hacer adornos.

El recocido

El siguiente paso fue el descubrimiento, alrededor del 5000 a.C., de que esas pepitas podían trabajarse mediante martillado si se las calentaba al rojo vivo y después se las dejaba enfriar; si esto se hacía varias veces, durante el martillado el material permanecía blando y fácil de trabajar. Los fuegos que se hacían con madera común producían el calor

¹ Ver glosario.

suficiente como para llevar a cabo este proceso, que se conoce como recocido. Si el metal se somete a un martillado constante sin haberlo recocido, se torna demasiado duro y quebradizo y aparecen las consiguientes grietas irregulares.

Fundición

El siguiente descubrimiento tuvo lugar después de inventarse el horno cerrado de dos cámaras para la cerámica, en el que se logran temperaturas muchísimo más altas que las de los hornos abiertos utilizados para la alfarería a baja temperatura. Esto ocurrió probablemente, antes del 4000 a.C. y condujo, unos 500 años más tarde, primero a la fundición de pequeños trozos de cobre y malaquita (de la que, en determinadas condiciones, puede extraerse cobre) y, más adelante, a fundir grandes cantidades de mineral de cobre en hornos que al principio se parecían a los de dos cámaras para cerámica. Hasta el momento en que se pudo fundir, no se produjo un incremento importante en el suministro de cobre y objetos hechos con él.

Aleaciones

Finalmente, el descubrimiento de la fundición llevó al desarrollo de aleaciones simples que se realizaban mezclando diferentes minerales durante el proceso de fundido. Esto ocurrió después de un periodo intermedio, alrededor del 3000 a.C., en el que se observó que los minerales compuestos —rocas que presentaban una o dos partículas metálicas diferentes— producían un metal superior. El cobre obtenido por fundición continuó dedicándose al principio a herramientas pequeñas y a adornos realizados con las antiguas técnicas de martillado o afilado que se habían aplicado para el cobre en estado natural. Sin embargo, se ha descubierto que las armas y herramientas del periodo pre-dinástico en Egipto (c. 3200-3100 a.C.) estaban hechas, sin lugar a dudas, con cobre fundido y vaciado². En Ur, Mesopotamia, se han extraído de las tumbas reales gran cantidad de objetos preciosamente trabajados en oro, plata, electro (aleación natural de oro y plata), cobre e incluso bronce primitivo. Muchos de estos objetos están hechos con el método de vaciado tanto a la cera perdida como a la arena.

² Ver glosario.

Aplicación de técnicas

Hacia el 2500 a.C. ya se llevaba trabajando el cobre al menos 3.000 años y las principales técnicas de la metalistería habían pasado por procesos de desarrollo muy lentos. Para entonces estas técnicas también se aplicaban a otros metales, como la plata, el oro y las aleaciones de cobre y estaño con las que se obtiene el bronce. Las técnicas utilizadas para dar forma eran la de *forja* y *batido en frío o en caliente*, que evolucionaron a las técnicas del *martillado y relieve*, utilizando martillos blandos de hematites; la del *recocido*; la del *afilado*, que dio paso al *pulido y lijado fino (esmerilado)* usado en la producción de espejos; la de *unión de dos láminas de metal* con juntas superpuestas o remaches y más tarde por *soldadura*; y la técnica de *colada o fundición*. Después de inventarse esta última se utilizó el *batido* para reducir una pieza de metal a planchas, técnica que hubo de seguir utilizándose hasta que, en el siglo XVII, se inventó el laminador que permitía obtener planchas de metal por medios mecánicos.

Aunque para el trabajo del metal a nivel industrial se han introducido otros métodos, como el *torneado*, han sido y siguen siendo la soldadura, el batido, el recocido, el relieve y la colada los métodos artísticos que se utilizan para dar forma a los metales. Se supone que estos fueron los métodos utilizados por primera vez por las comunidades agrícolas de fin del neolítico que habitaban en la región montañosa del noreste de Persia.³

³ Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2002. © 1993-2001 Microsoft Corporation.

a. Plata

Historia

En la antigüedad la plata comenzó a producirse en la región conocida como el Ponto, ubicada en la costa sur del mar Negro, donde hoy se encuentra la zona oriental de Turquía, y se produjo fundiendo galena, mineral que contiene plomo con una pequeña proporción de plata. Este hallazgo fue posterior a la primera fusión de minerales de cobre que tuvo lugar más al este, aunque es probable que no pasara mucho tiempo entre uno y otro, ya que el mineral de galena tiene un brillo evidentemente prometedor. Puede ser que los primeros en reconocer su potencial metálico fueran fundidores de cobre inmigrantes. Es probable que el descubrimiento de que, sometido a una calcinación prolongada, el plomo acaba quemándose y desapareciendo en su totalidad, dejando un pequeño glóbulo de plata, fuera accidental.

Características químicas

Es un elemento metálico blanco y brillante que conduce el calor y la electricidad mejor que ningún otro metal. Es uno de los elementos de transición del sistema periódico. Su número atómico es 47.

Exceptuando el oro, la plata es el metal más maleable y dúctil. Su dureza varía entre 2,5 y 2,7; es más dura que el oro, pero más blanda que el cobre. Tiene un punto de fusión de 962 °C, un punto de ebullición de 2.212 °C y una densidad relativa de 10,5. Su masa atómica es 107,868.

Desde el punto de vista químico, la plata no es muy activa. Es insoluble en ácidos y álcalis diluidos, pero se disuelve en ácido nítrico o sulfúrico concentrado, y no reacciona con oxígeno o agua a temperaturas ordinarias. El azufre y los sulfuros atacan la plata, y el deslustre o pérdida de brillo se produce por la formación de sulfuro de plata negro sobre la superficie del metal. Las pequeñas cantidades de sulfuro que existen naturalmente en la atmósfera o que se añaden al gas natural doméstico en forma de sulfuro de hidrógeno



Fig. 6: Características químicas de la plata

(H₂S), también deslustran la plata. El sulfuro de plata (Ag_2S) es una de las sales más insolubles en disolución acuosa, propiedad que se utiliza para separar los iones plata de otros iones positivos⁴.

La plata puede ser utilizada en dos formas: como objetos de plata “sólida” y como baño. Los objetos sólidos de plata consisten en aleaciones con otros metales, ya sea para hacer la aleación más dura o para economizar el porcentaje de plata utilizada en la aleación. Los objetos de plata, usualmente contienen cobre como mayor elemento de la aleación y plomo u oro como impurezas, y pueden ser fundidos o trabajados en frío para darle la forma final.

En general, la aleación más común utilizada para producir los objetos son: la llamada “plata fina” con 92,5% *Ag*, 7,5% *Cu*; “coin silver” con 90% *Ag*, 10% *Cu* y “plata eutéctica o aleación de soldadura” con 71,9% *Ag*, 28,1% *Cu*⁵.

Corrosión de la plata

Generalmente se puede encontrar la plata, en su condición metálica; pero también se distribuye en su forma mineral. Dos de los minerales más comunes son la argentita (Sulfuro de plata) y la cerargirita (Cloruro de plata). El sulfuro es de color negro, y el cloruro es de un color púrpura oscuro o también gris oscuro.

En objetos de plata hay una clara distinción entre los productos de corrosión derivados de plata relativamente pura, y los productos de corrosión que provienen de aleaciones con cobre. En el primer caso los productos de corrosión son sulfuro de plata y cloruro de plata; y en el segundo caso los productos de corrosión son cuprita y malaquita. También se debe hacer una distinción entre los productos de corrosión que se encuentran en el núcleo del metal y que no se pueden detectar fácilmente y de aquellos que forman una delgada capa sobre la superficie del metal.

⁴ Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2002. © 1993-2001 Microsoft Corporation.

⁵ *Costa, Virginia*. “The deterioration of silver alloys and some aspects of their conservation”. Reviews in Conservation IIC. N° 2. 2001

A pesar de que la plata es considerada un metal noble, su superficie es muy reactiva. Los átomos no equilibrados en la superficie del objeto, capturan oxígeno fácilmente del ambiente, formando una delgada e irregular capa de óxido. En este estado, si una molécula de sulfuro reducido está disponible en el ambiente cercano al objeto, otra reacción sucederá, en la que se formarán uniones más estables en la superficie. El compuesto resultante es sulfuro de plata (Ag_2S) y una molécula de agua. Inevitablemente, todo el proceso será acelerado por la presencia de humedad.

Este empañado se produce porque la plata reacciona con el sulfuro (S) en un estado reducido de oxidación, por ejemplo en la forma de ácido sulfhídrico (H_2S); para formar sulfuro de plata (Ag_2S), el principal componente del empañado⁶.

Los compuestos sulfurosos de la atmósfera o contenidos en otros productos (pinturas de vitrina, textiles, gomas) son los que ocasionan el empañado de la plata por la formación de una película de sulfuro de plata, pero, en algunos casos, pueden considerarse pátinas a conservar sino alteran el objeto. Pero si esta corrosión está activa, puede llegar a destruir el metal, convirtiéndolo en mineral.

Los objetos de plata, siempre van a contener un porcentaje de cobre, ya que así el metal es más duro (la plata pura es muy suave) y se puede trabajar mejor. Pero al contener cobre, es más fácil que se produzca corrosión por galvanización, en donde primero se corroe el cobre, el cual sube a la capa de plata, y luego se comienza a corroer la plata. Cuando el cobre se comienza a corroer la capa de plata se torna más frágil.

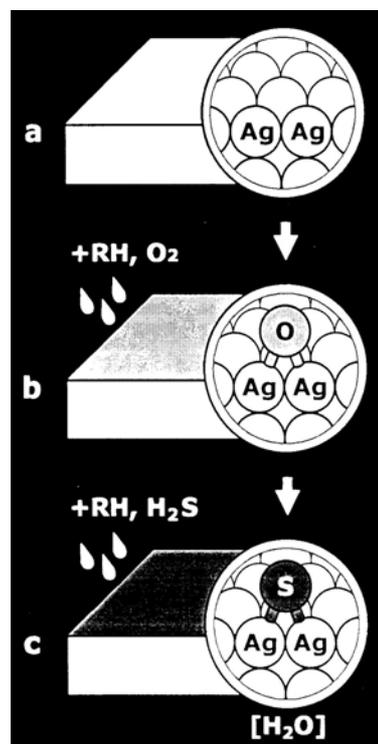


Fig.7: Sucesivas etapas en la formación del empañado: La superficie limpia de la Ag (a) reacciona con oxígeno para formar óxido (b), el cual es transformado en una especie más estable, Ag_2S , por la disociación de una molécula de sulfuro reducido en presencia de humedad (c).

⁶ Sease, Catherine; Selwyn, Lyndsie; Zubiarte, Susana; Bowers, David; Atkins, David. "Problems with coated silver: whisker formation and possible filiform corrosion". *Studies in Conservation* N° 42. 1997

Considerablemente menos investigado que el empañado, el proceso de mineralización ocurre con objetos que han permanecido bajo tierra o mar durante mucho tiempo. Ambos son ambientes ricos en cloruros y el proceso ocurre continuamente, aunque en forma lenta, debido a la gran movilidad iónica de la plata.

Esta condición preserva las marcas dejadas por herramientas, deformación y decoración en los objetos.

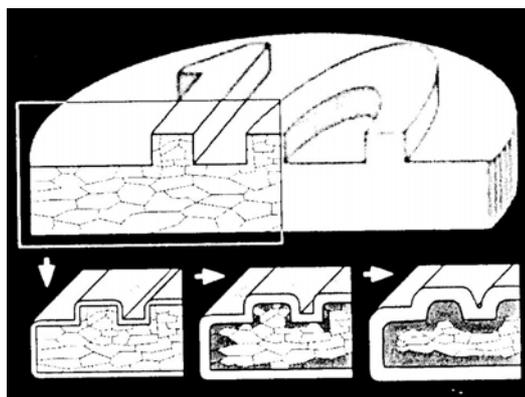


Fig. 8: Proceso de mineralización: la migración de material ocurre tanto hacia adentro como hacia afuera; es frecuente que la superficie original se mantenga.

Cuando objetos de plata han estado enterrados por mucho tiempo en suelos salinos, las capas exteriores tienden a transformarse en cloruros de plata estable (plata córnea) y usualmente tienen una apariencia gris terrosa. El objeto también puede presentar deformación debido a la expansión acompañada del cambio de metal a mineral. Otro factor de importancia es que cuando la plata ha sufrido una continua corrosión puede tener una estructura de las capas discontinua; por lo tanto al remover los productos de corrosión el objeto quedará en un estado muy frágil.⁷

En ambientes marinos, cuando el cobre de la aleación sube a la superficie, se adhiere con arena y carbonatos. Así se formará una capa sobre la superficie original del objeto, que contiene sedimentos y productos de corrosión del cobre (se forma una capa dura de concreción y productos de corrosión).

Debido a que el cobre va desapareciendo por la corrosión, se tendrá, entonces, una superficie con más plata; y al no haber más cobre que “proteja” a la plata, ésta se comenzará a corroer también. Generalmente las aleaciones de cobre y plata están sujetas a corrosión intergranular en ambientes marinos.

⁷ *Plenderleith, H.J; Werner, A.E.A. The Conservation of Antiquities and Works of Art: Treatment, Repair, and Restoration. 2° ed. London, New York: Oxford Univ. Press. 1988*

A pesar de que la plata es uno de los metales más nobles, la presencia de iones cloruros y sulfuros en ambientes marinos, aumenta dramáticamente la reactividad del metal; y en este caso, la formación de capas insolubles como de $AgCl$ y Ag_2S en la superficie de la plata, no proveen protección o resistencia a la corrosión. Cuando artefactos de plata son recuperados del mar, la mayoría presenta capas de productos de corrosión y concreciones⁸.

La mezcla de productos de corrosión y concreciones en objetos de plata, están frecuentemente separadas en dos capas. La capa interior, usualmente de productos de corrosión, va desde la superficie del metal original (o núcleo metálico) hacia la superficie original del objeto. Esta capa no contiene material calcáreo. La capa exterior, generalmente de concreción, se forma desde la superficie original, del objeto hacia el medio circundante. Esta capa de concreción contiene generalmente, material calcáreo y organismos marinos, como también productos de corrosión de plata y cobre.

Los efectos de este proceso de deterioro también se pueden ver en la estructura estratificada de los productos de corrosión. Durante el proceso de mineralización hay una migración de material hacia adentro y hacia fuera. La plata y otros elementos se van hacia fuera; en otras áreas iones como cloruros e impurezas del ambiente se difunden hacia adentro y reemplazan la plata original. Una redistribución toma lugar, y la plata, ahora en la forma de cloruro de plata, ocupa un volumen de aproximadamente el doble del tamaño original. El resultado es que parte del artefacto permanece tosco y áspero y otra parte se extiende más allá de la superficie original⁹.

Los productos de corrosión que encontramos con más frecuencia en objetos de plata provenientes de naufragios, son el cloruro de plata ($AgCl$: Cerargirita); sulfuro de plata (Ag_2S : Argentita; Acantita) y una mezcla de plata con cloruro y bromuro $AgCl/Br$. Los cloruros de plata y bromuros varían de un color negro al gris y púrpura; mientras que

⁸ North, N.A.; MacLeod, I.D. "Corrosion of metals". En: Conservation of Marine Archaeological Objects. Butterworth & Co. England 1987

⁹ Este fenómeno de formación de productos de corrosión, concreción, y estratificación de la plata en ambientes marinos es lo que se puede observar en el plato español que se restauró como parte del proyecto. En el capítulo 5, se explicará mejor este fenómeno de formación de capas en el objeto de plata.

los sulfuros de plata van generalmente de negro al gris oscuro. Los productos de corrosión del cobre (aleado con plata) incluyen, cloruros como paratacamita y atacamita (α y γ $Cu_2(OH)_3Cl$), cuprita (Cu_2O), nantokita ($CuCl$), y calcocita (Cu_2S).

A pesar de que la plata es un material pesado, no parece ser tóxico como el cobre para los organismos marinos. El cobre que está presente en la composición de la plata, puede ayudar parcialmente a pasivar la concreción que lo encapsula (por su efecto biocida¹⁰). De hecho las concreciones producidas en ambientes aeróbicos¹¹ (cloruros de plata) son usualmente verdes en color indicando productos de corrosión del cobre. Estos productos del cobre se mueven desde las capas interiores de la aleación hacia el exterior.

Este tipo de concreciones aeróbicas están unidas a material calcáreo (una mezcla orgánica e inorgánica entre calcita y aragonita: $CaCO_3$). Productos de corrosión del hierro [$FeO(OH)$] son también encontrados con frecuencia en estas concreciones. El hierro proviene normalmente de objetos cercanos que se han corroído.

Las concreciones de la plata formadas en ambientes anaeróbicos¹² (sulfuros de plata) son de color gris y de textura gruesa. Estas consisten principalmente en cobre y sulfuros de plata unidos a un cemento calcáreo. Los artefactos que tienen este tipo de corrosión parecen ser el doble de densos y la capa de productos de corrosión incorpora restos de organismos marinos rodeados de sulfuros. Óxido de cobre, además de plata y cobre puros también se encuentran entre la concreción¹³.

En este tipo de concreciones, la superficie original o la capa que contiene la superficie arqueológica, es una capa negra o gris oscura de cloruros de plata incrustada en la concreción. En muchos casos la única plata que queda en el objeto, puede ser una delgada “galleta” entremedio de capas de productos de corrosión que contienen depósitos de cristales de plata y cobre. Esta superficie original, tal vez ya no contenga la información arqueológica.

¹⁰ Mayores detalles del efecto biocida del cobre se dan en el anexo.

¹¹ Ver glosario.

¹² Ver glosario.

¹³ North, N.A; MacLeod, I.D. *Op. cit.*

Productos de corrosión de la plata

Nomenclatura	Fórmula	Color
Óxido de Plata	Ag_2O	Blanco
Cerargirita	$AgCl$	Violácea
Acantita	Ag_2S	Gris – Negro
Cloruro de plata + bromuro	$AgCl/Br$	Negro-Púrpura

Características concreciones de la plata

Concreciones Aeróbicas

Color: Verde, debido a la presencia de productos de corrosión del cobre.

Composición: Cloruros de plata, Productos de corrosión del cobre, Material calcáreo (calcita y aragonita), Productos de corrosión del hierro.

Concreciones Anaeróbicas

Color: Gris oscuro, debido a la presencia de sulfuros

Composición: Sulfuros de plata, Cobre y sulfuros mezclados con cemento calcáreo, restos orgánicos marinos, óxido de cobre, plata y cobre puros.

b. Bronce

Historia

El bronce, aleación de cobre y estaño, comenzó a producirse alrededor del 1500 a.C. en todo el continente eurasiático. Es probable que el bronce primitivo encontrado en pequeñas cantidades en las antiguas tumbas sumerias provenga de la fusión de minerales relativamente raros que presentan una mezcla natural.

Sin embargo, en Europa había gran abundancia de estaño y cobre. La mayoría de los expertos coinciden en afirmar que, aunque la fusión del cobre era muy practicada (probablemente debido a los contactos con Oriente Próximo), hacia finales del tercer milenio a.C. los minerales de estaño y cobre se aleaban para producir lo que se consideraba una forma superior de cobre (más fluido en caliente y más duro en frío). El bronce era más fácil de colar que el cobre y con él se conseguían mejores herramientas y armas. Pronto se refinó el método de aleación que consistía en fundir el estaño y el cobre por separado y después fusionarlos controlando las proporciones. Los contactos comerciales llevaron el estaño europeo hacia el Este.

Características químicas

El bronce es una aleación de cobre con estaño, por lo tanto daré los antecedentes de ambos elementos.

El Cobre, de símbolo Cu, es uno de los metales de mayor uso, de apariencia metálica y color pardo rojizo. El cobre es uno de los elementos de transición de la tabla periódica, y su número atómico es 29.

Su punto de fusión es de 1.083 °C, mientras que su punto de ebullición es de unos 2.567 °C, y tiene una densidad de 8,9 g/cm³. Su masa atómica es 63,546.



Fig.9: Características químicas del cobre

El cobre tiene una gran variedad de aplicaciones a causa de sus ventajosas propiedades, como son su elevada conductividad del calor y electricidad, la resistencia a la corrosión, así como su maleabilidad y ductilidad.

Las aleaciones más importantes que se pueden hacer con cobre son con arsénico, estaño, antimonio y cinc, y a estas aleaciones se les agrega generalmente plomo. Las aleaciones de cobre, mucho más duras que el metal puro, presentan una mayor resistencia. La aleación del cobre con cinc forma el latón, y el cobre con estaño forma el bronce. A menudo, tanto el cinc como el estaño se funden en una misma aleación, haciendo difícil una diferenciación precisa entre el latón y el bronce.

El Estaño, de símbolo Sn, es un elemento metálico que fue utilizado desde la antigüedad. Pertenece al grupo 14 (o IV A) del sistema periódico y su número atómico es 50. El estaño es muy dúctil y maleable a 100 °C de temperatura y es atacado por los ácidos fuertes.

El estaño tiene un punto de fusión de 232 °C, un punto de ebullición de 2.260 °C y una densidad relativa de 7,28. Su masa atómica es 118,69.

Ordinariamente es un metal blanco plateado, pero a temperaturas por debajo de los 13 °C se transforma a menudo en una forma alotrópica (claramente distinta) conocida como estaño gris, que es un polvo amorfo de color grisáceo con una densidad relativa de 5,75. Debido al aspecto moteado de los objetos de estaño que sufren esta descomposición, a esta acción se la denomina comúnmente enfermedad del estaño o peste del estaño. El mineral principal del estaño es la casiterita (o estaño vidrioso), SnO₂.



Fig. 10: Características químicas del estaño

El bronce es cualquiera de las distintas aleaciones compuestas sobre todo de cobre y estaño. Ni los bronce modernos ni los antiguos contienen sólo estos dos metales. Los griegos y los romanos añadieron cinc, plomo y plata a las aleaciones de bronce para usarlas en herramientas, armas, monedas y objetos de arte. Los componentes del bronce varían; así, cuando contiene al menos un 10% de estaño, la aleación es dura y tiene un punto de fusión

bajo. Los nombres de las variedades de bronce provienen de los componentes adicionales, como el bronce al aluminio, el bronce al manganeso y el bronce al fósforo. El bronce es más resistente y duro que cualquiera otra aleación común.

Corrosión del bronce

Las superficies estables en objetos de cobre y sus aleaciones se caracterizan por una amplia gama de pátinas. Las pátinas estables, son generalmente coherentes, adherentes y lisas. El color de estas puede variar desde el rojo, café, negro y azul, hasta tonalidades en verde. Las capas de corrosión estables que se desarrollan en objetos arqueológicos de cobre, pueden aparecer ásperas e irregulares. Las pátinas pueden estar formadas de Cuprita (oxidación del cobre de color rojo púrpura) como los carbonatos básicos verdes o azules (malaquita o azurita) son estables, sino contienen cloruros, y protegen al metal subyacente de la corrosión progresiva. Pero en presencia de cloruros –los cuales reaccionan con una humedad elevada- continúan la corrosión, volviendo la superficie pulverulenta.

Esta corrosión activa de las aleaciones de cobre se caracteriza por el rápido desarrollo de un polvo de color verde claro, que brota como manchas o pústulas en la superficie y puede rodear un objeto no alterado. Este tipo de corrosión es más habitual en las aleaciones de cobre arqueológicos y se conoce como “Enfermedad del Bronce”. La enfermedad del bronce, se produce cuando la humedad relativa es elevada (55% y más). La reacción de corrosión es progresiva y puede causar grandes daños con rapidez¹⁴. Este tipo de corrosión se presenta en objetos que proceden generalmente, de ambientes en donde existen cloruros y humedad, como pueden ser contextos costeros, submarinos, ciertos tipos de suelos, etc. La mayoría de los cloruros son solubles en agua y en presencia de humedad forman soluciones capaces de conducir la electricidad, llamadas electrolitos. Al estar en contacto con la superficie metálica del cobre, las soluciones de cloruros ocasionan procesos de corrosión electroquímica, que dan por resultado la formación de atacamita [$\alpha\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$] y nantokita [CuCl]. Tanto la atacamita como la nantokita son productos de corrosión activos, es decir que continúan promoviendo procesos de corrosión. Los cloruros de cobre atraen la humedad del ambiente y reaccionan con el agua para formar óxidos de cobre (cuprita y tenorita) y ácido clorhídrico. El ácido clorhídrico disuelve el

¹⁴ Notas del ICC 9/1 Cómo reconocer la corrosión activa. Canadian Conservation Institute. Ottawa 1995

metal sano que se encuentra debajo de las capas de productos de corrosión, para formar nuevamente cloruros de cobre. Estos cloruros de cobre atraen la humedad, se disuelven, forman óxidos de cobre y ácido clorhídrico; y así el proceso de corrosión se hace cíclico, hasta la completa destrucción del metal.

En ambientes marinos, el bronce, está sujeto a la corrosión y ataque por cloruros y por bacterias reductoras de sulfatos, sin embargo, de todas maneras es considerado bien resistente a la oxidación. La razón de esta resistencia a la corrosión es la pátina eléctricamente pasiva, o productos de corrosión, que se forman en la superficie de las aleaciones del cobre. Desde el óxido de cobre (café oscuro) como la tenorita y la cuprita, hasta la paratacamita (azul oscuro y verde) e hidróxidos de cobre; estos productos de corrosión forman una barrera para la actividad eléctrica y biológica en la superficie del artefacto. Estas capas de corrosión, limitan tanto la oxidación como la formación de concreciones. Pero esta capa de protección se puede romper por diversos factores, permitiendo que el objeto comience a corroerse.

En el caso de la formación de concreciones, cobre y sus aleaciones tienen un efecto biocida, es decir, la superficie del cobre tiene una naturaleza tóxica y en ambiente marino, hace que los organismos no se posen sobre esta, prefiriendo otros metales. Pero esta capa tóxica está sujeta a oxidación, a degradación por el efecto del agua marina y la abrasión. Por lo tanto esta toxicidad del cobre puede ir cambiando gradualmente al transcurrir los años, transformándose finalmente esta capa tóxica en una capa que pueda soportar organismos marinos, formándose de esta manera capas de concreción.

Características productos de corrosión del cobre y sus aleaciones

1. Óxidos e Hidróxidos

Durante la corrosión de metales arqueológicos e históricos, predomina el óxido de cobre en la forma de cuprita. El otro óxido de cobre, menos común es la tenorita.

.Cuprita: Esta tiene un color rojo oscuro o rojo anaranjado. Los colores que presenta la cuprita van a depender de las impurezas que contenga y del tamaño de sus partículas. La cuprita cristaliza en un sistema cúbico, y estos cristales se observan generalmente en

superficies de bronce corroído. Cuando el metal reacciona con el gas del ambiente, los óxidos metálicos son los primeros en formarse, desarrollándose un film denso sobre la superficie del metal. Este film, sin embargo, retarda el proceso de corrosión. Durante el desarrollo de este film de óxido de cobre, los átomos de oxígeno inmigran, y los átomos del metal emigran. La cuprita, a menudo, preserva importantes detalles de la superficie original del objeto.

Tenorita: La tenorita, a veces llamada melaconita en textos antiguos, es usualmente de color negro o gris metálico oscuro. Como la cuprita, la tenorita es insoluble en agua. La tenorita cristaliza en un sistema monocíclico, y puede formarse como depósitos cristalinos en la superficie de objetos corroídos. Cuando aparece la tenorita; primero se forma una capa de cuprita, que al ir desarrollándose, va exhibiendo diferentes colores. A medida que el film continúa agrandándose, pequeñas manchas negras de tenorita van apareciendo. A medida que la densidad del film va aumentando, la tenorita negra se expande sobre toda la superficie del objeto. La oxidación de la mayoría de los compuestos de cobre en presencia de aire, producirá eventualmente tenorita en presencia de altas temperaturas. Cuando un objeto presenta tenorita, usualmente indica que el objeto ha sido expuesto al calor (al fuego por ejemplo) antes o durante el enterramiento.

TABLE 2.1 CHARACTERISTICS OF SOME COPPER OXIDE AND COPPER HYDROXIDE MINERALS

MINERAL NAME	FORMULA	CRYSTAL SYSTEM	COLOR	MOHS HARDNESS
cuprite	Cu_2O	cubic	submetallic red	3.5 – 4
tenorite	CuO	monoclinic	metallic gray black	3.5
spertiniite	$CuO(OH)_2$	often amorphous	blue green	1 – 2?

Tabla1: Características de óxidos de cobre e hidróxidos de cobre¹⁵.

¹⁵ Scott, David. Copper and Bronze in Art. Corrosion, colorants, conservation. The Getty Conservation Institute. Los Angeles. California 2002. Pág. 82

2. Carbonatos de cobre básicos

En este grupo los productos más importantes, o que se encuentran con más frecuencia son la malaquita y la azurita. Estos dos minerales pueden ser los principales componentes de las pátinas del bronce que se pueden formar en los enterramientos, durante la exposición al medio ambiente, en ambientes marinos o durante las postexcavaciones debido a la presencia de otros minerales. Las formas cristalinas de la azurita y la malaquita se muestran a continuación:

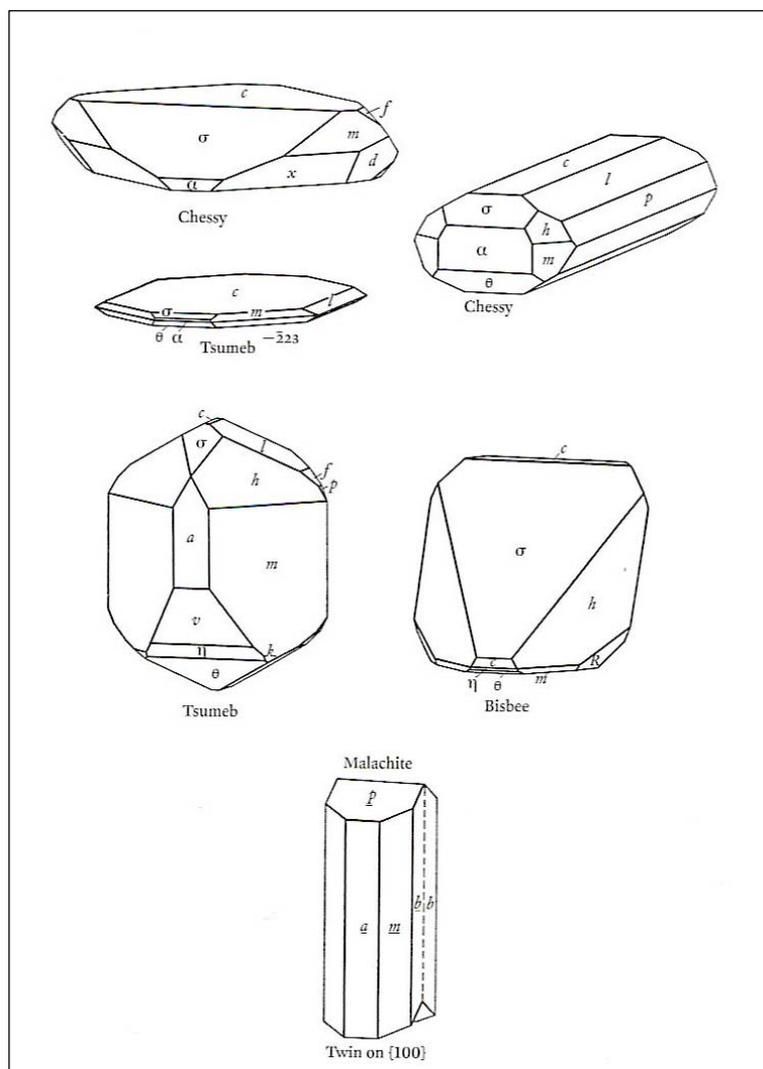


Fig.11: Formas cristalinas de la malaquita y azurita¹⁶

¹⁶ Scott, David. Op cit. Pág 101

Malaquita: La malaquita ocurre como producto de corrosión en objetos provenientes de excavaciones. A pesar de que la malaquita es un componente menor de la pátina que se forma en objetos expuestos al medio ambiente, puede ser un componente muy importante en las pátinas que se desarrolla durante la corrosión del cobre proveniente de excavaciones, en donde el primer producto que se forma adyacente al metal es la cuprita; la malaquita usualmente se forma sobre esta capa inicial de cuprita. Cristales bien formados de malaquita son bastante raros, y generalmente las caras de los cristales son estriadas. Bajo el microscopio los cristales de malaquita pueden ser de un verde fuerte o al contrario de un verde suave, y generalmente muestran ángulos internos y externos bastante agudos. Como producto de corrosión, la malaquita puede tener varias formas: como cristales bien aguzados, curvos, cristales fibrosos, como agregados fibrosos, o como pequeñas fibras paralelas unidas a los cristales. Incluso en un mismo objeto puede haber distintos tipos de cristales.

Azurita: En productos de corrosión, la azurita está generalmente asociada con malaquita, e incluso con cuprita. La Azurita se puede formar por la acción de aguas carbonatadas en otros minerales de cobre o por la reacción de soluciones de cloruro de cobre o sulfato de cobre con calcita. Ambos, malaquita y azurita se forman como productos de corrosión cuando el cobre entra en contacto con agua salina o con agua formada por condensación en la superficie y cargada con dióxido de carbono. La azurita es menos estable que la malaquita y se puede transformar en la presencia de humedad a través de la pérdida de dióxido de carbono. La azurita como producto de corrosión rara vez forma una pátina coherente, sin embargo puede ocurrir. Generalmente, pequeños cristales o parches de azurita se encuentran en asociación con malaquita y cuprita. El tamaño de las partículas de azurita es entre 5 y 40 μm .

TABLE 3.1 CHARACTERISTICS OF SOME BASIC CARBONATE MINERALS

MINERAL NAME	FORMULA	CRYSTAL SYSTEM	COLOR	MOHS HARDNESS
malachite	$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$	monoclinic	pale green	3.5 - 4
azurite	$2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$	monoclinic	vitreous blue	3.5 - 4
georgeite	$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$	monoclinic	pale blue	?
chalconatronite	$Na_2Cu(CO_3)_2 \cdot 3H_2O$	monoclinic	greenish blue	3 - 4
rosasite	$(Cu, Zn)_2 CO_3 (OH)_2$	monoclinic	bluish green	4.5
aurichalcite	$(Cu, Zn)_5 (CO_3)_2 (OH)_6$	orthorhombic	pearly pale green	1.2
claraite	$(Cu, Zn)_3 (CO_3)(OH)_4 \cdot 4H_2O$	hexagonal	translucent blue	2

Tabla 2: Características de algunos carbonatos básicos ¹⁷

3. Cloruros

Uno de los grupos más problemáticos para la estabilidad del bronce son los cloruros de cobre. La presencia de cloruros de cobre [$CuCl$] como producto de corrosión adyacente a la superficie del metal puede crear graves problemas para la estabilidad del objeto. La lenta y progresiva corrosión del bronce, conocida como “enfermedad del bronce” es usualmente atribuida a los cloruros.

.Nantokita: Este mineral se presenta en la forma de gránulos. La nantokita, usualmente tiene colores gris o gris verdoso, también es translúcida y de consistencia cerosa.

.Atacamita: Los cristales de atacamita van desde el color verde esmeralda hasta verde oscuro. No es raro ver cristales de atacamita aislados en lugar de continuos, en material arqueológico.

¹⁷ Scott, David. *Op cit.* Pág 102

Paratacamita: Ésta se encuentra frecuentemente en la forma de segunda capa de productos de corrosión sobre la superficie de la pátina, y su consistencia es de un polvo verde claro. También se puede encontrar como pústulas debido a la transformación de la nantokita.

TABLE 4.1 CHARACTERISTICS OF SOME COPPER CHLORIDE MINERALS

MINERAL NAME	FORMULA	CRYSTAL SYSTEM	COLOR	MOHS HARDNESS
nantokita	$CuCl$	cubil	pale green	2.5
atacamita	$Cu_2(OH)_3Cl$	orthorhombic	vitreous green	3 – 3.5
paratacamita	$Cu_2(OH)_3Cl$	rhombohedral	pale green	3
clinoatacamita	$Cu_2(OH)_3Cl$	monoclinic	pale green	3
botallackite	$Cu_2(OH)_3Cl$	monoclinic	pale bluish green	3
anarakite*	$(Cu, Zn)_2(OH)_3Cl$	rhombohedral	light green	3

* Since recent research suggests that anarakite is actually zincian paratacamite, the name *anarakite* is now regarded as superfluous.

Tabla 3: Características de algunos cloruros de cobre¹⁸

Otros productos de corrosión, menos comunes, que podemos encontrar en las aleaciones de cobre son:

4. Sulfatos de Cobre: Los sulfatos de cobre son importantes como productos de corrosión primarios en objetos de aleaciones de cobre expuestos en atmósferas contaminadas en ambientes urbanos. Entre los sulfatos de cobre podemos encontrar: brocantita [$Cu_4SO_4(OH)_6$], antlerita [$Cu_3SO_4(OH)_4$] y la bonatita [$CuSO_4 \cdot 3H_2O$] entre otros.

¹⁸ Scott, David. *Op cit.* Pág 123

5. Sulfuros de Cobre: Los sulfuros se encuentran en corrosión que varía desde pátinas formadas en ambientes pobre en oxígeno, ambientes acuosos, hasta empañado causado por elementos contaminantes en museos. Entre los sulfuros podemos encontrar a la calcocita (Cu_2S) y la covelita (CuS).

6. Fosfatos y Nitratos de Cobre: Los fosfatos de cobre generalmente no se encuentran como productos de corrosión excepto en ambientes especiales como asociados a huesos enterrados o climas áridos. Los nitratos de cobre son raros como minerales, pigmentos o productos de corrosión ya que son solubles en agua. Sin embargo nitratos básicos se pueden encontrar como productos de corrosión. El mineral más común es la sal básica gerhardtita [$Cu_2(NO)_3(OH)_3$], la cual se ha encontrada asociada con malaquita y atacamita en depósitos masivos de cuprita.

4.3 Conservación de objetos de metal submarinos en el sitio de excavación

En el artículo, *On-site storage and conservation*¹, Pearson nos explica los procedimientos para conservar diversos objetos luego de ser excavados desde un naufragio. En este capítulo sólo se tratará el tema de metales, en especial plata y bronce ya que concierne a los objetos que restauré.

Si un objeto es encapsulado por concreciones, al estar enterrado en el fondo del mar, las probabilidades de que este objeto se dañe disminuyen al pasar el tiempo y eventualmente el deterioro puede detenerse. En este punto el objeto habrá alcanzado un equilibrio con el medio ambiente, pero al ser excavados se comienza a alterar este estado de equilibrio. El oxígeno y el agua fresca entrarán en contacto con el objeto, y la alteración comenzará. Por lo tanto al excavar restos de un naufragio, el arqueólogo deberá estar atento y conciente de que los objetos que están siendo sacados del sitio se comenzarán a deteriorar. Esto significa que estos objetos al ser excavados y elevados a la superficie, deberán ser puestos inmediatamente en un ambiente estable, hasta que el trabajo de conservación pueda comenzar.

Pearson nos señala en este artículo que “Excavación sin conservación es vandalismo”², se coloca esta frase ya que muchos arqueólogos han admitido que ellos han sido la causa del deterioro y pérdida de objetos que han sido removidos del mar, por mala conservación.

Al levantar un objeto desde el sitio de la excavación a la superficie se debe tener mucho cuidado y seguir varios pasos para hacerlo de una manera correcta. El objeto debe ser fotografiado e inventariado para luego ser conservado en el lugar y almacenado en el ambiente correcto, después debe ser embalado y transportado al laboratorio de conservación.

Una vez que el objeto se ha levantado del lugar es importante que mientras se esté fotografiando, dibujando o inventariando, se mantenga con las condiciones ambientales

¹ *Pearson, C. On-site storage and conservation*. En: Conservation of Marine Archaeological Objects. Butterworth & Co. England 1987

² La frase que se presenta en el artículo es: “Excavation without conservation is vandalism”.

adecuadas para prevenir el deterioro. En la mayoría de los casos, mantener el objeto mojado durante este proceso, es suficiente para prevenir deterioros.

Si el objeto presenta mucha concreción, esta debe removerse para que se pueda llevar a cabo el proceso descrito anteriormente. Sin embargo esta remoción puede provocar daños irreparables, sobre todo si es realizado por personas inexpertas. Por este motivo los arqueólogos deben estar al tanto de las propiedades y posibles deterioros que los artefactos rescatados del fondo marino puedan sufrir.

La tarea del cuidado de los objetos una vez que han sido excavados está a cargo del conservador, quien deberá ser capaz de diferenciar entre los distintos tipos de materiales incluso aquellos que están cubiertos por concreciones, sedimentos calcáreos o flora marina. Además debe llevar a cabo los procedimientos de limpieza de los objetos, preparar y mantener un medio ambiente adecuado de almacenamiento para los diferentes materiales, asistir en la catalogación, inventariado y fotografiado; y finalmente, ser responsable del embalaje y transporte al laboratorio de conservación.

. Etiquetado: Todos los objetos, una vez excavados, se les da un número de registro, son etiquetados y luego fotografiados. Las técnicas de etiquetado se deben realizar con materiales permanentes y que no dañen el objeto. La técnica más usual es atar al objeto una etiqueta con el número de registro; esta etiqueta debe ser de un material permanente (no debe corroerse o deteriorarse con soluciones que se usen para el almacenamiento.)

. Documentación: La documentación debe incluir fotografías, conservación y almacenaje de los objetos; además de fechas de excavación, el ambiente de almacenaje y detalles o cambios en el medioambiente del objeto, también debe incluir la remoción de las concreciones, la conservación preliminar etc.

. Remoción de las concreciones: Muchos objetos excavados están cubiertos totalmente por concreción marina. Es muy importante que estas concreciones sean examinadas cuidadosamente y en algunos casos deben abrirse. Si se sabe que tipo de objeto contiene la concreción, o más importante, de que material está hecho, entonces es recomendable no remover las concreciones en el sitio de excavación. Los metales como hierro, bronce y

plata comúnmente retienen la forma original del objeto en las capas de corrosión superficiales. Si la concreción es removida, sin usar el equipo adecuado o sin un análisis adecuado –como rayos x- entonces, muchos detalles se pueden perder.

Muchas veces no es posible hacer análisis antes de remover las concreciones, sin embargo, en la mayoría de los casos estos bloques de concreción deben removerse, ya que es peligroso dejarlos que se espongan a la atmósfera. Estas concreciones se agrietarán, romperán y secarán rápidamente, por lo tanto cualquier material que se encuentre dentro de estas concreciones se dañarán y esto no será evidente hasta que la concreción se abra.

Hay una gran variedad de herramientas que se pueden utilizar para remover las concreciones. La remoción mecánica es mucho más fácil y segura que los tratamientos químicos. En cualquiera de los casos, se debe tener mucho cuidado durante el proceso de remoción para no dañar la superficie del objeto, y si se llegara a utilizar ácidos para remover las concreciones, el proceso se debe hacer sólo en el laboratorio y no en el sitio de excavación.

Durante este proceso es recomendable mantener la concreción mojada, para evitar los problemas que pueda acarrear si esta se llega a secar. Cuando la concreción es difícil de remover (por ejemplo si está incrustada en la superficie del objeto) ésta se debe dejar para removerla en el laboratorio.

En general los metales se pueden encontrar en un buen estado de preservación. Pero también pueden estar seriamente deteriorados: este es el caso de los objetos de hierro que en ambientes marinos son tremendamente inestables, y a menos que se trate inmediatamente y sea colocado en un ambiente adecuado se va a seguir corroyendo, en muchos casos con resultados desastrosos. Por ese motivo es extremadamente importante que los objetos de hierro no se dejen secar una vez que han sido excavados. Estos se pueden mantener mojados con agua de mar por unas horas o un día. Por períodos más largos se requerirán sistemas de conservación más específicos. El daño de objetos de hierro provenientes de excavaciones, son provocados por agentes como el oxígeno, iones de cloruros y humedad que causan el deterioro acelerado. Es posible que estos puedan ser eliminados o controlados con un ambiente adecuado.

Cobre: En el caso del cobre y sus aleaciones, es raro encontrarlos con una gran cantidad de concreción debido a su naturaleza tóxica. Sin embargo las aleaciones se pueden deteriorar por mineralización por donde una o más fases se han disuelto dejando una estructura débil y porosa, esto se llama decincificación (en el latón) o destanificación (en el bronce). El mayor problema con el cobre y sus aleaciones es la exposición a la atmósfera, en donde el objeto puede ser afectado por el oxígeno, la humedad y los iones cloruro. Los cloruros que tal vez hayan penetrado el objeto deteriorado pueden iniciar el proceso de corrosión cíclico conocido como enfermedad del bronce. Por lo tanto esto debe ser controlado.

Para almacenar objetos por muchos días (mientras estos son trasladado al laboratorio por ejemplo), se deben colocar en un ambiente más bien seco (45% HR).

Para períodos de almacenaje más largos Pearson recomienda lo siguiente:

1. Para objetos grandes y pequeños, se debe almacenar en una solución de sodio sesquicarbonato en agua fresca (5% v/v). Este proceso no se debe hacer por más de un año, ya que la corrosión puede comenzar. Otra alternativa es colocar los objetos en una solución de benzotriazol (BTA) en agua (1% v/v).

2. Para objetos pequeños un medioambiente completamente seco parará el ciclo de la enfermedad del bronce. Esto se puede lograr con un desecante como el silica gel. El ambiente debe ser de un 15% de humedad relativa.

Si el objeto se deja almacenado en solución de sodio sesquicarbonato y hay presencia de concreciones, no es necesario removerlas. Sin embargo si el tratamiento que se va a aplicar al objeto, es de mantenerlo en un ambiente seco, las concreciones deben removerse ya que estas podrían ocultar agua y cloruros.

Plata: A pesar de que los objetos de plata están sujetos a corrosión y erosión provocada por el agua, estos no son afectados por la atmósfera una vez que son excavados y llevados a la superficie. Por lo tanto no se necesita un almacenaje especial para estos objetos, solo se los lava con agua fresca y se dejan secar. Si los objetos presentan signos de deterioro avanzado

debido, por ejemplo a la aleación de la plata con el cobre, se deben dejar en una solución de BTA con agua al 1% v/v.

Para remover las concreciones de la plata se debe tener mucho cuidado, debido a que generalmente, el metal que se encuentra bajo la concreción está mineralizado dejando una estructura quebradiza y porosa, que puede ser dañada fácilmente.

5. Conservación y restauración de objetos de plata y bronce

5.1 Candado y llave de bronce chinos

Ficha Técnica Candado

I. ESTADO GENERAL DEL OBJETO

A. Examen del objeto: Candado

1. Descripción general del objeto

a) Nombre o designación: Candado

b) Material: Bronce

c) Dimensiones: *Largo:* 9,1 cm. *Ancho:* 3,1 cm.

d) Peso: 92 gramos

e) Forma: El candado tiene forma rectangular, y en uno de sus bordes presenta una abertura de forma también rectangular. Cerrando este rectángulo se encuentra una varilla de bronce, la cual es parte del mecanismo que abre y cierra el candado. En el extremo superior del candado (en el lugar donde se encuentran las concreciones) se observa una pequeña abertura, la cual nos hace suponer que es por donde se debe introducir la llave para poder abrir el candado. El candado en su interior es hueco y contiene todo el sistema de abertura, por intermedio de hebillas.

f) Técnicas de decoración: El candado no presenta ninguna técnica de decoración, pero sí se puede observar (bajo microscopio) en su superficie líneas delgadas paralelas entre sí, producto de su manufactura.

g) Rastros de fabricación o de utilización: De acuerdo a la historia del objeto, estos candados eran utilizados para cerrar baúles o puertas. Su función era meramente utilitaria y no decorativa.



Fig.1: Fotografías candado por el anverso y el reverso



Fig.2: Extremos del candado. En la fotografía de arriba podemos observar un pequeño orificio que nos hace suponer que por ahí se introduce la llave. En la fotografía inferior se observan unas manchas blancas que corresponden a carbonatos.

h) Inscripciones, marcas, sellos: No se observaron marcas o sellos

i) Restauraciones anteriores: Aparentemente el candado ha sido uno de los pocos objetos que llegaron al atelier sin haber sido tratados. Sólo se le hizo una desalinización al momento de extraerlo del mar, por esta razón el candado no presenta corrosión activa.

El candado permaneció en Filipinas antes de venir a Suiza. Se sabe que el tratamiento que se le dio fue de desalinización: primero el candado se mantuvo con agua de la llave, luego se cambió el agua de llave por agua destilada y luego se dejó secar.

2. Naturaleza de los materiales presentes

a) Metal: El metal del cual está compuesto el candado es bronce. Es decir es una aleación de cobre con estaño. Debido a que no contamos con el equipo para realizar análisis, no podemos saber con exactitud la proporción exacta de cada metal, o si la aleación contiene algún otro metal. Por lo tanto sólo podemos hacer un análisis visual con el apoyo de Olivier Berger.

No hay presencia de materiales orgánicos u de otro tipo de materiales. Si se observó en algunas partes del candado, presencia de rastros de corrosión de hierro, lo que se podría explicar por corrosión galvánica proveniente de otros objetos, o porque tal vez dentro del mecanismo del candado se encuentre alguna pieza de hierro.

3. Descripción de alteraciones mecánicas

a) Deformaciones: El candado no presenta deformaciones o alteraciones.

b) Desgaste o deterioro: El lugar en donde se encuentra el sistema de apertura del candado (en uno de los extremos) está bastante desgastado, por lo que se tiene el peligro que esta parte se rompa.

c) Fragmentación: No presenta fragmentos



Fig. 3: Pérdida de metal debido a la abrasión provocada por el mar.

d) Estado físico del metal: A pesar del bloque de concreción y de algunos productos de corrosión, el estado físico del metal es bastante bueno. Sólo en el lugar donde va inserta la varilla que abre y cierra el candado, se observa pérdida de metal en donde los bordes están muy inestables.

Después de analizar el metal bajo el microscopio se observó que debajo de la capa de productos de corrosión y concreto, el metal se encuentra en buenas condiciones mecánicas. Donde no había bloque de concreto, el metal fue afectado por la corrosión (el bloque de concreto sirvió de alguna manera de protección) observándose un poco de pérdida de la superficie original.

4. Descripción de la concreción:¹

El bloque de concreción, está formado por carbonatos, arena, piedrecillas e incluso se ven incrustados pequeños caracoles. A pesar de que al manipular el candado se van desprendiendo algunas partes de este bloque —el cual es bastante pulverulento— demostró ser bastante duro y grueso en su consistencia. Este tipo de concreción es una mezcla entre arena, piedras y fragmentos de conchas; es un tanto poroso.



Fig 4 : Bloque de concreto

Incrustado en este bloque se observó productos de corrosión del hierro, el cual se muestra en la figura 4, en donde vemos un pequeño círculo de color rojo. Esto se debe, probablemente, a que objetos de hierro se corroyeron cerca de este objeto de bronce.

Para comprobar si estamos en presencia de carbonatos, se realizó una prueba de identificación de carbonatos con ácido clorhídrico (Caley, Earle. London 1964). Esta prueba dio como resultado la presencia de carbonato de calcio².

¹ Para mayor información sobre concreciones marinas referirse al anexo.

² El detalle de este análisis se encuentra en el punto II. Letra B.

5. Descripción de la corrosión

En el candado podemos observar dos tipos de deterioro: por un lado, se tiene en uno de los extremos, un bloque de concreto que cubre casi el 50 por ciento de la superficie del candado; y por otro, observamos sobre toda la superficie productos de corrosión.

Bajo la capa de concreción (entre la concreción y la superficie original) se encontraron restos de un tipo de producto de corrosión bastante duro, y de un color negro brillante. Debido a su consistencia, a lo compacto de esta capa y al color, se dedujo que se podría tratar de Óxido de hierro, en la forma de Goetita³ ($Fe_2O_3 \cdot H_2O$). Además se encontraron restos en una cantidad muy mínima de corrosión de color anaranjado típico del hierro. Esto nos llevó a dos posibles hipótesis: este producto de corrosión del hierro podría venir de otro objeto que se encontraba cerca del candado en el naufragio, produciéndose corrosión por galvanización; o que el mecanismo interno del candado pueda tener partes hechas de hierro.

Se analizó, además, la superficie del metal que estaba libre del bloque de concreto bajo el microscopio, observándose corrosión por cloruros de cobre inactivos (se encontró zonas de color blanco y verde-azul claras, que se caracterizan por ser brillantes y un tanto cerosas; esto es característicos de los cloruros), óxido de cobre (en la forma de cuprita, de color café) y carbonato de cobre. Los colores que predominan en los productos de corrosión son el blanco, café, verde claro y en algunas zonas el azul.

A pesar de encontrarse cloruros en el candado, estos no están activos; en general, no se observó ningún signo –como pérdida de densidad del metal, debilidad de la estructura o productos de corrosión que se desprendan del candado- en el objeto que nos indique un proceso de corrosión activos. Esto, debido probablemente a que al momento de extraer el candado del mar, se le hizo un tratamiento de conservación provisorio, para proteger al objeto de deterioro por el brusco cambio de ambiente.

³ Esta hipótesis se hizo sólo en base a la observación del microscopio 10x.

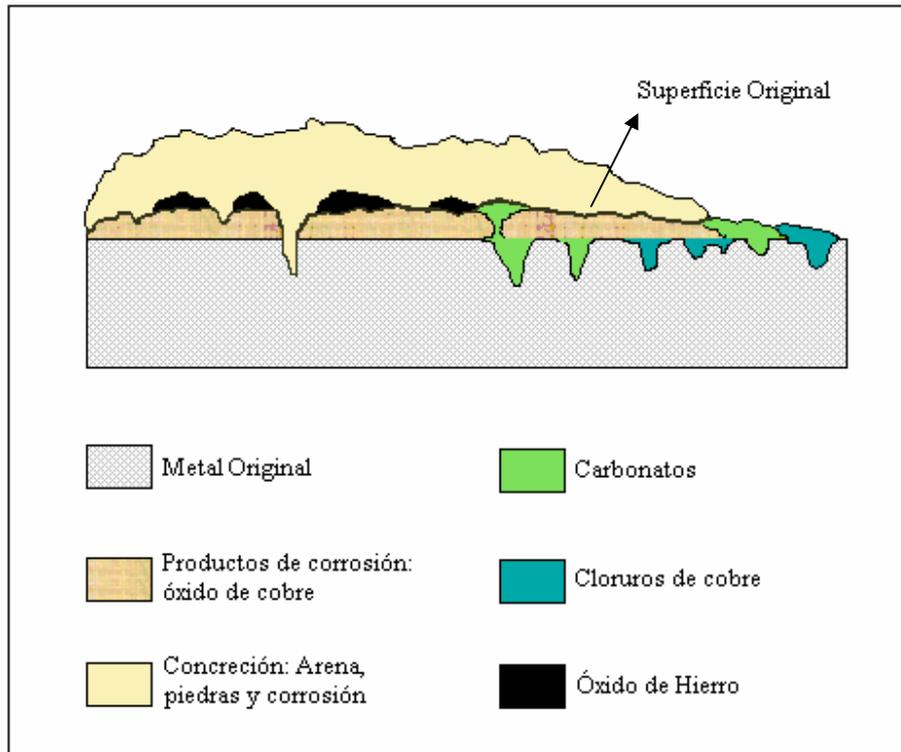


Fig.5: Corte estratigráfico tangencial de las diferentes capas de corrosión en el candado. Podemos observar además la superficie original, la cual está sustentada por los productos de corrosión, en su mayoría óxidos de cobre.

Estas capas de corrosión son poco densas, y no son homogéneas. En algunos sectores se observaron pequeños pits –los cuales se produjeron por los cloruros que alguna vez estuvieron activos en el objeto- que en su interior contienen carbonatos.

A nivel general el metal está en buenas condiciones, sólo en el lugar donde va inserta la varilla se observa pérdida de metal –probablemente producto de la corrosión y de la abrasión provocada por arena en el fondo marino.

A nivel microscópico se observan algunas pérdidas y pequeños orificios debido a los productos de corrosión, en especial por la acción de los cloruros. Pero estas pérdidas son mínimas y no afectan a la estructura del metal.

En cuanto a la superficie original, esta se encuentra inmediatamente bajo la capa de concretación y corrosión, aunque ésta no es homogénea, tiene pequeños grietas en donde podemos encontrar productos de corrosión como cloruros que llegan hasta el metal. En el lugar donde se encontraba el bloque de concreto, la superficie original se mantuvo (que es de un color café oscuro) y no se alteró mayormente. Pero en el lugar donde no había

concreto, la superficie original no es homogénea y en algunas partes se observó pérdida, quedando sólo el metal original, carbonatos, cloruros y cuprita.

B. Estudio Documental

1. Naturaleza y estatus del objeto

a) Nombre: Candado chino

b) Número de inventario actual: 4521a

c) Estatus jurídico del objeto: propietario actual, disposiciones particulares: el propietario actual de las piezas es el señor Franck Goddio. Las piezas se encuentran en tránsito en Suiza (Ginebra), para luego ser transportadas –después de la restauración- a Portugal.

2. Historia del Objeto

a) Procedencia, lugar de origen y fecha propuesta: El candado fue encontrado en el sitio del naufragio del galeón español San Diego. Este candado proviene de China, de donde también provienen otros innumerables objetos de procedencia asiática, esto debido a los intercambios comerciales que se llevaban a cabo en esa época; y es así como en el galeón se encontraron objetos procedentes de China, México, Japón, Portugal y España. El candado, como los demás objetos, están fechados en el siglo XVI.

b) Autor, fabricante, taller (marcas, firmas, inscripciones, sellos de fabricación): No se encontraron sellos, firmas o marcas en el objeto.

c) Catálogo de origen: El San Diego. Un tesoro bajo el mar. Editado por Compañía Española de Petróleos, S.A. CEPSA. Madrid 1995.

d) Propietario anterior: No ha habido ningún propietario anterior al Sr. Franck Goddio.

e) Contratos, reportes (reparaciones, restauraciones, etc.): Este objeto fue estabilizado en Filipinas, probablemente en el Museo Nacional.

f) Publicaciones (libros, catálogos de exposición, catálogo de ventas, etc.):

- El San Diego. Un tesoro bajo el mar. Editado por Compañía Española de Petróleos, S.A. CEPSA. Madrid 1995.

- Piezas Arqueológicas de la Nao San Diego en el Museo Naval de Madrid. Lunweg Editores S.A. Madrid 1999.
- El Primer y último combate del San Diego. Revista española de defensa N° 142 Diciembre 1999.
- Die Schätze der San Diego. *Jean-Paul Desroches, Gabriel Casal, Franck Goddio*. Berlin, Argon, 1997.
- Treasures of the San Diego. *Jean-Paul Desroches, Franck Goddio and Gabriel Casal (editors)*. Association Francaise d'Action Artistique, Paris France 1996.
- Das Geheimnis der San Diego. *Franck Goddio*. Schweizer Verlagshaus, Zürich 1996.
- Das Geheimnis der San Diego. Geschichte u. Entdeckung eines im Südchinesischen Meer versunkenen Schatzes. *Franck Goddio*. Schweizer Verlagshaus, Zürich 1994.
- SAN DIEGO, An Account of Adventure, Deceit, and Intrigue. In National Geographic Magazine, volume 186, No.1, July 1994. *Franck Goddio*. Washington. 1994.
- LE MYSTERE DU SAN DIEGO - Histoire et découverte d'un trésor englouti en mer de Chine. *Franck Goddio*. Robert Laffont. 1st Ed. Paris. 1994.

g) Contexto de descubrimiento: El candado fue encontrado junto con otros objetos pequeños entre los restos del San Diego. Entre ellos se encontraron 10 llaves, 12 candados, algunas empuñaduras de aleación de cobre y fragmentos de chapado de madera negra brillante recubierta por láminas de oro; los cuales sería probablemente, los restos de cofres o baúles.

3. Función del objeto

a) Función de origen: El espacio interior del San Diego, estaba habilitado con cabinas en su acondicionamiento para la batalla. Estos alojamientos se limitaban a cuatro paredes de madera habilitando un espacio personal, sin ventana ni aireación, con un mobiliario reducido, entre el que se encontraban los cofres para guardar los efectos personales. Los candados que se encontraron entre los restos de estos cofres, servían seguramente, para cerrar algunos de estos cofres.

b) Documentación de otros objetos que presenten funciones análogas: No se tiene información sobre objetos que presenten funciones análogas, que estuvieran presentes en el barco.

4. Historia del arte

a) Descripción iconográfica, origen de la obra: El candado proviene de China. Esto, debido, al constante comercio e intercambio que se tenía con China. Este objeto tiene una función meramente utilitaria y no decorativa, por lo que no se encuentra mayor decoración en el objeto.

b) Estética: estilo y calidad, colores, matices, volúmenes: La forma del objeto es bastante sencilla, es de forma cuadrada, de líneas simples y sin mayor decoración. Éste presenta un color café oscuro y está compuesto por piezas que ayudan a que su mecanismo funcione.

c) Autor, movimiento artístico, escuelas: Desconocido

C. Síntesis del estado general del objeto

En general, el objeto se encuentra en buenas condiciones mecánicas, sólo presenta algunos desgastes y pérdida de material, pero esto no afecta la estructura física del objeto. El candado también tiene dos tipos de deterioro: por productos de corrosión inactivos (Cuprita, Cloruros y Carbonatos) y un bloque de concreción marina cubriendo la mitad del objeto. Los productos de corrosión provocaron pérdida de superficie original y algunos pits.

II. DIAGNÓSTICO

A. Observación de las alteraciones y propuesta de intervención

El análisis, diagnóstico y tratamiento se hizo principalmente en base a la observación bajo el microscopio de 10x. La simple observación de un objeto arqueológico nos puede entregar información de su estructura, como también de sus componentes. Por ejemplo, un objeto de hierro va a tener un color diferente de un objeto de cobre o de plomo. En realidad, son los productos de corrosión los que nos dan información sobre el metal. Una cierta experiencia permite, en efecto, determinar rápidamente los mayores componentes de un objeto metálico, y esto es por la simple observación de los colores de sus productos de alteración (Mourey, 1978).

Primero, se analizó el bloque de concreción marina que cubre al candado debido al cual -el objeto- no se puede apreciar en un 100%. Algunos conservadores prefieren mantener el bloque de concreto como parte de la historia del objeto; pero al analizar bajo el microscopio este bloque, nos dimos cuenta que presenta productos de corrosión que se podrían activar fácilmente con un cambio de humedad brusca, por lo tanto debe removerse. Además se debe eliminar por un punto de vista estético, ya que así podríamos apreciar y entender el objeto, saber cómo funciona su mecanismo, y además, como se dijo anteriormente, para protegerlo de los productos de corrosión que se encuentran mezclados con el concreto.

Se decidió utilizar limpieza mecánica en el candado, ya que no contiene tantos productos de corrosión, y el bloque de concreción se puede remover de una manera relativamente fácil de manera manual. Se prefirió no someter el objeto a baños electroquímicos ya que estos no son necesarios. Además no sabemos en que condición se encuentra el mecanismo interior del objeto, por lo que un baño electroquímico lo podría dañar gravemente. En todo el trabajo mecánico que se realizará, se intentará dejar la superficie original intacta, trabajando sólo por sobre esta. La limpieza mecánica se hará bajo una lupa estereoscópica de 10x, y además se usarán instrumentos como escalpelo manual, escalpelo ultrasónico, y si la

concreción a sacar es muy dura y densa se usará una herramienta de tipo neumática que tiene adaptado un mini cincel.

Ésta herramienta de tipo neumática, es impulsada por aire y la presión de operación se logra por un compresor portátil. Es así como permite operar con mayor rapidez y sacar de una manera más fácil el bloque de concreto. La extensión de esta herramienta es un pequeño formón o cincel que al contacto con una superficie dura, comienza a golpearla rápidamente hasta sacar el bloque.

Además del bloque de concreción, se identificaron tres tipos de productos de corrosión en el candado: Óxido de cobre (en forma de cuprita [Cu_2O]), cloruro de cobre y carbonatos de cobre. Estos productos de corrosión se encuentran inactivos debido a la desalinización que se realizó en Filipinas.

A pesar de que estos productos de corrosión están inactivos, los cloruros pueden volver a reactivarse si la humedad relativa del ambiente en el cual el objeto se encuentra, aumenta, si esto ocurre se producirá nuevamente el proceso de corrosión. Por lo tanto este objeto, desde el punto de vista de la conservación, es riesgoso. Si al objeto no se le hace ningún tratamiento al candado, es que en presencia de humedad el cloruro cuproso (nantokita: $CuCl$) se hidrolize, formando ácido clorhídrico que reacciona con el metal que todavía no se ha corroído (bajo la acción combinada de humedad alta y oxígeno) para formar cloruro cúprico (paratacamita: $CuCl_2 \cdot 2H_2O$). Debido a que la hidrólisis inicial es un proceso reversible, la corrosión continuará progresando hasta que ya no quede metal. Por lo tanto nuestro objetivo principal debe ser la eliminación o inmovilización el cloruro cuproso (Plenderleith, Oxford1988).

Para la inhibición de los cloruros se usará Benzotriazol (Madsen, Brinch 1985; Sease, Catherine 1978; Walker, R 1979) al 1% en etanol (peso/volumen). El Benzotriazol lo ocupamos como inhibidor de los cloruros presentes en el metal, para evitar la “enfermedad del bronce”. Se decidió hacer una solución en etanol y no en agua porque, el etanol es mucho más volátil, además después de aplicar el Benzotriazol se aplicará una capa de Paraloid B72 disuelto en acetona; y el Paraloid no es soluble en agua, por lo tanto el objeto podría demorarse mucho tiempo en secar, y las capas que se aplicarán no serían homogéneas. El objeto se sumergirá por completo en Benzotriazol, y no se aplicará con

pincel, ya que el candado es hueco, y necesitamos que la solución actúe pareja sobre todo el objeto.

Debido a que el candado presenta en uno de sus extremos, pérdida de material y desgaste, esta parte se consolidará con Mastic (Conin, Riquier-Bouclet, 1994). Para que quede una superficie homogénea y no se note tanto la diferencia entre el Mastic y el metal, se le agregará pigmento de tipo mineral. Se utiliza pigmento mineral ya que éste no cambia de color con la luz. Luego del Mastic, se aplicará sobre el candado, Paraloid B72 disuelto en acetona, el cual otorgará protección al objeto en caso de variación de humedad. Además a esta solución de Paraloid y acetona se le agregará Benzotriazol, como protección extra para los cloruros. Después de haber aplicado el Paraloid, se colocará una capa de cera microcristalina. Se usará cera ya que después de haber aplicado el Paraloid al objeto, su superficie quedará brillante, la cera bajará esa brillantez, y servirá, además, como protección adicional al objeto. Se utilizará cera mineral y no orgánica, debido a que la cera orgánica después de un tiempo hidroliza, y libera ácidos. Esta cera se mezclará con pigmentos minerales, ya que en algunos sectores del candado hay superficies de metal original que no concuerdan con el color de la superficie original, por lo tanto no hay una superficie homogénea.

Con este tratamiento se pretende proteger al candado de la corrosión, y además de inhibir los cloruros inactivos existentes. Además se quiere exponer un objeto agradable a la vista y de fácil lectura, respetando la superficie original.

B. Análisis

Análisis: Prueba de identificación de carbonatos con ácido clorhídrico

En un portaobjeto, se colocó muestras de concreción, y a esto se le agregó 10cc de *HCl* al 10% en agua (volumen/volumen). Se colocó la muestra bajo el microscopio. Al observar desprendimiento de burbujas por parte de la concreción, sabemos que estamos en presencia de carbonatos.

III. TRATAMIENTO DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN

A. Intervenciones realizadas

1. Descripción de las técnicas utilizadas:

Toda la intervención se llevó a cabo bajo el microscopio para no producir daño en la superficie original.

Primero se removió la concreción marina utilizando un escalpelo de hoja número 15; pero debido a que la concreción era demasiado dura en algunos sectores, fue imposible removerla sólo con el escalpelo manual. Por este motivo se decidió utilizar un escalpelo ultrasónico (Ultrasonic Hand-tool Split V) a potencia media. Con esto se fue removiendo los grandes pedazos de concreción y luego se prosiguió con los detalles.

Como se describió anteriormente bajo la capa de concreción se descubrió un tipo de corrosión negra extremadamente compacta y difícil de remover (probablemente goetita); debido a esto se debió aumentar la potencia del escalpelo ultrasónico y trabajar con sumo cuidado para así no dañar la superficie y no dañar la parte más delgada del candado (varilla de bronce que es la que abre y cierra el candado) ya que se debía ejercer una cierta presión sobre el objeto para remover la concreción.

Una vez removida esta corrosión negra, nos encontramos inmediatamente después con la superficie original. Remover este tipo de corrosión negra fue muy difícil, y en algunas áreas fue imposible no rayar la superficie.

En un costado del candado en el cual se encontraba también este tipo de corrosión, fue muy difícil removerla con el escalpelo ultrasónico, ya que se encontraba muy adherida al metal, por lo que fue necesario cambiar de instrumento y esta vez se utilizó una herramienta tipo neumática con un mini cincel adaptado (Miniburineur, Chicago Pneumatique Air-Scribe®). Esta herramienta puede remover grandes bloques de concreto (dependiendo del tamaño del cincel que se le adapte), ya que va golpeando la superficie y soltando el concreto. Para esto hay que ejercer una cierta presión de la herramienta sobre el objeto para que trabaje de manera adecuada. Por este motivo se debe tener mucho cuidado ya que se podría pasar a llevar la superficie del objeto y rayarla. Además, hay que tomar precauciones y trabajar con protector para ojos, ya que los pedazos de concreto saltan.

Las partes en donde todavía quedaba concreción, pero que eran muy pequeñas para trabajar con la herramienta neumática, se hicieron con escalpelo ultrasónico a potencia media; hasta que finalmente todas las concreciones salieron.

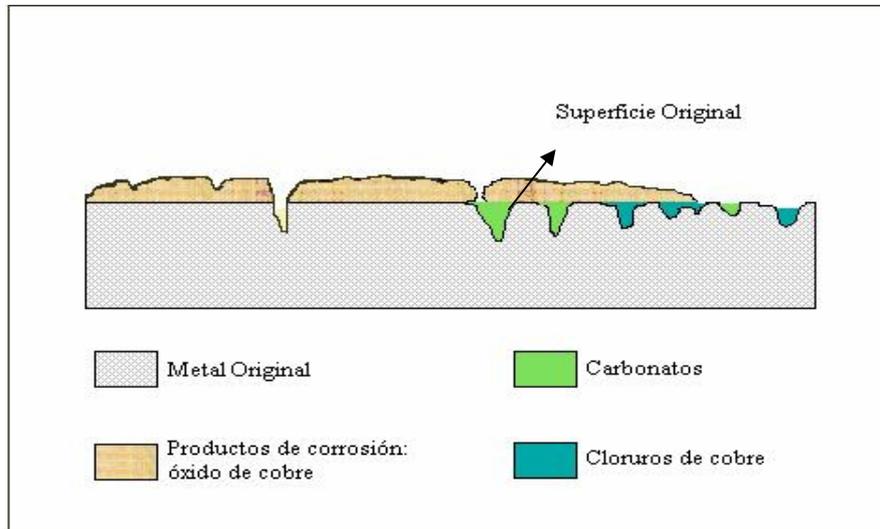


Fig.6: Corte tangencial del metal después de la limpieza mecánica. Acá se observa como se mantuvo la superficie original, dejando, además, algunos productos de corrosión como la cuprita, que vendría a formar parte de la superficie. Los cloruros se removerán en un tratamiento posterior.

Al sacar el bloque de concreción del extremo del candado, se descubrió el mecanismo por donde se introduce la llave; al observar al interior de este orificio, se pueden apreciar varillas metálicas (lamentablemente no se puede saber su composición ya que se observa sólo parcialmente) que serían parte del mecanismo de abertura del candado.

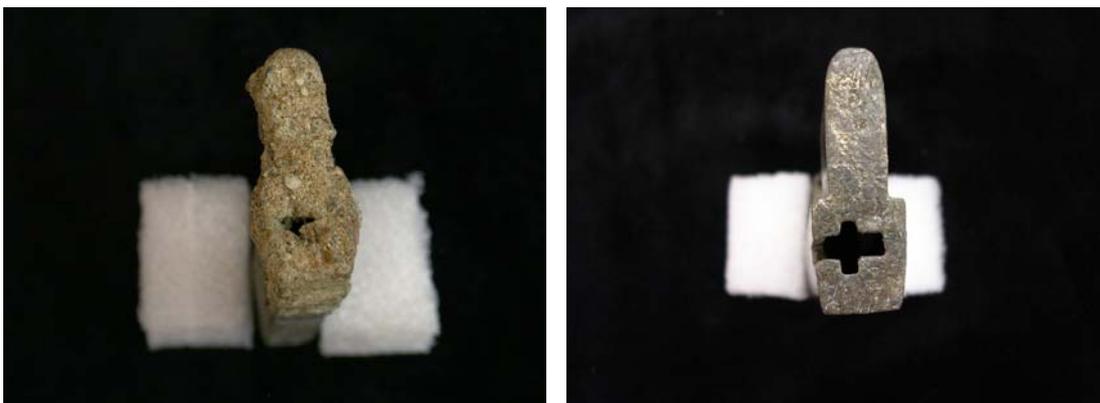


Fig. 7: Candado con bloque de concreción en su parte superior (izq.), y candado después de la remoción del bloque (der.) en donde se puede observar la ranura por donde se debe introducir la llave.

Luego se pasa, esta vez por toda la superficie del metal, el escalpelo ultrasónico nuevamente, a la mínima potencia y con la hoja casi paralela a la superficie, para remover los productos de corrosión que queden y dejar una superficie homogénea.

Una vez limpio el candado de las concreciones y corrosión superficial, se decide pasar una goma abrasiva que está adaptada a un micro motor (Micromotor Kavo 4941) para sacar los restos de corrosión y polvo (producto de la concreción) que pudiera haber quedado. Esta se debe pasar a una velocidad suave y con movimientos circulares. Debido a que esta goma es abrasiva, hay que tener cuidado de no sacar la superficie original.

Pero al momento de ir pasando la goma abrasiva, se observó que ésta dejaba marcas (a pesar de que se había hecho una pequeña prueba antes, y se demostró que no pasaba nada) y sacaba un poco la superficie original por lo que se decidió suspender este tratamiento inmediatamente.

Luego se limpió el objeto con etanol, para así sacar los restos de polvo y grasa que pudieran haber quedado al manipular el objeto. Esto se hace con una tórula pasándose por toda la superficie del candado. Ahora el objeto se debe manipular con guantes (de algodón) ya que queda más susceptible a las marcas de dedos, después de haber removido la corrosión y el polvo.



Fig. 8: Candado después de la remoción de las concreciones y la limpieza con etanol

Una vez limpio el objeto, se prepara una solución de Benzotriazol ($C_6H_5N_3$) que se utilizará para inhibir los cloruros que puedan estar presentes en el objeto.

Preparación del Benzotriazol (BTA) al 1%

.Benzotriazol 10 gr.

.Etanol 1 litro

La solución de BTA la necesitamos al 1% en etanol (peso/volumen). Por lo tanto en un contenedor mezclamos 10 gr. de BTA con un litro de etanol. Hay que tener mucho cuidado al manipular el BTA porque es un agente cancerígeno y produce irritaciones, por lo que se debe manipular con guantes. El BTA es reversible en etanol.

Una vez listo el BTA, se sumerge el objeto completamente en la solución para así evitar la formación de líneas en la superficie. El objeto lo mantenemos sumergido por 3 horas.

Luego de las 3 horas se saca el objeto del BTA, (siempre utilizando guantes) se deja escurrir la solución, y se enjuaga con etanol para no tener cristales de BTA que pudieran quedar en la superficie. No debemos enjuagar el objeto con mucho etanol, ya que podríamos remover todo el BTA de la superficie del candado, y el baño, por lo tanto, sería inútil.

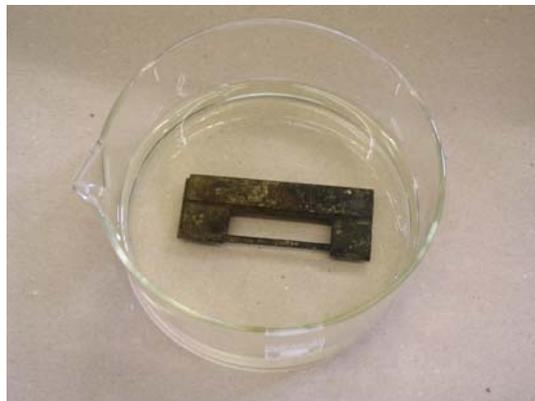


Fig.9: Candado sumergido en baño de BTA

Una vez limpio el objeto se deja secar sobre un papel secante por 1 día. Una vez seco el candado, se debe consolidar la parte superior a la cual va apegada la varilla de bronce, ya que ésta se encuentra bastante inestable mecánicamente, producto de pérdida de metal. Además al remover la concreción, también se removió la que había en este sector, por lo que el metal en ese lugar quedó más inestable todavía.



Fig.10: (Izq). Extremo superior del candado antes de la remoción de concreción; presenta pérdida de metal, y el metal que sujeta la varilla, está estabilizado sólo por las concreciones. Como se observa en la otra fotografía (der.) se removió las concreciones, por lo que el metal alrededor de la varilla quedó inestable y con riesgo de rotura. Este sector es el que se estabilizará con Mastic.

Debido a que hay peligro de que esta parte se rompa, con la posible pérdida de fragmentos, se decide consolidar con Mastic.

Preparación de Mastic (resina acrílica)

- .Aerosil (silicio coloidal) 4 gr.
- .Paraloid B72 (metil-metacrilato) 32 gr. (Está al 40% en acetona, $\frac{P}{V}$)
- .Pigmento Mineral estable

El mastic es una resina reversible, y se puede también tener la consistencia que se desea, agregándole acetona (para que quede más líquido), o dejando que se vaya secando (para que sea más denso).

A esta mezcla se le agregó un poco de pigmento mineral estable para que quede una superficie homogénea con la superficie del candado. Luego de preparado el compuesto, bajo el microscopio, se va colocando el Mastic con una espátula delgada por toda la superficie a consolidar. Una vez puesto el Mastic, se deja secar el objeto por un día.



Fig. 11: Consolidación del metal con Mastic y pigmento mineral terminado

Mientras, se prepara una solución de Paraloid B72 al 2,5 % en acetona para barnizar la superficie. Se preparará un porcentaje bajo de Paraloid, ya que esta solución, sólo la usaremos para barnizar la superficie. Si preparamos la solución con un porcentaje más alto, la capa que quedaría sobre la superficie del objeto sería muy densa; además una vez seca esta capa, el objeto, brillaría mucho. A esta preparación se le agregará BTA como protección extra contra los cloruros.

Preparación de Paraloid B72 + BTA al 2,5%

.Paraloid B72	25 gr.
.Acetona	1 litro
.BTA	1% en etanol (peso/volumen)

Esta solución es reversible en acetona. Se utiliza para proteger al objeto de las variaciones de humedad del medio ambiente

Este barniz se pasa con un pincel de cerdas muy delgadas (para no dejar marcas en la superficie) por todo el objeto. Una vez que se pasó el barniz sobre el objeto, se deja secar nuevamente por un día.

Debido a que la superficie quedó un tanto brillante por el Paraloid, y también como medida de protección, se pasa por toda la superficie cera microcristalina (Cosmoloïd H80) mezclada con bencina blanca y se le agrega pigmento mineral (tratando de asemejar el color de la superficie original). Esta cera es mineral y estable. Primero se aplica la cera con un pincel, sin pigmento, sobre todo el objeto, teniendo cuidado de no dejar marcas de las cerdas. Luego la cera que está mezclada con pigmento, se coloca con un pincel muy fino sólo en los lugares donde existe metal original, y donde hay deslustres o rayados provocados por el tratamiento mecánico. No se pasa la cera con pigmento sobre todo el objeto, ya que esto haría cambiar de color el objeto, y la superficie original quedaría demasiado uniforme. Es importante señalar que esta cera es reversible en bencina blanca, por lo que su remoción es bastante simple. Una vez seca la cera, finalmente, se pasa por toda la superficie un cepillo de cerdas muy suaves en forma circular. Con este cepillado final se logra un film de protección homogéneo y más fuerte, y se obtiene un mejor acabado.

a) Fotografías candado terminado⁴:



Fig.12: Candado terminado por el reverso y anverso

⁴ Para ver información sobre las tomas fotográficas, referirse al anexo.



Fig.13: Candado terminado extremos superior e inferior

b) Materiales utilizados:

- Escalpelo hoja n° 15
- Escalpelo ultrasónico (Ultrasonic Hand-Tool Split V. Sonotec)
- Herramienta tipo neumática con un mini cincel adaptado. (Miniburineur, Chicago Pneumatique SER.0250^a CP9361, Air-scribe® UK.)
- Goma abrasiva adaptada a un micromotor (Micromotor Kavo EWL Typ 4941)
- Etanol (98%)
- Benzotriazol (al 1% en etanol $\frac{p}{V}$)
- Mastic (Paraloid B72, 40% en acetona $\frac{p}{V}$: 32 gr. + Aerosil: 4 gr.)
- Paraloid B72 al 2,5 % en acetona $\frac{p}{V}$ + BTA (1 % en etanol $\frac{p}{V}$)
- Pigmentos minerales estables
- Cera microcristalina Cosmoloïd H80
- White Spirit

c) Evaluación de los resultados: A pesar de no haber tenido el equipo adecuado para poder efectuar test o análisis en el objeto, sólo con la observación se logró comprender el objeto casi en su totalidad, los principales problemas que éste presentaba y sus posibles soluciones. Fue así como se lograron identificar bajo el microscopio algunos productos de corrosión por su color y la manera en que se presentaban (como los pits), y se logró identificar la consistencia del bloque de concreto, por lo tanto también su tratamiento. También se observó el estado mecánico general del metal, y la existencia de la superficie original, que era uno de nuestros objetivos principales de identificación y preservación.

Aunque durante el tratamiento se me presentaron algunos problemas en la remoción de la concreción y de los productos de corrosión (por rayar en algunos lugares la superficie original), los resultados del tratamiento son muy buenos, ya que se logró la remoción de la concreción e inhibición de cloruros. Éste último punto es indispensable realizarlo para la conservación a largo plazo del objeto. Es por eso que se investigó en la bibliografía los métodos más efectivos de inhibición de cloruros, pero que a la vez no fueran invasivos para el candado.

Con este tratamiento se intentó al máximo preservar la superficie original, lográndose un buen resultado. Si hubiéramos utilizado un tratamiento como de electrólisis para la

remoción del bloque de concreto y productos de corrosión, probablemente no hubiéramos tenido tan buenos resultados en la preservación de la superficie original.

Además de proteger al candado de cambios bruscos de humedad, con este procedimiento, se le quiso dar al candado un aspecto estético agradable, lo que se logró gracias a la limpieza profunda que se le realizó y a las capas de protección que se le aplicaron.

B. Síntesis del tratamiento

1. Observación bajo el microscopio, estudio general del objeto e identificación de productos de corrosión.
2. Diagnóstico y determinación del tratamiento a seguir.
3. Limpieza del candado y remoción de la concreción y productos de corrosión, utilizando escalpelo manual y escalpelo ultrasónico.
4. Utilización de la herramienta de tipo neumática para la extracción de concreción y goetita.
5. Utilización de goma abrasiva
6. Luego se limpió el objeto con etanol, para sacar el polvo y suciedad.
7. Baño de BTA al 1% en etanol ($\frac{1}{100}$) por tres horas para la inhibición de los cloruros.
8. Enjuague con etanol para quitar los cristales de BTA.
9. Se dejó secar el objeto por un día.
10. Consolidación del metal desgastado con resina acrílica Mastic, mezclada con pigmento.
11. Se dejó nuevamente secar por un día.
12. Aplicación barniz protector Paraloid B72 [Paraloid al 2,5% en acetona ($\frac{2,5}{100}$), más BTA 1% en etanol ($\frac{1}{100}$)] sobre toda la superficie del objeto
13. Se dejó secar por un día
14. Aplicación de cera microcristalina sin pigmento por todo el objeto y luego se aplicó cera más pigmento sólo en las partes donde se rayó o donde se veía el metal original.
15. Se pasó un cepillo de cerdas suaves de manera circular por toda la superficie del objeto, para así crear un film resistente con la cera.

I. ESTADO GENERAL DEL OBJETO

A. Examen del objeto: Llave

1. Descripción general del objeto

a) Nombre o designación: Llave china

b) Material: Bronce

c) Dimensiones: La llave está dividida en 2 partes. 1) 6,9 cm. de largo y 0,9 cm. de ancho
2) 7,7 cm. largo y 0,7 cm. (ancho más chico), 0,9 cm. (ancho más grande)

d) Peso: 24 gr.

e) Forma: Objeto alargado de color café oscuro. La forma de la llave es cuadrada y uno de los extremos termina en una curva de 90° cuya forma es cuadrada con una división al medio. El otro extremo de la llave presenta un orificio que se encuentra desgastado por un lado, este orificio tal vez se ocupó para colocar alguna cuerda que sujetase la llave.

La forma de la llave a pesar de ser cuadrada, es irregular, siendo en algunos sectores más gruesa y en otros sectores más angosta, presenta varios ondeados y cambios de grosor en su estructura.

La llave se encuentra dividida en dos partes, producto de un mal transporte y mala restauración.

f) Rastros de fabricación o de utilización: La llave es parte del conjunto con el candado, en donde ambos tenían una función meramente utilitaria.

g) Inscripciones, marcas, sellos: No se observa ninguna inscripción o marca.

h) Técnicas de decoración: No se observa ningún rastro de decoración



Fig.1: Llave por el anverso y el reverso



Fig.2: Acercamiento de la llave por el anverso y reverso

i) Restauraciones anteriores: La llave fue tratada anteriormente, en los laboratorios de restauración de Filipinas, y probablemente con un baño químico. Esto se dedujo por el color de la llave y por las marcas que quedaron en su superficie, las cuales se observan a simple vista como formas de orificios redondeados en sus bordes, y grietas.

Además de los agujeros y grietas que presenta en su superficie, también debido al tratamiento anterior, cambió su color, quedando de un color mucho más oscuro al cual debería tener.

La llave, al momento de ser restaurada en Filipinas ya estaba rota, por lo que fue pegada con un pegamento el cual desconocemos, pero que si podemos observar claramente en los bordes que restos de este pegamento (luego la llave se volvió a romper durante el transporte).

2. Naturaleza de los materiales presentes

a) Metal: El metal que compone la llave es bronce, siendo los componentes principales, el cobre y estaño. Tal vez pueda tener algún otro metal en su aleación que desconocemos, pero al no tener los equipos necesarios no podemos hacer exámenes más específicos para saber la composición exacta del metal.

No se observa la presencia de otros materiales, ya sean orgánicos o inorgánicos.

3. Descripción de alteraciones mecánicas

a) Deformaciones: La llave no presenta deformaciones en su estructura

b) Desgaste o deterioro: Se observa un cierto desgaste en uno de los extremos donde se encuentra un pequeño orificio; este desgaste puede haber sido por el uso que tuvo el objeto, como también por la abrasión producida por arena y agua en el fondo submarino.

c) Fragmentación: La llave está dividida en dos fragmentos. Esto fue reparado anteriormente con un pegamento que desconocemos, pero durante su transporte la llave se volvió a romper dejando en evidencia el pegamento. Lamentablemente el lugar donde se rompió la llave, es muy delgado, por lo que hace un tanto difícil su reparación.

d) Estado físico del metal: La estructura general de la llave es buena, no presenta deterioro o desgaste en su estructura. Pero en toda la superficie observamos múltiples grietas e irregularidades, todo esto producto del tratamiento anterior que se le dio a la llave. Bajo el

microscopio se observaron boquetes con bordes redondeados y suaves, y grietas un tanto profundas, estas formas no corresponden al tipo de abrasión que el objeto pudiera haber recibido en el fondo marino, sino que corresponden a formas debido a un baño químico o electroquímico.



Fig.3: En la superficie de la llave se pueden observar grietas y orificios que se formaron producto del tratamiento en Filipinas.

4. Descripción de la corrosión

La llave no presenta corrosión importante porque ya fue tratada anteriormente en Filipinas. No se observan productos de corrosión, ni ningún otro tipo de deterioro cubriendo el objeto. Lo único que se observa es un pequeño porcentaje de concreción en una de las uniones de la llave (esto se especificará más adelante)

Lamentablemente debido al tratamiento anterior que se le dio a la llave con un baño químico o electroquímico, toda la superficie original de la llave fue removida, por lo que sólo podemos observar el metal original.

B. Estudio Documental

1. Naturaleza y estatus del objeto

a) Nombre: Llave española

b) Número de inventario actual: 4521a⁵

c) Estatus jurídico del objeto: propietario actual, disposiciones particulares: el propietario de las piezas es el señor Franck Goddio. Las piezas se encuentran en Suiza (Ginebra), para luego ser transportadas –después de la restauración- a Portugal.

2. Historia del Objeto

a) Procedencia, lugar de origen y fecha propuesta: La llave proviene del sitio del hundimiento del galeón español “El San Diego”. Esta llave pertenece a un conjunto, con el candado de bronce. Ambos provienen de china y son fechados en el siglo XVI.

b) Autor, fabricante, taller (marcas, firmas, inscripciones, sellos de fabricación):
Desconocido

c) Catálogo de origen: El San Diego. Un tesoro bajo el mar. Editado por Compañía Española de Petróleos, S.A. CEPSA. Madrid 1995.

d) Propietario anterior: No ha habido ningún propietario anterior al Sr. Franck Goddio.

e) Contratos, reportes (reparaciones, restauraciones, etc.): Restauración realizada en Manila, Filipinas, probablemente en el Museo Nacional.

f) Publicaciones (libros, catálogos de exposición, catálogo de ventas, etc.):

- El San Diego. Un tesoro bajo el mar. Editado por Compañía Española de Petróleos, S.A. CEPSA. Madrid 1995.
- Piezas Arqueológicas de la Nao San Diego en el Museo Naval de Madrid. Lunweg Editores S.A. Madrid 1999.
- El Primer y último combate del San Diego. Revista española de defensa N° 142 Diciembre 1999.
- Die Schätze der San Diego. Jean-Paul Desroches, Gabriel Casal, Franck Goddio. Berlin, Argon, 1997.

⁵ La llave y el candado presentan el mismo número de inventario

- Treasures of the San Diego. *Jean-Paul Desroches, Franck Goddio and Gabriel Casal (editors)*. Association Francaise d'Action Artistique, Paris France 1996.
- Das Geheimnis der San Diego. *Franck Goddio*. Schweizer Verlagshaus, Zürich 1996.
- Das Geheimnis der San Diego. Geschichte u. Entdeckung eines im Südchinesischen Meer versunkenen Schatzes. *Franck Goddio*. Schweizer Verlagshaus, Zürich 1994.
- SAN DIEGO, An Account of Adventure, Deceit, and Intrigue. In National Geographic Magazine, volume 186, No.1, July 1994. *Franck Goddio*. Washington. 1994.
- LE MYSTERE DU SAN DIEGO - Histoire et découverte d'un trésor englouti en mer de Chine. *Franck Goddio*. Robert Laffont. 1st Ed. Paris. 1994.

g) Contexto de descubrimiento: La llave fue encontrada junto con el candado y junto a otros objetos pequeños entre los restos del San Diego. Entre ellos se encontraron 10 llaves, 12 candados, algunas empuñaduras de aleación de cobre y fragmentos de chapado de madera negra brillante recubierta por láminas de oro; los cuales sería probablemente, los restos de cofres o baúles.

3. Función del objeto

a) Función de origen: El espacio interior del San Diego, estaba habilitado con cabinas en su acondicionamiento para la batalla. Estos alojamientos se limitaban a cuatro paredes de madera habilitando un espacio personal, sin ventana ni aireación, con un mobiliario reducido, entre el que se encontraban los cofres para guardar los efectos personales. Los candados y llaves que se encontraron entre los restos de estos cofres, servían seguramente, para cerrar algunos de estos cofres.

b) Documentación de otros objetos que presenten funciones análogas: No se tiene información sobre objetos que presenten funciones análogas, que estuvieran presentes en el barco.

4. Historia del arte

a) Descripción iconográfica, origen de la obra: La llave y el candado provienen de China. Esto, debido, al constante comercio e intercambio que se tenía Asia. Este objeto tiene una función meramente utilitaria y no decorativa, por lo que no se encuentra mayor decoración en el objeto.

b) Estética: estilo y calidad, colores, matices, volúmenes: La forma del objeto es bastante sencilla, es de forma alargada, de líneas simples y sin mayor decoración. Éste presenta un color café oscuro y en sus extremos presenta un ángulo de 90° que termina en un cuadrado, que es el que sirve para abrir el candado.

c) Autor, movimiento artístico, escuelas: Desconocido.

C. Síntesis del estado general del objeto

Como la llave ya fue tratada anteriormente, no se encontraron productos de corrosión o concreciones importantes. El problema que presenta este objeto es en su estructura, ya que se encuentra fragmentada en dos partes, además de tener múltiples orificios y grietas en su superficie (aunque estas grietas no presentan un problema mecánico importante en el objeto, ni amenazan su estructura).

II. DIAGNÓSTICO

A. Observación de las alteraciones y propuesta de intervención

El diagnóstico y análisis del estado general del objeto, se hizo mediante observación y bajo el microscopio binocular.

La llave al haber sido tratada con un baño químico, ya se le removió los productos de corrosión y concreciones que pudo haber tenido. Al hacer este baño, se removió además toda la superficie original, quedando sólo el metal original y cambiando la llave de color, a un color mucho más oscuro. Debido a que la llave ya fue tratada anteriormente –inadecuada e irreversiblemente- no se puede hacer mucho más por mejorar su estado.

Al observar el objeto bajo el microscopio se observó restos de concreción en uno de los fragmentos (el cual está compuesto de una pieza mayor y unido con una pieza menor). Se deberá hacer una prueba antes de remover la concreción, ya que al parecer ésta sería la que une ambas piezas de este fragmento, por lo tanto si se remueve completamente la concreción, estas partes se despegarían. Si se decide remover la concreción se hará con escalpelo manual y ultrasónico.

Luego se deberán remover los restos de pegamento que hay en ambas piezas de la llave. El pegamento, el cual desconocemos su origen, se removerá con acetona y una tórula. Una vez que el pegamento ya ha salido, se hará una limpieza con etanol para eliminar los restos de polvo, suciedad o grasa que pueda tener la llave.

Una vez limpia la llave, se hará un baño con Benzotriazol como medida de precaución para inhibir cloruros. A pesar de que no se encontraron productos de corrosión en la llave, el baño de BTA se realizará de todas maneras más que nada como medida precautoria, ya que tal vez el objeto todavía puede tener cloruros inactivos. El objeto se sumergirá sólo por unos minutos en el baño de BTA, ya que no es necesaria una capa más densa, debido a su tratamiento anterior.

Luego se deberán unir ambas piezas de la llave. En un principio se pensó hacer una unión entre ambos fragmentos con pegamento, más un puente hecho con una aguja de metal, para que la unión fuera más resistente y no se volviera a despegar. Pero al observar y estudiar los fragmentos, los bordes y el metal en sí son muy delgados lo que hace imposible colocar alguna unión entre ellos. Por lo que se buscó un pegamento epóxico resistente: Araldite, el cual es reversible.

Este pegamento es un tipo de resina epoxi que resulta de la condensación de epíclorhidrina y bisferol u otros compuestos con características similares. Con este sistema se sintetiza una clase de polímeros que contienen grupos epoxi en su estructura. La presencia de estos grupos permite que estos polímeros puedan reaccionar con otros reactantes de naturaleza tanto básica como ácida, lo cual facilita la sucesiva reticulación y el endurecimiento. La aparición en sus moléculas de grupos muy polares (epoxi, oxidrilos, aminos) confiere a estas resinas epoxi una marcada y específica capacidad para adherir sólidos que presentan características igualmente polares (metales, vidrios, cerámicas) La unión así establecida presenta unas propiedades fuertemente adhesivas (Matteini, M., Moles, A. 2001).

Para obtener un pegamento más resistente se eligió un tipo de resina que pega en 7 horas (este tipo de Araldite es más fuerte que el que seca en 5 minutos). Se eligió este rango tan amplio de tiempo, además, porque la superficie a pegar es muy pequeña, por lo que lleva más tiempo lograr juntar de una manera correcta ambos fragmentos; asimismo si se llega a cometer un error o quedan mal pegados los fragmentos, se tiene suficiente tiempo para corregirlo.

Una vez que se tienen pegados ambos fragmentos se barnizará la superficie con Paraloid B72 al 2,5 % en acetona $\frac{p}{v}$, y a esta solución se le agregará BTA, para aumentar la protección. Como sabemos, el Paraloid deja una superficie brillante una vez seco, por lo que también se aplicará sobre la llave, cera microcristalina, y después se hará un cepillado para dejar un film protector homogéneo.

III. TRATAMIENTO DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN

A. Intervenciones realizadas

1. Descripción de las técnicas utilizadas:

Se observaron los fragmentos de la llave bajo el microscopio, con lo se vio en algunos sectores restos de concreción, por lo que se intentarán remover con un escalpelo ultrasónico. Este fragmento consta de dos partes, las que al parecer están unidas sólo por la concreción. Por lo que comienzo a dudar si sacar toda esta concreción o no. Por lo tanto se hizo una prueba con escalpelo y bajo el microscopio para verificar si es la concreción la que sujeta este fragmento. Luego de la prueba, observamos que este fragmento si está unido por concreción por lo que decidí no removerlo en su totalidad. Sólo removí con escalpelo la parte de concreción que sobresalía del borde y lo alisé para que tuviera una superficie más homogénea y no se notara tanto.



Fig.4: Aquí observamos el fragmento que presenta concreción, el cual está formado por una pieza grande, y una más pequeña; ambas piezas están unidas sólo por la concreción (la cual se señala con la flecha) por lo tanto si se remueve esto, ambas piezas se despegarían, y tal vez se debilitaría su estructura.

Luego se eliminaron los restos de pegamento que se encuentran en los bordes de ambos fragmentos. Primero se intentó sacar con una tórula con acetona; pero el pegamento se demoraba mucho tiempo en solubilizarse y lo único que se conseguía era que se expandiera más por la superficie en lugar de salir. Por esto se decidió sumergir los fragmentos (sólo en donde se encontraba el pegamento) por unos minutos en acetona, para retirar luego el pegamento con tórula y pinzas. Este sistema demostró ser mucho más rápido y eficiente. Una vez que se ha sacado el pegamento, se limpia toda la llave con etanol (98%) para quitar grasa o restos de pegamento que pudo haber quedado. Se deja secar la llave por unos minutos. Mientras se prepara la solución de BTA para sumergir el objeto.



Fig.5: Remoción del pegamento con acetona y tórula. Aquí se observa como el pegamento se ha expandido por la superficie en lugar de solubilizarse. Por lo tanto se sumergirán ambas partes con pegamento en acetona por unos minutos. Nota: Esta fotografía fue tomada bajo la luz raziante del microscopio para una mejor observación del pegamento.

Preparación del Benzotriazol (BTA) al 1%

.Benzotriazol	10 gr.
.Etanol	1 litro

La solución de BTA es al 1% en etanol (peso/volumen). Hay que tener mucho cuidado al manipular el BTA porque es un agente cancerígeno y produce irritaciones, por lo que se debe manipular con guantes. Esta solución de BTA se hace como una medida precautoria para inhibir los posibles cloruros que pueda tener el objeto y como capa de protección.

El objeto lo sumergimos sólo por unos minutos en BTA, ya que no necesitamos una capa dura. Luego se saca el objeto del BTA y se deja escurrir. Después, se limpia la llave con etanol para evitar que se formen cristales y se deja secar el objeto por un día.

Cuando la llave ya está seca, se procede a pegar ambos fragmentos con Araldite. Se eligió un tipo de Araldite que seca completamente en 7 horas. Este pegamento se mezcla con pigmento mineral para que quede un color uniforme con la llave. Se agrega el Araldite con una espátula muy delgada y se pegan ambos fragmentos bajo microscopio. Una vez

pegados ambos fragmentos se observa pegamento sobrante por fuera de la unión, por lo que éste se retira con una tórula con acetona. Se elige una tórula muy delgada y con poca acetona, ya que podríamos sacar todo el Araldite que hemos puesto a la unión y habría que volver a pegar.

Debido a lo delgada de la superficie a pegar, fue muy difícil juntar bien los fragmentos (incluso bajo microscopio), ya que ambos fragmentos son alargados y un tanto pesados, por lo que se separaban ambas superficies con facilidad. Una vez pegada la llave se traslada a un lugar donde nadie la pueda mover, y se deja secar por un día entero, para que el pegamento fragüe bien.

Luego barnizamos toda la llave con la solución de Paraloid B72 al 2,5 % en acetona más BTA.



Fig. 6: Llave pegada con Araldite. Este adhesivo se mezcló con pigmento mineral para mantener una superficie homogénea con el resto del objeto.

Preparación de Paraloid B72 + BTA al 2,5%

.Paraloid B72	25 gr.
.Acetona	1 litro
.BTA	1% en etanol (peso/volumen)

Esta solución es reversible en acetona.

Con esta solución protegemos el objeto de las variaciones de humedad. Para barnizar el objeto, utilizamos un pincel de cerdas suave, con cuidado de no dejar marcas en la superficie. Se deja secar por un día.

Como la superficie de la llave quedó muy brillante luego de pasar el Paraloid (también quedó muy brillante la unión que se hizo de los fragmentos con Araldite), se decide también aplicar cera microcristalina mezclada con bencina blanca. La cera se pasa con un pincel por toda la superficie del objeto, y así logramos bajar la brillantez de la llave.

Una vez seco el objeto, se pasa un cepillo de cerdas suaves para crear un film homogéneo que resista las variaciones del ambiente.

a) Materiales utilizados:

- Escalpelo hoja n° 15
- Escalpelo ultrasónico (Ultrasonic Hand-Tool Split V. Sonotec)
- Acetona
- Etanol
- Benzotriazol (al 1% en etanol $\frac{p}{v}$)
- Resina epóxica Araldite Bostik®
- Pigmentos minerales estables
- Paraloid B72 al 2,5 % en acetona $\frac{p}{v}$ + BTA (1 % en etanol $\frac{p}{v}$)
- Cera microcristalina Cosmoloïd H80
- White Spirit

b) Evaluación de los resultados:

En este objeto se hizo una intervención menor, ya que no presentaba una concreción importante, y no presentaba productos de corrosión. Sin embargo, hubo que unir los fragmentos –lo cual fue una tarea un tanto difícil por lo que pequeña de la superficie a pegar- y hacer baños y capas de protección, por si llegara a tener cloruros. El resultado final fue bastante satisfactorio ya que se logró el objetivo, y se dejó una superficie uniforme y limpia. Ahora, debido a lo frágil de la unión (ya que es una superficie pequeña que debe soportar ambos fragmentos) se debe tener extremada precaución al manipular la llave, ya que ésta eventualmente podría volver a desprenderse.

c) Fotografias:



Fig.7: Llave terminada por el anverso y reverso



Fig.8: Llave terminada de lado (arriba) y acercamiento de la unión que se hizo con Araldite (abajo).

B. Síntesis del tratamiento

1. Observación bajo el microscopio, estudio general del objeto.
2. Diagnóstico y determinación del tratamiento a seguir.
3. Análisis bajo el microscopio de la remoción de la concreción en uno de los fragmentos.
4. Remoción de una parte de la concreción con escalpelo manual y ultrasónico.
5. Eliminación del pegamento que se le había aplicado al objeto en un tratamiento anterior, con acetona y tórula; y posteriormente se sumergieron ambas partes en acetona.
6. Limpieza del objeto con etanol.
7. Baño de BTA al 1% en etanol ($\frac{p}{v}$) por unos minutos, para la inhibición de los cloruros.
8. Enjuague con etanol para quitar los cristales de BTA.
9. Se dejó secar el objeto por un día.
10. Unión de ambos fragmentos de la llave con resina epóxica Araldite (seca en 7 horas), y a este adhesivo se le agregó pigmentos minerales. Se dejó secar por un día.
11. Aplicación barniz protector Paraloid B72 [Paraloid al 2,5% en acetona ($\frac{p}{v}$), más BTA 1% en etanol ($\frac{p}{v}$)] sobre toda la superficie del objeto.
13. Se dejó secar por un día
14. Aplicación de cera microcristalina por todo el objeto.
15. Se pasó un cepillo de cerdas suaves de manera circular por toda la superficie del objeto, para así crear un film resistente con la cera.

5.2 Plato Mexicano

Ficha Técnica Plato

I. ESTADO GENERAL DEL OBJETO

A. Examen del objeto: Plato Mexicano

1. Descripción general del objeto

a) Nombre o designación: Plato

b) Material: Plata

c) Dimensiones: Diámetro total: 22 cm. Ancho del borde: 2,0 cm. Diámetro Fondo: 18 cm.

d) Peso: 311 gramos

e) Forma: Plato bajo de uso individual. De forma redonda y cóncava. Entre el borde y la base del plato se encuentran varios faltantes, y esto hace que todo el borde del plato sea muy inestable. Este borde es delgado y se encuentra desprendido de la base en un 80%, acá también se pueden observar algunos trazos de superficie original, que destaca por sobre los productos de corrosión. El borde, además ya no tiene su forma original: éste se encuentra desplazado hacia abajo, y presenta ondulaciones.

En el centro el plato hay un hundimiento circular, debido, probablemente al trabajo de bruñido¹ en el torno.

f) Técnicas de decoración: El plato no presenta ninguna decoración.

g) Rastros de fabricación o de utilización: En el fondo (base), el plato presenta varias marcas hechas por cortes de cuchillo, que dan cuenta de su utilización como recipiente para comer.

h) Inscripciones, marcas, sellos: Debajo del reborde se encontró la marca que identifica la procedencia y el orfebre autor de los platos. La inscripción: TO/RES, está inscrita en dos rectángulos superpuestos. Esta es la firma del orfebre en cuyo taller se elaboraron las piezas, Miguel de Torres².

¹ Ver glosario.

² Para más información sobre el sello, referirse al anexo.



Fig.1: Plato por el anverso y detalle



Fig.2: Plato por el reverso y detalle

i) Restauraciones anteriores: El plato no fue restaurado propiamente tal pero si fue intervenido. Debido a que este plato fue encontrado apilado junto a muchos otros, se formó un gran bloque de carbonatos alrededor de ellos, por lo tanto fue necesario remover este bloque. Esta eliminación del bloque de concreción se llevó a cabo en los laboratorios del IRRAP³ en Francia. Está documentado que se llevó a cabo un tratamiento por electrólisis.

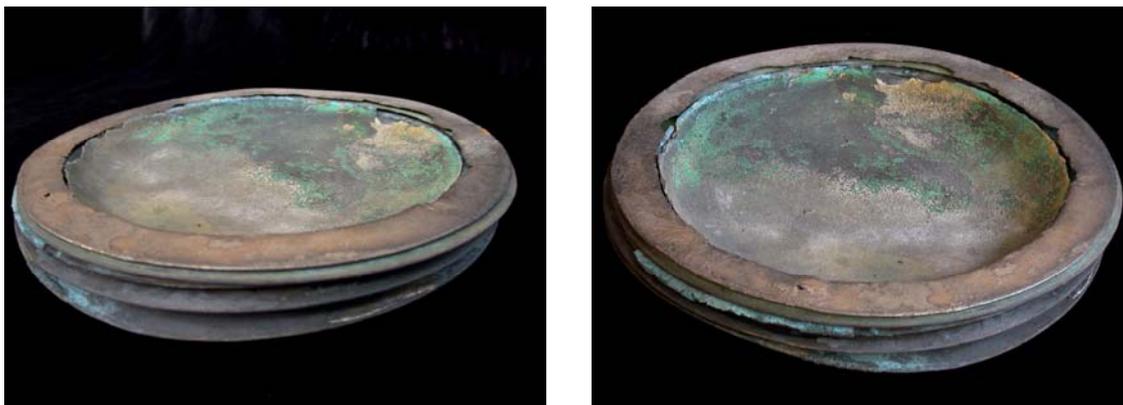


Fig. 3 Platos apilados, que llegaron al taller. Estos ya fueron tratados por lo tanto ya no tienen el bloque de concreto que los cubría.

2. Naturaleza de los materiales presentes

a) Metal: El material constitutivo del objeto es plata, pero, como en la mayoría de los casos, está aliada con cobre. Por este motivo podemos ver corrosión típica del cobre sobre el plato.

3. Descripción de alteraciones mecánicas

a) Deformaciones: Todo el borde del plato presenta deformaciones, ondulaciones, y se encuentra en desnivel con respecto al borde del fondo del plato.

b) Desgaste o deterioro: Las orillas del fondo del plato (donde se encuentran los faltantes) están bastante desgastadas y deterioradas. Con posible pérdida de metal.



Fig 4: Borde del plato con faltantes y desgaste en el metal.

³ Instituto de Restauración y de Investigaciones Arqueológicas y Paleometalúrgicas

c) Fragmentación: Aunque no presenta fragmentos, todo el borde del plato, está a punto de desprenderse, por lo tanto sino se hace un refuerzo antes del tratamiento, se fragmentará.

d) Estado físico del metal: El estado físico del metal es bastante frágil. Presenta muchos faltantes en el borde, por lo que puede haber un posible desprendimiento de éste, lo que hace al objeto muy inestable y difícil de manipular. El fondo del plato se encuentra en buen estado físico, no presenta problemas en su estructura con la excepción de los faltantes y el desgaste de material del borde.

4. Descripción de la concreción:

Se analizó el tipo de concreción bajo el microscopio, y se observó que una capa muy gruesa de concreción que cubre toda la superficie del plato.

Sobre la capa de concreción encontramos productos de corrosión, por lo que a simple vista, la concreción, no se observa. Además de esta capa que cubre el plato, también se encuentra en otros sectores con forma circular, y este tipo de concreciones son sumamente duras de remover.

Los colores predominantes de la concreción son el beige y el blanco.

En esta concreción no se observan organismos marinos a simple vista, como en el candado por ejemplo, sólo se pueden observar bajo el microscopio, restos de conchas, piedrecillas y arena. En este caso, las conchas son muy pequeñas y al tocarlas con una espátula o pinza se desasen inmediatamente, por lo que no fue posible tomar muestras de ellos.

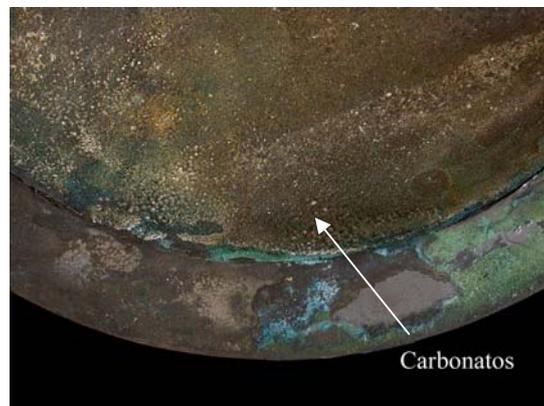


Fig.5: Concreciones en forma de burbuja en el anverso del plato.



Fig.6: Concreciones en forma de burbuja en el reverso del plato.

Para saber que tipo de concreción tenemos en el plato se hizo un análisis con ácido clorhídrico (HCl), para comprobar si estamos en presencia de carbonatos. Luego de hacer el test se comprobó que el bloque era carbonato de calcio (calcita)⁴.

5. Descripción de la corrosión

La capa de productos de corrosión se encuentra sobre la calcita, y sobre todas las demás capas (metal original, superficie original y calcita). En la superficie del plato observamos distintos tipos de productos de corrosión. Al analizar las capas de productos de corrosión bajo el microscopio de 10x vemos que no son homogéneas y que no están apegadas a la calcita, por lo que al removerlas con un pincel todas estas capas salen sin dificultad. Los colores que predominan en los productos de corrosión son el verde, gris oscuro, azul, blanco y beige.



Fig.7: Fotografía que muestra la capa de productos de corrosión y sus distintos colores.

No existe ningún signo que indique que los productos de corrosión están activos, además no se observó la presencia de cloruros. Luego de hacer un análisis de observación bajo el

⁴ El detalle de este análisis se encuentra en el punto II. B. Análisis 1

microscopio 50x⁵, pudimos observar con más detalle que productos de corrosión teníamos exactamente.

Es así como identificamos los siguientes tipos de corrosión:

.Carbonatos de cobre en la forma de:

- Malaquita de color verde [$CuCO_3, Cu(OH)_2$]
- Azurita de color azul [$2CuCO_3, Cu(OH)_2$];

.Sulfuros en la forma de:

- Acantita de color gris oscuro [Ag_2S].

Los depósitos color beige, no son productos de corrosión, sino que son carbonatos.

Además de los productos de corrosión identificamos una capa metálica muy dura en consistencia y de un color gris oscuro. Al principio pensamos que se podía tratar de plata pura y que -de seguro- esta capa se formó bajo el mar. Pero luego de que se realizó un análisis de fluorescencia de rayos x, pudimos saber la composición exacta de esta capa⁶. Este análisis mostró que esta capa si estaba compuesta en su mayoría por plata pero además tenía en su composición Silicio (proveniente de la arena del fondo marino), Azufre, Hierro (que proviene de otro objeto que estuvo cerca del plato produciéndose corrosión galvánica) y Cobre (que proviene de la aleación).

Aunque en el fondo del plato (tanto por el reverso como por el anverso), la superficie original es bastante homogénea, ésta se encuentra muy inestable, y no está adherida al metal original, por lo que mantenerla se va tornar muy difícil. La superficie original, se deshace con mucha facilidad, y está cubierta por sulfuros, por lo que algunas veces, puede llegar a confundirse con esta capa. En el borde del plato, la superficie se encuentra absolutamente fragmentada, y en algunos sectores, aparece por sobre los productos de corrosión y de la capa metálica. En todo el plato, la superficie original está muy poco adherida al metal, y es muy suave y porosa.

⁵ El detalle de este análisis se encuentra en el punto II. B. Análisis 2.

⁶ Para más detalle sobre el análisis de fluorescencia de rayos x, dirigirse al punto II.B. Análisis 3.

B. Estudio Documental

1. Naturaleza y estatus del objeto

a) Nombre: Plato

b) Número de inventario actual: 2897

c) Estatus jurídico del objeto: propietario actual: El propietario actual de las piezas es el señor Franck Goddio. Las piezas se encuentran en tránsito en Suiza (Ginebra), para luego ser transportadas –después de la restauración- a Portugal.

2. Historia del Objeto

a) Procedencia, lugar de origen y fecha propuesta: El plato proviene de México y fue fechado a fines del siglo XVI. Por la documentación que se tiene, se sabe que este plato y casi toda la vajilla de plata, vienen de México, lo que los califica como piezas realizadas en el marco del programa de equipamiento del nuevo mundo a la moda occidental. Estos llegaron probablemente a Filipinas en el galeón de Manila procedente de Acapulco, y fueron adquiridos por algún señor de la colonia española, si no fue por el propio Morga (capitán del San Diego)⁷

b) Autor, fabricante, taller (firmas, inscripciones, sellos de fabricación): Por el sello que se encontró en el reborde del plato, se identificó el autor como Miguel de Torres, orfebre mexicano, que además de platos, también creó copas, tazas, aguamaniles, jofainas⁸ y toda clase de orfebrería. Estos artículos también se han encontrado en el naufragio, y todos portan el sello TO/RES.

c) Catálogo de origen: El San Diego. Un tesoro bajo el mar. Editado por la Compañía Española de Petróleos, S.A. CEPSA. Madrid 1995.

d) Propietario anterior: No ha habido ningún propietario anterior al Sr. Franck Goddio.

e) Contratos, reportes (reparaciones, restauraciones, etc.): Restauración realizada por el Instituto de Restauración y de Investigaciones Arqueológicas y Paleometalúrgicas (IRRAP) en Compiègne, Francia.

⁷ *Provoyeur, Pierre*. “Artes de la mesa, joyas y objetos de devoción”. En: Catálogo El San Diego. Un tesoro bajo el mar. Editado por Compañía Española de Petróleos, S.A. CEPSA. Madrid 1995.

⁸ Ver glosario.

f) Publicaciones (libros, catálogos de exposición, catálogo de ventas, etc.):

- El San Diego. Un tesoro bajo el mar. Editado por Compañía Española de Petróleos, S.A. CEPESA. Madrid 1995.
- Piezas Arqueológicas de la Nao San Diego en el Museo Naval de Madrid. Lunweg Editores S.A. Madrid 1999.
- El Primer y último combate del San Diego. Revista española de defensa N° 142 Diciembre 1999.
- Die Schätze der San Diego. *Jean-Paul Desroches, Gabriel Casal, Franck Goddio.* Berlin, Argon, 1997.
- Treasures of the San Diego. *Jean-Paul Desroches, Franck Goddio and Gabriel Casal (editors).* Association Francaise d'Action Artistique, Paris France 1996.
- Das Geheimnis der San Diego. *Franck Goddio.* Schweizer Verlagshaus, Zürich 1996.
- Das Geheimnis der San Diego. Geschichte u. Entdeckung eines im Südchinesischen Meer versunkenen Schatzes. *Franck Goddio.* Schweizer Verlagshaus, Zürich 1994.
- SAN DIEGO, An Account of Adventure, Deceit, and Intrigue. In National Geographic Magazine, volume 186, No.1, July 1994. *Franck Goddio.* Washington. 1994.
- LE MYSTERE DU SAN DIEGO - Histoire et découverte d'un trésor englouti en mer de Chine. *Franck Goddio.* Robert Laffont. 1st Ed. Paris. 1994.

g) Contexto de descubrimiento: El plato fue encontrado apilado junto a muchos otros, en el naufragio del San Diego a 50 metros bajo el mar. Estos platos apilados fueron encontrados entre sedimentos, y estaban rodeados de un gran bloque de concreción marina. La mayoría de los platos contenían aún bastante metal, por lo que el tratamiento por electrólisis permitió desunirlos, revelando así su forma muy característica, sus sellos y sus marcas. Además se encontraron fuentes también de plata, pero estaban prácticamente fundidas una en la otra, también se

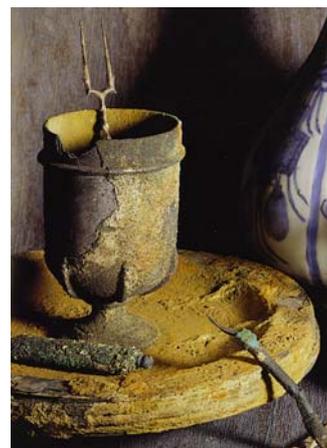


Fig.8: Platos envueltos en un bloque de concreción.

encontraron varios anillos enroscados que permitieron afirmar la presencia a bordo del San Diego de una abundante y refinada vajilla de plata.

3. Función del objeto

a) Función de origen: Objeto fabricado para la presentación y consumo de alimentos.

b) Documentación de otros objetos que presenten funciones análogas: Además de los platos, se ha documentado más vajilla también de plata como: fuentes, aguamaniles⁹, vasos, copas y tazas. Casi toda esta vajilla tiene el sello de Miguel de Torres, y presentan características de decoración similares.



*Fig.9: Copa de plata
proveniente del taller
de Miguel de Torres*

Muchos de los platos que se encontraron en la pila con concreción, son hondos, con una ondulación central. También se han encontrados platos bajos, que se encontraban sobre y bajo la pila. Estos últimos han sido muy atacados por la corrosión submarina (como es el caso del plato que estoy restaurando) Los demás platos y vajilla se encontraron en buen estado y revelan claramente sellos e inscripciones. Todos los platos llevan un pequeño hundimiento circular central, debido probablemente al trabajo de bruñido en el torno.

4. Historia del arte

a) Estética: estilo y calidad, colores, matices, volúmenes: A pesar de que con este plato, el autor no hace gala de su originalidad la sencillez y el origen de sus formas, lo hace igualmente una pieza bastante interesante.

⁹ Ver glosario

5. Historia de la técnica

a) Documentación de las técnicas de fabricación: El plato presenta un pequeño orificio en el centro. Esta es la marca de desgaste producida por un instrumento que, girando sobre su eje, debía facilitar el bruñido.

Probablemente se fabricaron estos platos en cantidades importantes, adquiriendo aún más valor cuando el orfebre español del siglo XVI fue víctima de las posteriores fundiciones en masa, período en que disminuyó la masa metálica disponible.

C. Síntesis del estado general del objeto

El plato presenta deformaciones en el borde, el cual (por la cara interior, la que va unida al borde) está bastante desgastado y deteriorado con posible pérdida de metal. Este borde está a punto desprenderse, por lo que hace que el estado físico del plato sea muy frágil y de difícil manipulación.

Cubriendo el plato por el anverso se observa una capa de concreción en forma de calcita, y sobre esta capa se encuentran los productos de corrosión como carbonatos de cobre y sulfuros.

II. DIAGNÓSTICO

A. Observación de las alteraciones y propuesta de intervención

Después de haber efectuado las observaciones bajo microscopio y los análisis, tenemos una mejor idea de los deterioros del objeto, y su posible tratamiento. Gracias a estos análisis se pudo identificar donde está ubicada la superficie original, su consistencia y además los productos de corrosión y concreciones.

Debido a que no se tiene una capa muy gruesa de metal original, o un núcleo metálico suficientemente estable, no se puede hacer tratamiento por electrólisis o baño químico para remover los carbonatos, ya que este tratamiento podría remover la superficie original, además de dañar el núcleo metálico.

Luego del análisis de fluorescencia de rayos x, se comprobó que el plato ya no está formado sólo de plata y cobre, sino que hay además entre las capas metálicas hay hierro, silicio y azufre, en una estructura muy debilitada, por lo que un tratamiento electrolítico podría debilitar la estructura del objeto mucho más: algunos elementos que componen el núcleo metálico se podrían disolver y se destruiría información vital de la superficie original.

A pesar de que se tiene una capa de calcita muy gruesa y difícil de remover un tratamiento por electrólisis para eliminarla no es viable por consiguiente todo el tratamiento que se hará será mecánico.

El plato, al estar muy poco estable en las orillas y los bordes, debe estabilizarse antes de restaurarlo. Así se puede manipular de una manera más segura, y se evita más deterioro en su parte mecánica. Esta consolidación será provisoria. Para esto se usará fibra de vidrio, y Paraloid B72. Una vez que se tenga el objeto consolidado, se podrá empezar a trabajar.

Los resultados de los análisis nos mostraron que los productos de corrosión no están apegados a la capa de carbonatos, sino que al contrario, los productos que se encuentran sobre la superficie del plato, por lo tanto se pueden remover fácilmente con un pincel. Una vez que se eliminen todos estos productos de corrosión del plato (anverso, reverso, bordes) se comenzará a trabajar sobre la capa de calcita que cubre toda la superficie del anverso del

plato, y algunos sectores del borde. El tratamiento se llevará a cabo bajo el microscopio de 10x, para tener una mejor apreciación de la superficie original. Las herramientas que se utilizarán para la remoción de la capa de carbonatos son: microscopio 10x, escalpelo, escalpelo ultrasónico y herramienta neumática, los cuales se irán intercambiando dependiendo del grosor de la capa y la adherencia a esta al metal original y la superficie original. En todo momento se pretende preservar la superficie original que se encuentra justo bajo esta capa de calcita.

Luego que de remover la calcita de los bordes y de la superficie, se trabajará en el reverso del plato, para eliminar la capa metálica -que previamente se identificó en los análisis de fluorescencia-. Esta capa es un tanto dura y bastante compacta, aunque de fácil remoción. Para eliminarla se utilizará sólo el escalpelo de hoja n° 15, ya que no son necesarios instrumentos más fuertes.

Debido a que el borde del plato está despegado y presenta faltantes debe consolidarse. Para la consolidación del borde se utilizará pegamento especial para metal. Pero debe ser un pegamento que sea compatible con el plato, es decir, un adhesivo que sea lo suficientemente fuerte como para soportar el peso de todo el borde del plato, y además debe tener una textura similar a la superficie del objeto. Para saber que tipo de pegamento es el más conveniente, se realizarán pruebas con distintos tipos de adhesivos. Para esto se hacen pruebas con Araldite (para metal y universal) y distintos pigmentos; esto se hace para saber que tipo de consistencia y color se puede lograr; el que sea más compatible con el objeto se aplicará. Una vez que se ha elegido el tipo de pegamento y pigmento a utilizar, se aplicará sobre todo el borde del plato, y una vez seco se moldeará con escalpelo. Luego, se preparará una pasta de carbonatos ($CaCO_3$) y etanol. Esta pasta es buena para remover sulfuros, y se puede mezclar tanto con etanol como con agua (Costa, Virginia. 2001). Se aplicará sobre toda la superficie del plato, de esta manera se limpiará el objeto de restos de sulfuros, polvo y grasa que podrían quedar en el objeto.

Una vez limpio el objeto, se debe enjuagar con abundante agua de la llave y se deja secar. Debido a que en el plato no se observó la presencia de cloruros, no se aplicará capas de protección, además se recomienda no aplicar ceras protectoras o lacas a objetos de plata debido a que es muy difícil lograr una capa homogénea; por lo que se dejará sólo con la limpieza y se recomendará medidas de conservación adecuadas.

B. Pruebas y análisis

Análisis 1: Prueba de identificación de carbonatos con ácido clorhídrico

En un portaobjeto se colocaron muestras de concreción, y se le agregó 10cc de HCl al 10% en agua ($\frac{1}{10}$). Se colocó la muestra bajo el microscopio y se observó desprendimiento de burbujas por parte de la concreción lo que comprueba que estamos en presencia de carbonato de calcio ($CaCO_3$) en forma de calcita. Además se observó que estos carbonatos estaban mezclados con productos de corrosión, ya que al hacer la prueba, los carbonatos se consumieron y desaparecieron, mientras que los productos de corrosión quedaron en el fondo.

Análisis 2: Observación de los productos de corrosión bajo microscopio 50x

El plato se llevó hasta el laboratorio del Antikenmuseum Basel und Sammlung Ludwig, para analizarlo bajo el microscopio de 50x (Leica MZ75) y tomar algunas fotografías, así podemos tener una mejor idea de los productos de corrosión.

Una vez realizado el análisis identificamos los siguientes tipos de corrosión:

Carbonatos de cobre en la forma de:

- Malaquita de color verde [$CuCO_3, Cu(OH)_2$]
- Azurita de color azul [$2CuCO_3, Cu(OH)_2$];

Sulfuros en la forma de:

- Acantita de color gris oscuro [Ag_2S].

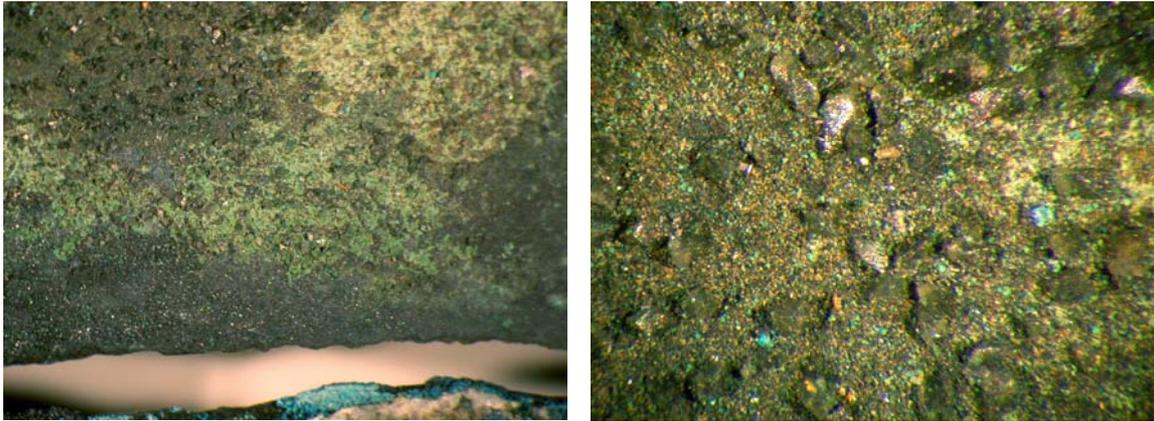


Fig.10: Fotografía microscopio 50x. A la izquierda observamos los cristales de Malaquita de color verde, en el borde del plato. En la siguiente fotografía (der.) se observan los mismos cristales aumentados

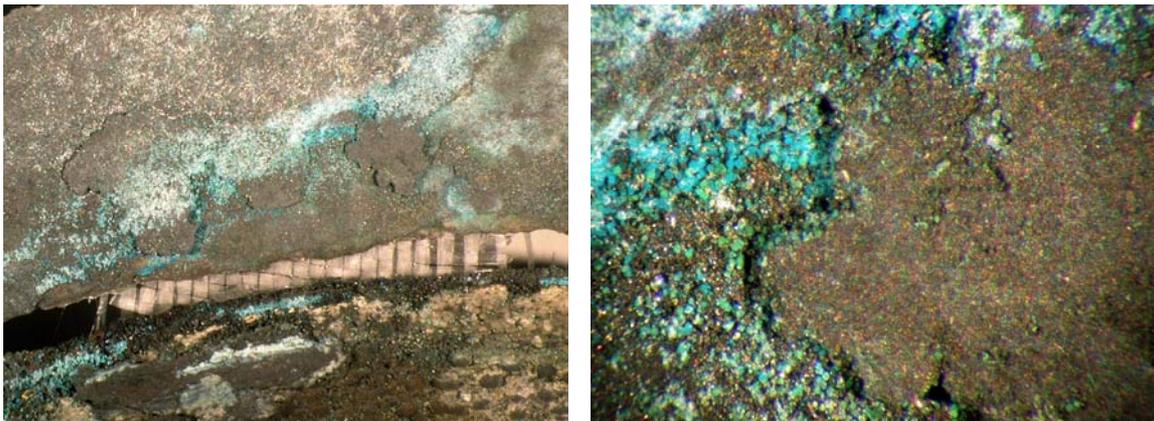


Fig.11: En la fotografía de la izquierda se ven depósitos de azurita en el borde del plato. En la fotografía de la derecha se ven los mismos depósitos pero aumentados.

Tanto en el anverso del plato, como en el reverso y el borde, se observan distintas disposiciones de las capas de los productos de corrosión. Gracias a estas observaciones pudimos elaborar el siguiente diagrama para hacer más fácil la comprensión de las capas que forman el objeto:

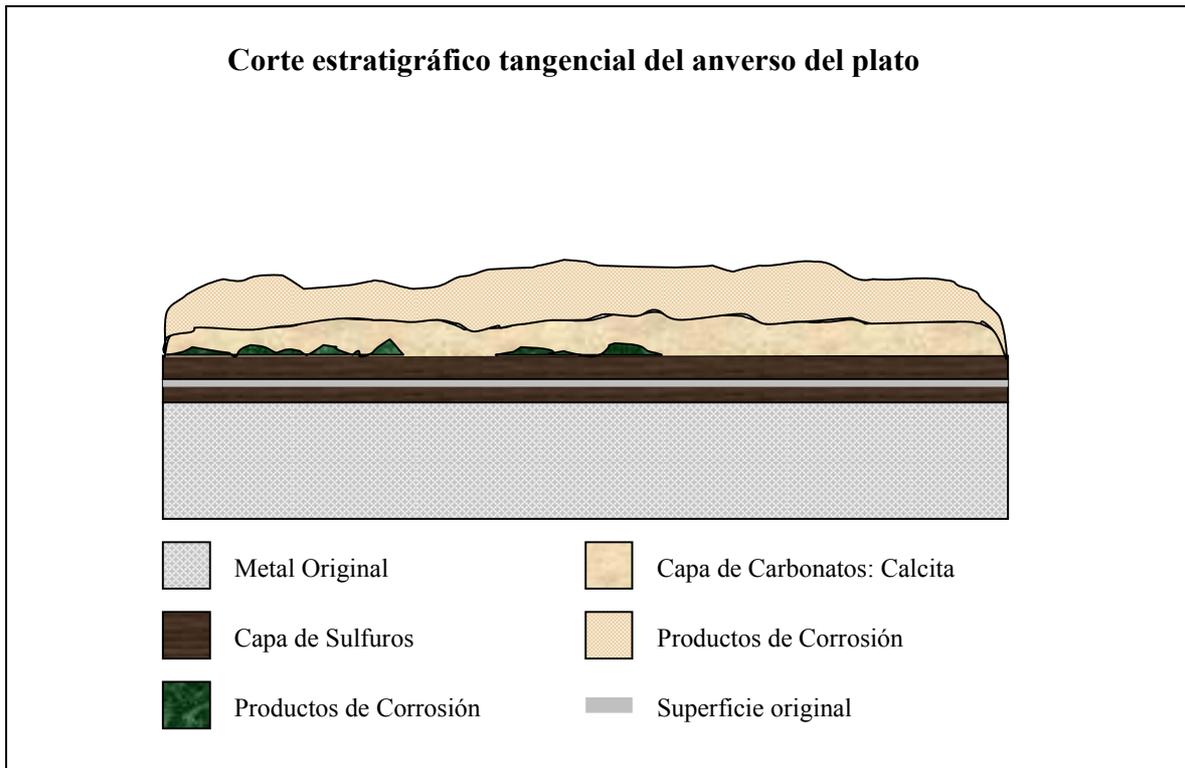


Fig.12: Corte estratigráfico de las diferentes capas de productos de corrosión que se encuentran en el anverso. En la base del plato, se observa en orden ascendente: Metal original, luego una capa homogénea de sulfuros, la superficie original también homogénea pero muy frágil en su consistencia, después encontramos otra capa de sulfuros, luego algunos productos de corrosión, una capa densa y muy dura de calcita y finalmente los productos de corrosión que se observan en la superficie del plato a simple vista.

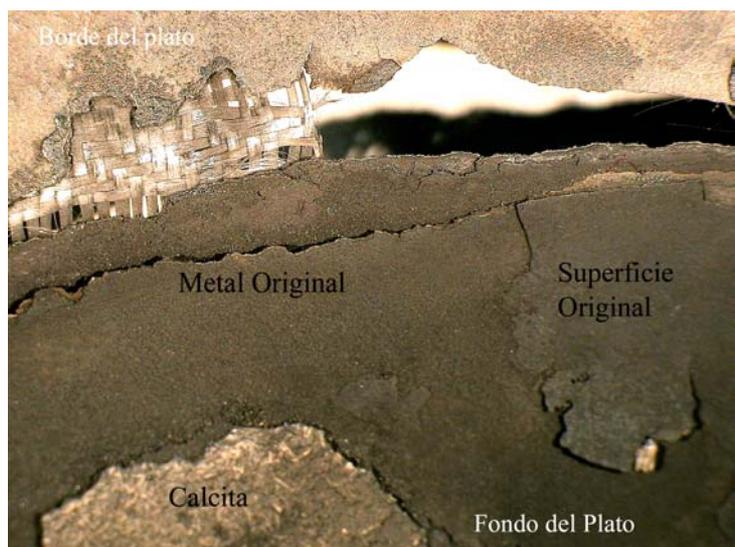


Fig.13: Fotografía microscopio 50x que muestra las capas en que se encuentra dividido el fondo del plato. Como observamos el metal original se encuentra dividido en varias capas; la superficie original se encuentra bajo la calcita y tiene una consistencia muy débil; y también vemos sobre la calcita algunos productos de corrosión.

Corte estratigráfico tangencial del borde del plato

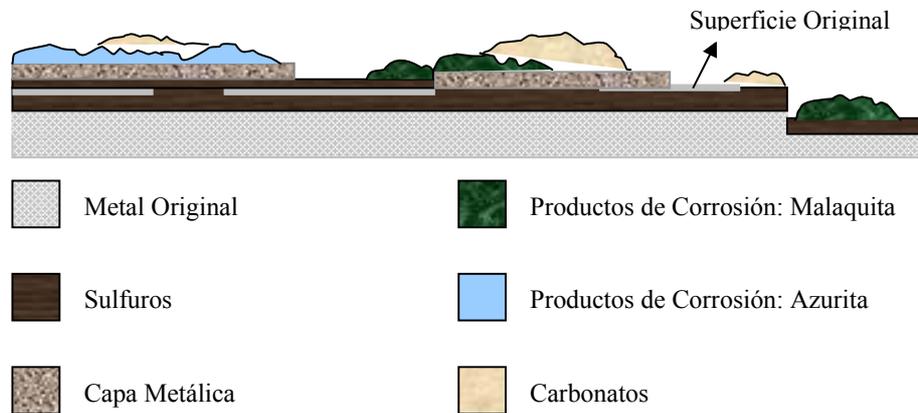


Fig.14: Corte estratigráfico del borde del plato. Acá observamos que el borde se encuentra dividido en varias capas: el metal original en sí está dividido y se separó en diferentes capas, luego observamos sulfuros en diferentes niveles, y la superficie original que no es homogénea. Sobre la superficie original encontramos trazos de una capa metálica similar a la del reverso, luego -sobre esta- encontramos productos de corrosión y calcita. Al observar los productos de corrosión bajo el microscopio estos se observan en la forma de cristales romboidales.

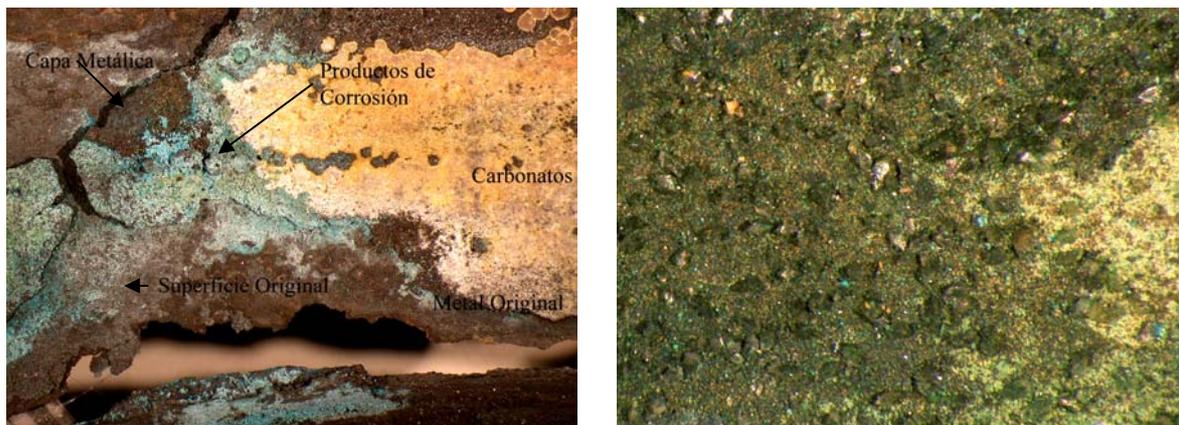


Fig.15: (Izq.) Fotografía microscopio 50x que muestra las diferentes capas de corrosión del borde del plato. La fotografía de la derecha muestra los productos de corrosión en forma de cristales que se encuentran también en el borde.

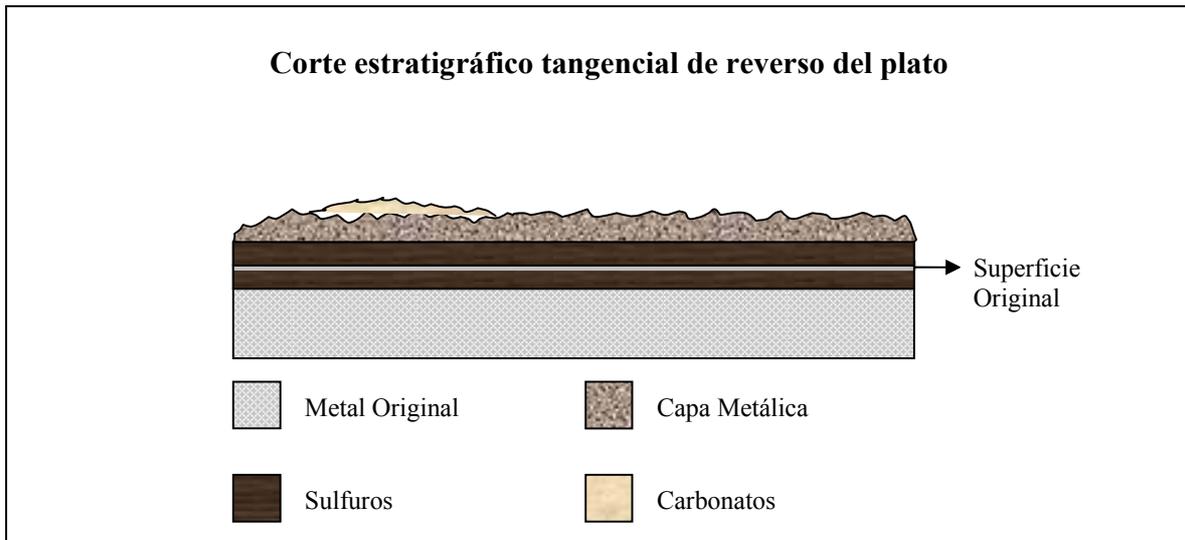


Fig.16: En este corte vemos que las capas son más homogéneas. La superficie original está entera pero es muy débil y se deshace con facilidad. Sobre esta se encuentra la capa metálica, la cual en algunos sectores es extremadamente dura y apegada a la superficie original, y en otros sectores es fácil de remover. Sobre esta capa se encuentra en algunos sectores, pequeños restos de carbonatos.



Fig.17: En esta fotografía podemos apreciar como la capa metálica cubre todo el reverso del plato, y la superficie original se encontraría bajo esta.

Análisis 3: Fluorescencia de rayos X.

Básicamente la fluorescencia consiste en la luminosidad que tienen algunas sustancias mientras reciben la excitación de ciertas radiaciones (en este caso de rayos x)¹⁰. La energía de la radiación de excitación y la longitud de onda de los rayos están relacionados con el número atómico del elemento responsable del fenómeno y permiten su identificación¹¹.

Para la realización de este análisis se llevaron pequeñas muestras de la capa metálica que cubría al plato por el anverso y el reverso. Con este análisis queríamos saber principalmente de qué estaba compuesta esta capa, cómo podríamos realizar su eliminación (si esta fuera necesaria) y la razón de la formación de esta capa.

Las muestras se llevaron al laboratorio de conservación del Schweizerische Landesmuseum en Zürich. Primero se requirió la ayuda del analista químico el cual me enseñó los pasos que se deben realizar para la preparación de las muestras:

Como primer paso analizamos la muestra bajo el microscopio de 10 x. Debido a que queremos hacer un corte estratigráfico de la muestra para saber los distintos elementos que la constituyen, buscamos una que contenga más capas de elementos. Una vez identificada el mejor ángulo y lado de la muestra, la colocamos en posición vertical, y utilizando un pegamento especial de dentista (Durafill), la ubicamos en el centro de un pequeño molde

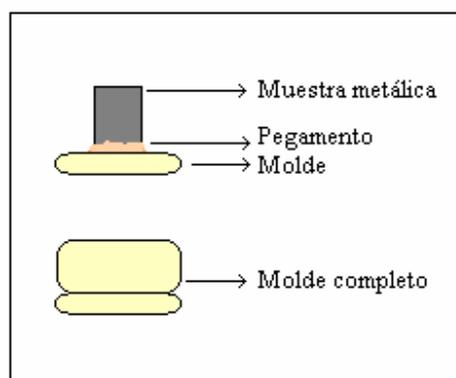


Fig. 18: Esquema de preparación de la muestra en el molde.

de forma circular. Esperamos unos segundos a que el pegamento seque y colocamos una resina artificial llenando el molde (resina Technovit 2000LC para muestras metalográficas). Luego de colocar la resina en el molde lo introducimos durante 12 minutos en una máquina de rayos ultravioleta para acelerar el secado de la resina. Luego imprimimos el número que le damos a nuestra muestra en una pequeña impresora. Sacamos el molde de la máquina y colocamos el número sobre la muestra para poder identificarla. Sobre este número

¹⁰ Calvo, Ana. Conservación y restauración. Materiales, técnicas y procedimientos. De la A a la Z. Ediciones del Serbal. España 1997

¹¹ Matteini, Mauro; Moles, Arcangelo. Ciencia y restauración. Método de investigación. Junta de Andalucía- Consejería de cultura- Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Editorial Nerea. Año 2001. Sevilla

colocamos pegamento (Methylmethacrylate) para que se pegue a la muestra y volvemos a introducirla en la máquina de rayos ultravioleta por 12 minutos¹². Sacamos el molde de la máquina y comenzamos a pulir. Para esto colocamos en una máquina especial 4 papeles lija de distinto grosor. Pasamos la muestra unas 20 veces (rotándolas) por cada papel (del más grueso al más fino). Una vez pulida en estos papeles más gruesos, utilizamos ahora unos papeles lija mucho más finos, y seguimos puliendo hasta que el metal se asome por la resina, quede la muestra sin rayas, lisa y la resina quede de un color transparente.

Luego que se ha pulido la muestra se observa bajo el microscopio para verificar si las capas se observan bien, de lo contrario se debe volver a lijar.

La observación bajo el microscopio (100x) de la muestra nos permite verificar el corte estratigráfico y los elementos que la constituyen. Al hacer la observación bajo el microscopio se tomaron fotografías digitales para poder comparar los elementos y verificar que la muestra esté bien hecha.

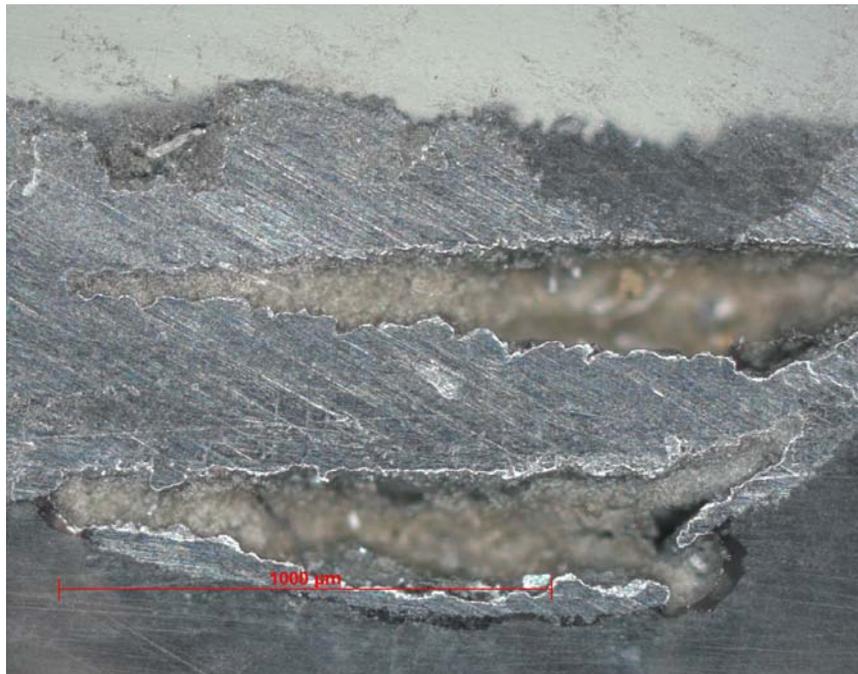


Fig.19: Fotografía digital microscopio 100x de corte estratigráfico muestra (OB.0604P2x5) capa metálica. Aquí observamos las distintas capas que conforman esta muestra.

¹² N. del A.: Es muy importante identificar el anverso y reverso de la muestra, es decir, que parte iba pegada al plato y que parte iba hacia el exterior

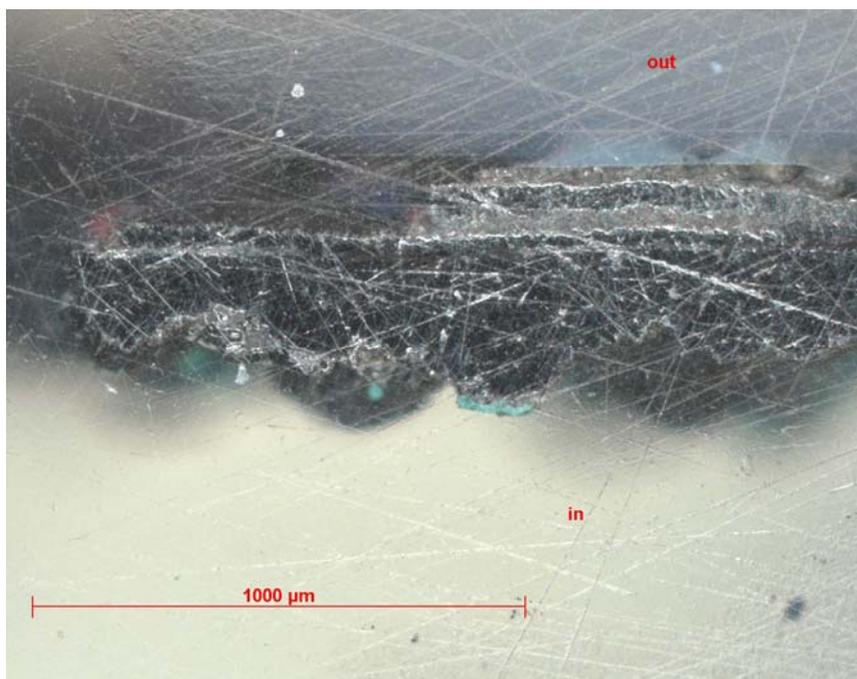


Fig.20: Fotografía digital de corte estratigráfico muestra (OB.0604P3x5) capa metálica. En esta muestra observamos además de las capas metálicas, productos de corrosión de color verde en la parte inferior.

Luego de las tomas fotográficas se llevaron las muestras a los análisis de fluorescencia. Estos análisis fueron realizados en conjunto con el físico del laboratorio y la analista química. Se colocaron las muestras al interior de la máquina de fluorescencia de rayos x, y se marca la zona a analizar en el computador con una línea vertical. La máquina analiza sólo el sector marcado, por lo que se intentó colocar la marca en el sector donde más capas existieran. Luego de unos minutos, la máquina comienza a dar los pics en el computador los cuales nos van indicando el elemento constituyente de cada capa (las fotografías y gráficos se encuentran al final de este capítulo).

Es así como los resultados nos indican que en la primera muestra (OB.0604P2x5) tenemos una gran cantidad de Plata, además de Silicio, Azufre, Hierro, y Cobre; en distintas cantidades. En la segunda muestra (OB.0604P3x5) además de los elementos mencionados anteriormente también tenemos la presencia de calcio.

Estos resultados nos indican que la capa metálica que se encontró en el exterior del plato, (tanto por el anverso, como por el reverso) no es constituyente de este, sino que se formó bajo el mar, por lo tanto se debe eliminar. El silicio se puede deber a la arena bajo el fondo marino que se unió a otros elementos como el hierro (proveniente de la corrosión

galvánica) y el cobre (que proviene de la aleación del plato), para formar esta capa sólida metálica. No pudimos resolver la presencia de azufre en la muestra, aunque el físico sugirió que tal vez se pueda deber a presencia de actividad volcánica en el fondo marino, pero esto es sólo una hipótesis.

Estos análisis nos sirvieron para verificar la constitución de ésta capa lo que es muy importante para conocer los cambios que ocurren en los objetos en un ambiente marino. También comprobamos que esta capa metálica puede ser eliminada.

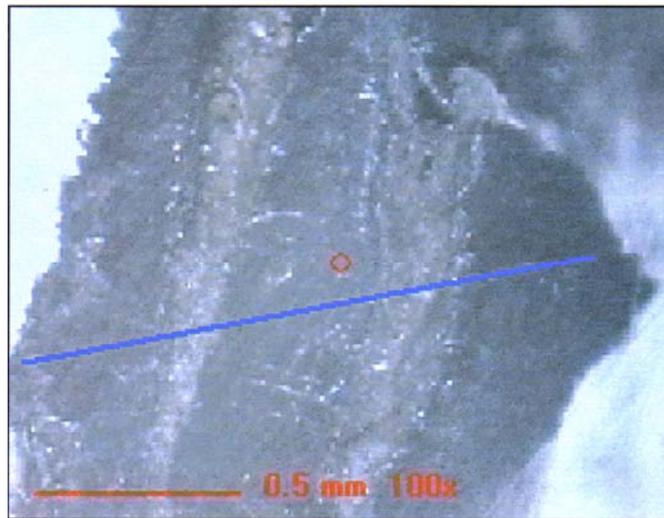


Fig.21: Muestra (OB.0604P2x5). Se introduce la muestra en la máquina y se obtiene la imagen de la muestra en el computador. Luego marcamos con una línea azul el sector que queremos que la máquina recorra y analice. A continuación se muestra el gráfico que muestra el resultado del análisis.

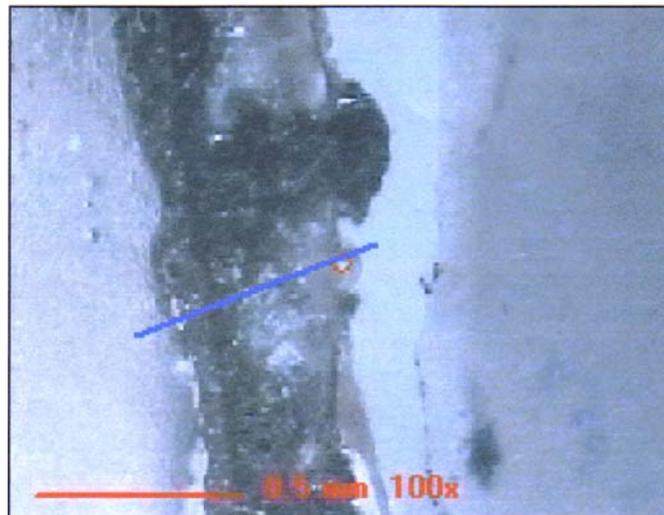


Fig.22: Muestra (OB.0604P3x5). Al igual que la imagen anterior la línea azul indica el sector de la muestra a analizar. A continuación se muestra el gráfico con el resultado del análisis de esta muestra.

Labor SLM, A. Voûte
Vision Linscan Plot 08-Apr-2004 16:07:24
ROI Integral Intensities Vertical Scale : Auto

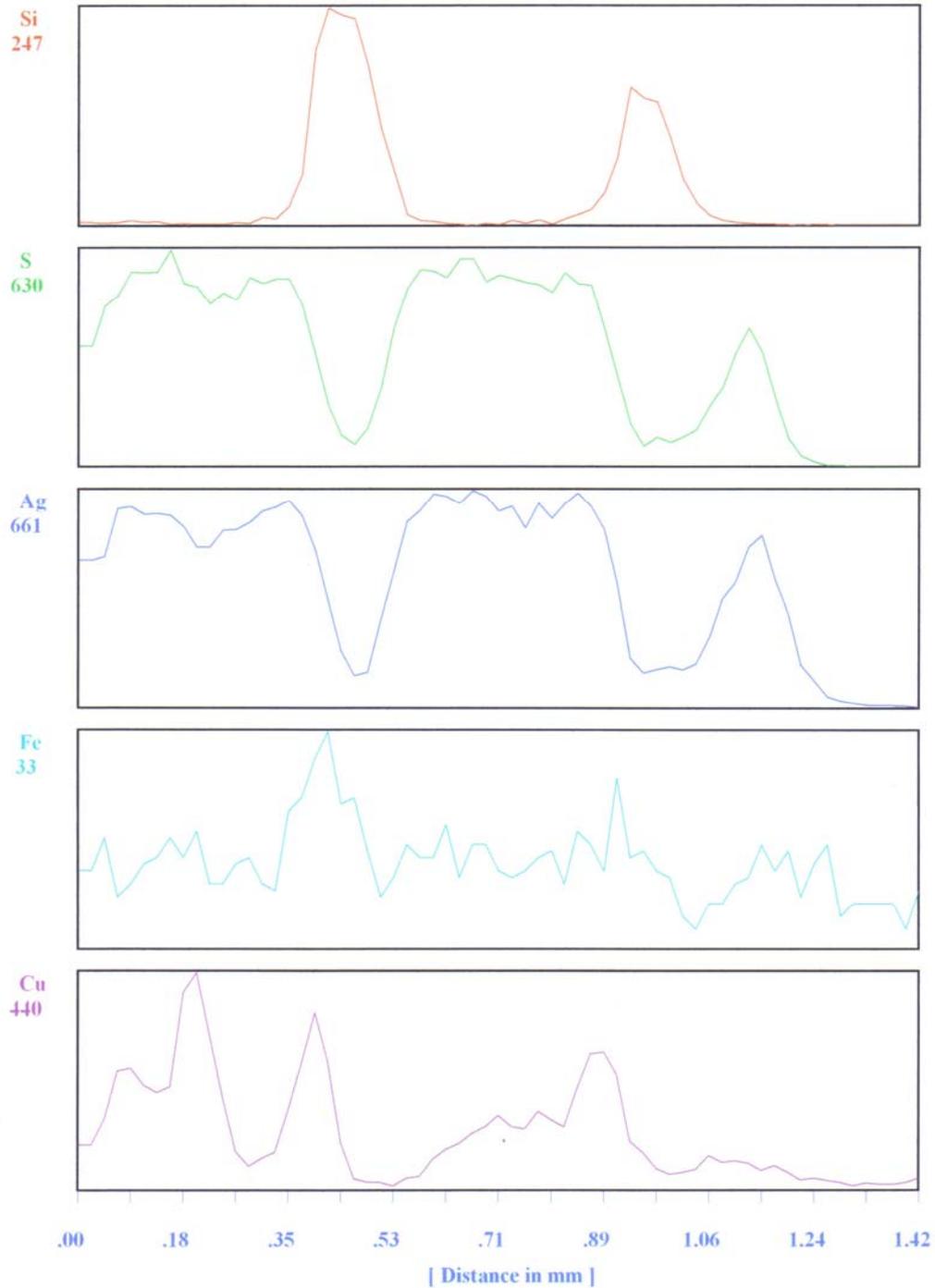


Tabla1: Resultados de la muestra (OB.0604P2x5).Acá observamos los niveles de plata y cobre que contiene nuestro objeto. Si superponemos estas 5 tablas y observamos de izquierda a derecha podemos ir ubicando - en la muestra, recorriendo la línea azul- la cantidad de cada elemento.

Tabla2: (Pág.siguiete) Resultados de la muestra (OB.0604P3x5).Acá observamos Ca como nuevo elemento.

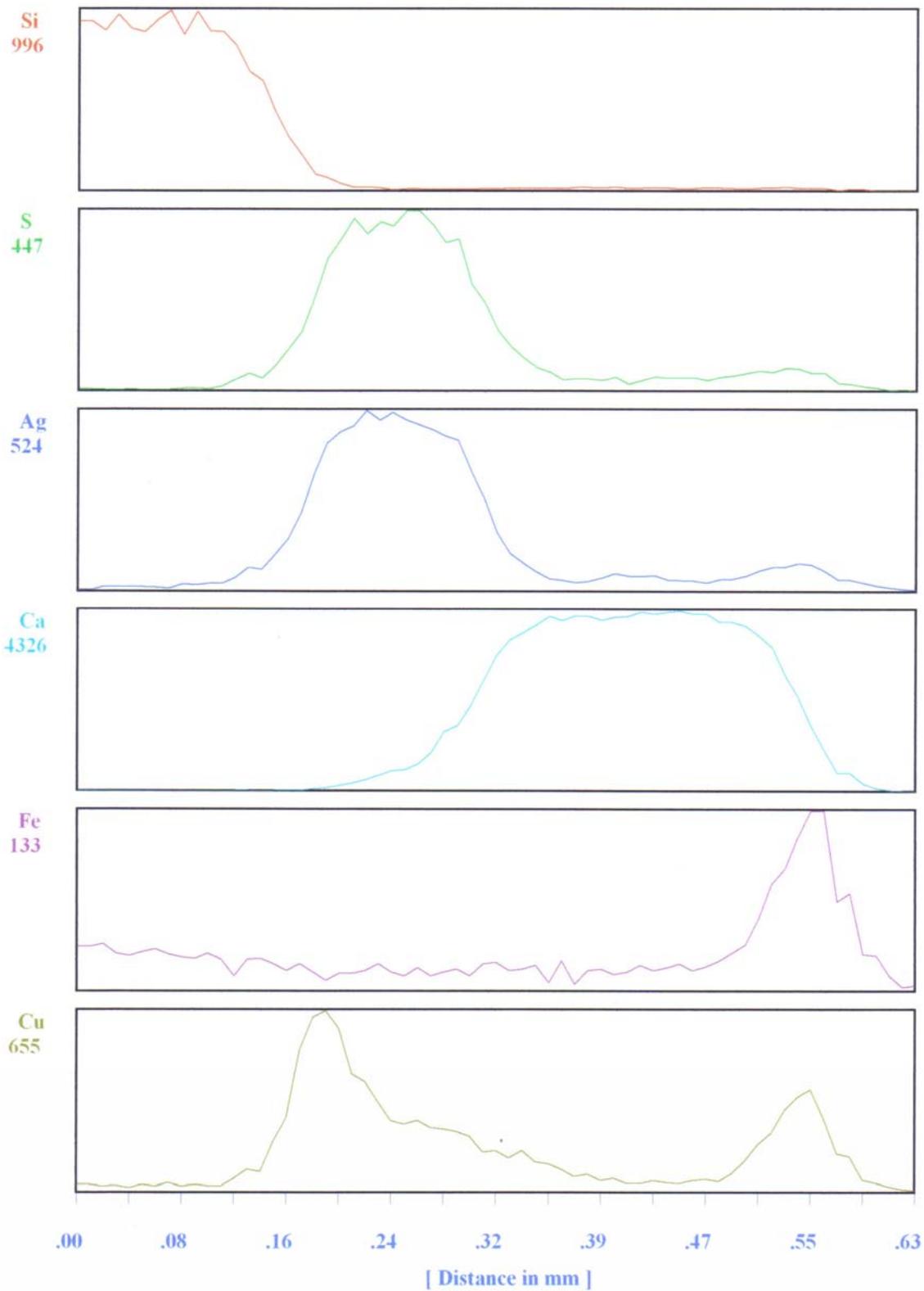
Labor SLM, A. Voûte

D:\marie\obp2ls.lsc

ROI Integral Intensities

Vertical Scale : Auto

08.04.2004 16:28:34



En la muestra *OB.0604P2x5*, observamos que las zonas más claras están compuestas en su mayoría por Silicio –como lo muestra la curva de la tabla- y entre estos compuestos de silicio tenemos los compuestos metálicos, como plata (Fig.23).

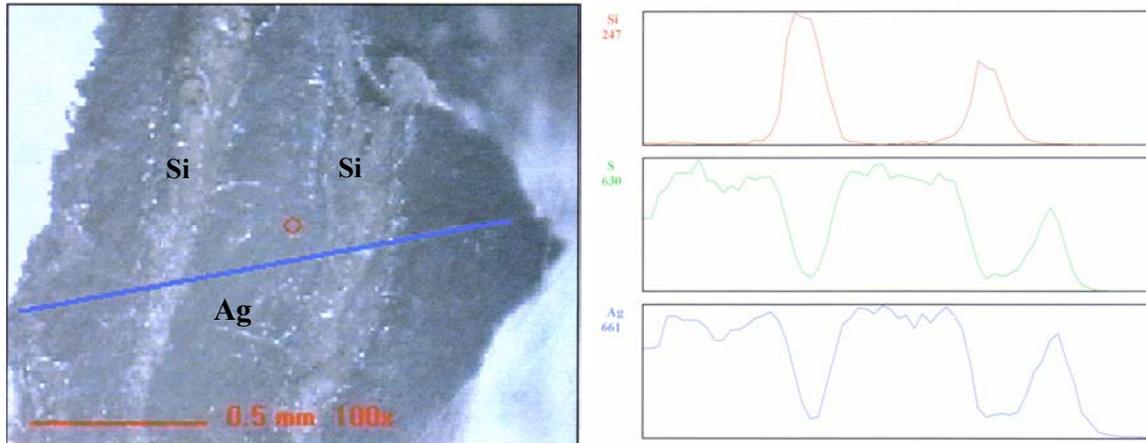


Fig.23 (Izq.) Muestra OB.0604p2x5, vemos marcados el Si y la Ag. A la derecha vemos el gráfico que nos muestra la ubicación de estos elementos.

Este resultado nos sirve para determinar el tipo de tratamiento a seguir. Con esto comprobamos que un baño químico sería muy arriesgado. A pesar de que esta muestra es de la capa metálica que cubre el plato, tal vez estos mismos elementos y disposición de estos, se encuentran en el núcleo metálico¹³, y como no estamos seguros de esto, no nos podemos arriesgar a realizar un baño químico –aunque la extracción de la calcita sería mucho más fácil y rápida químicamente que mecánicamente- ya que este podría deshacer y eliminar el silicio que se encuentra entre las capas lo que dejaría un espacio libre entre estas debilitando la estructura del objeto.

¹³ No fue posible extraer una muestra del núcleo metálico, ya que esto hubiera implicado sacar una parte del metal. Por este motivo fue preferible sacar muestras de la capa metálica exterior.

III. TRATAMIENTO DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN

A. Intervenciones realizadas

1. Descripción de las técnicas utilizadas:

Debido a que el borde del plato está despegado de las orillas, se debe consolidar de manera provisoria para así poder manipularlo; de lo contrario sería casi imposible poder realizar algún tipo de intervención en él ya que se dañaría más. Para esta consolidación se preparó Paraloid B72 al 10% ($\frac{10}{100}$) en acetona. Para lograr fijar el borde a la base del plato se utilizó fibra de vidrio.

Se cortan trozos rectangulares de fibra de vidrio y se coloca entre el borde y la base por el reverso del plato, luego con el Paraloid ya preparado, se va agregando con un pincel sobre la fibra de vidrio. Debido a que el Paraloid se preparó al 10%, tiene una consistencia más bien líquida, por lo tanto no es problema que ingrese a la fibra y se fije al plato por porosidad.



Fig.24: Reverso del plato con fibra de vidrio y Paraloid B72. Esta consolidación es provisoria y reversible. La fibra de vidrio y el Paraloid son fácilmente removidos con acetona.

El plato se deja secar toda la noche, y al otro día ya se puede comenzar a trabajar en él, porque la fibra de vidrio se endurece debido al Paraloid y queda una superficie estable. Cabe destacar que esta consolidación es provisoria, y que no hay ningún problema en removerla luego con acetona.

Al analizar el plato bajo el microscopio, se observó que los productos de corrosión que se encuentran en la superficie del plato, son fáciles de remover con un pincel suave. Al remover los productos de corrosión, se dejó al descubierto la capa de calcita que cubre todo el plato, y que es bastante dura. Bajo esta capa de calcita podemos apreciar la superficie original del plato. Para remover esta capa se utilizará sólo escalpelo, debido a que hay que



Fig. 25: Plato durante el tratamiento de remoción de la calcita.

tener cuidado al remover la calcita porque la superficie original se encontraría muy apegada a esta capa. Se utilizó escalpelo de hoja n° 15 y se trabajó bajo el microscopio 10x.

Para lograr sacar la capa de calcita, primero se abrió y se sacó una pequeña porción de esta capa con el escalpelo, y desde ese sector se pudo seguir sacando el resto de calcita. En algunas partes fue relativamente fácil de remover, pero en otras, la calcita era muy dura y estaba muy apegada a la superficie original, y fue imposible removerla, sin sacar al mismo tiempo partes de esta superficie. Además en el sector donde el



Fig. 26: Diferencia entre calcita, superficie original, metal original y sulfuro de plata.

plato presentaba faltantes, casi al llegar al borde, el metal se encontraba dividido en varias capas, por lo que hacía mucho más difícil la remoción de la calcita ya que era muy dura, y la estructura del metal era débil y porosa.

Bajo esta capa de concreción, se encontró una densa capa de color negro y bastante pulverulenta, al observarla bien bajo el microscopio, y luego de los análisis, se comprobó que se trataba de sulfuro de plata. Esta capa de sulfuros se removió fácilmente con un cepillo suave. Luego bajo la capa de sulfuros encontramos intacta la superficie original.

Pero a pesar de estar intacta, ésta no estaba en muy buenas condiciones ya que en muchas partes no estaba adherida al metal original, por lo que en muchas partes fue muy difícil mantenerla. En la superficie original se descubrieron marcas de cuchillo hechos del tiempo en que el plato se usaba en el barco.

La mayoría del proceso de remoción de la capa de carbonatos se llevó a cabo con escalpelo de hoja n° 15. Pero en un sector del objeto fue imposible remover la calcita con el escalpelo, por lo que se decidió utilizar la herramienta tipo neumática con un mini cincel adaptado (Miniburineur, Chicago Pneumatique Air-Scribe®). Al sacar la calcita con esta herramienta la superficie original se pudo mantener sin problemas.

Una vez que se ha removido toda la calcita, se limpia el objeto con un pincel suave y se pasa por toda la superficie una fresa dental con cabeza de algodón adaptada a un micromotor (Micromotor Kavo 4941), para sacar los restos de sulfuro de plata y polvo (producto de la concreción) que pudiera haber quedado.

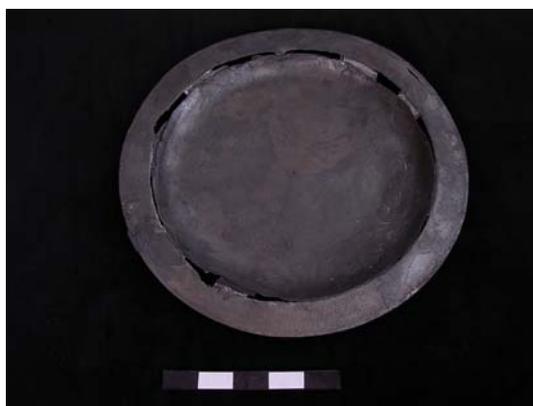


Fig. 27: Plato después de la extracción de la capa de calcita y productos de corrosión.

Una vez que se ha sacado la capa de calcita del anverso, ahora se prosigue a limpiar el reverso. En el reverso del plato se tiene muy pocas concreciones y productos de corrosión (sólo encontramos acantita). Sin embargo nos encontramos con un elemento nuevo: por toda la superficie del reverso del objeto existe una capa metálica (que se describió anteriormente en el capítulo I, punto 5). Ésta fue un tanto difícil de remover ya que era bastante dura. A pesar de esto, sólo se retiró con un escalpelo y bajo el microscopio de 10x, ya que si se hubiera utilizado la herramienta neumática o el escalpelo ultrasónico se pudo haber producido un grave daño a la superficie original, debido a que esta capa metálica era delgada. Esta capa se caracterizó por ser de un color gris oscuro a plateado, porosa pero dura en su consistencia. Al igual que en el anverso, a pesar de ser la superficie original homogénea en muchos sectores estaba muy

adherida a la capa metálica y no al metal original, por lo que nuevamente, fue difícil mantenerla.

En un sector del plato (cerca del borde) se removió la capa metálica y bajo ésta aparecieron restos de concreciones; estas tenían formas redondeadas y no formaban una capa si no que estaban esparcidas sobre la superficie original. La hipótesis que se manejó fue que tal vez en algún momento esta capa metálica se rompió dando paso a estas concreciones que se ubicaron entre la superficie original y la capa metálica exterior.

Para saber de qué tipo de concreciones se trataba se tomaron muestras de estas florescencias y se hizo la prueba de identificación de carbonatos con ácido clorhídrico. Este test dio positivo para carbonatos, por lo que ya estábamos seguros de que se trataba. Luego se retiraron todos los carbonatos con un escalpelo, y se siguió retirando la capa metálica.



Fig. 28: La figura de arriba muestra los carbonatos que están entre la superficie original y la capa metálica. La fotografía inferior muestra los mismos carbonatos pero ampliados.

En este mismo sector del objeto, al ir retirando la capa metálica y los carbonatos, se fueron descubriendo más capas de metal. Todas estas capas superficiales se retiraron, y se dejó sólo la superficie original. Estas distintas capas sólo se encontraron en este sector del plato, en todo el resto sólo se encontraba la superficie original, los sulfuros de plata y la capa metálica.

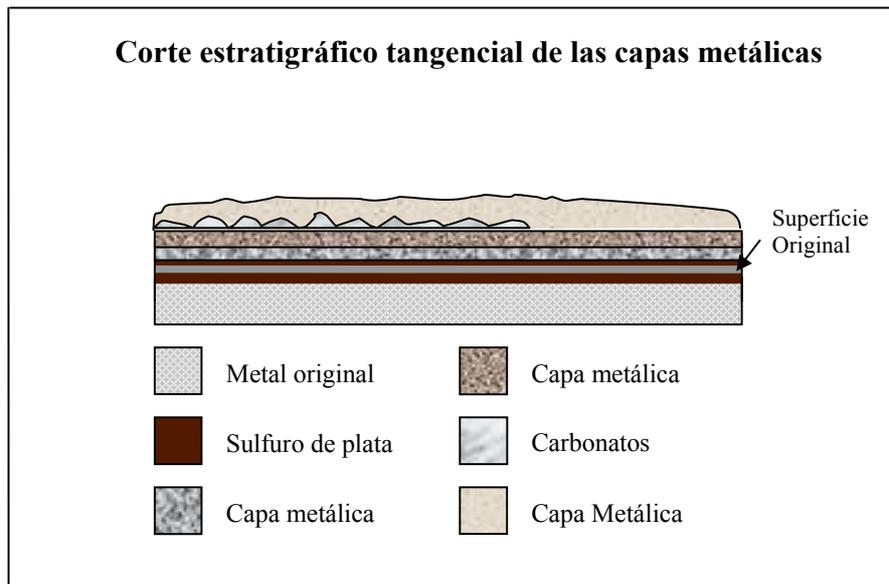


Fig.29: Corte estratigráfico de las diferentes capas que se encontraron en un sector del reverso del plato. En orden ascendente tenemos: Metal original, luego una capa de sulfuros, sobre esta la superficie original, y nuevamente una capa de sulfuros, luego encontramos dos capas metálicas, y sobre esta las florescencias de carbonatos. Sobre todas estas capas encontramos la capa metálica exterior.

Una vez que se han sacado todas estas capas y productos de corrosión del reverso, se limpia toda la superficie con un cepillo suave para eliminar los restos de polvo y sulfuro. Además se pasa nuevamente por la superficie del reverso, la fresa de algodón adaptada al micromotor. Al sacar los productos de corrosión y algunos carbonatos que se encontraban bajo el reborde, se encontraron los sellos de inscripción del orfebre TO/RES y el sello de la Ciudad de México.

Luego de que el plato ya está limpio, se deben consolidar los faltantes del borde del plato. Para esto se realizan pruebas con distintos tipos de Araldite y pigmentos. Se prueba la consistencia del pegamento, el color que se logra con los pigmentos y el tiempo de secado. Finalmente se decidió utilizar Araldite del tipo universal que seca en 7 horas. Este pegamento se mezcló con pigmentos minerales de color gris y negro, para lograr un color compatible con el del objeto. Por el reverso del plato se colocó un soporte para así poder agregar el pegamento por anverso. El Araldite se aplica con una espátula por todo el borde del plato. Se debe agregar bastante Araldite, ya que al tener una consistencia suave, se va desplazando hacia los lados. Por este motivo se debe trabajar conjuntamente con una tórula con acetona para ir removiendo los excesos de pegamento. Al ir secándose el Araldite, se fue desplazando nuevamente hacia los lados, por lo que se volvió a rellenar algunos

sectores. Todo este proceso llevó unos 3 días, ya que había que ir reponiendo el Araldite que se iba desplazando. Una vez seco se trabajó bajo el microscopio con un escalpelo para ir moldeando el pegamento con la forma del plato. Se trabaja además con acetona, la que se fue aplicando (en pequeña cantidad) por sobre el sector a trabajar, y ésta va reblandeciendo el Araldite por lo que se hace más fácil moldearlo. Pero este es un trabajo bastante largo, ya que se tuvo que rellenar casi todo el borde, por lo que modelar todo esto tomó mucho tiempo.

Una vez que se terminó todo el borde, se retiraron los soportes del reverso y además se retiró con acetona las fibras de vidrio que le daban estabilidad al objeto. Ahora es el Araldite el que le da soporte y estabilidad a la estructura. Una vez retiradas las fibras de vidrio, se limpian los excesos de Paraloid que pudo haber quedado (ya que éstas se habían fijado con Paraloid B72) con acetona; y ahora se comienza a moldear el reverso del plato con el Araldite que pudo haber quedado en exceso o que se haya salido del soporte que se colocó por detrás del plato.

Una vez que se ha terminado con el reverso del plato, se debe pulir. Para esto se preparó una pasta de carbonatos más etanol (3:1). Los carbonatos vienen en polvo y se debe mezclar con etanol para formar una pasta lo suficientemente acuosa como para que se pueda aplicar con una tórula. Esta pasta se pasa con movimientos circulares tanto por el anverso como por el reverso por toda la superficie del plato. Esta pasta es abrasiva pero muy suave, y permite eliminar los restos de sulfuro de plata, polvo o grasa que pueda haber quedado en la superficie del plato. En algunos sectores del objeto, se pasó conjuntamente con la fresa dental de algodón, para que el pulimento fuera un poco más fuerte.

Al secarse la pasta queda un polvo blanco en la superficie del objeto por lo que hay que enjuagarlo muy bien bajo el agua de llave y se deja secar.

A este objeto no se le aplicaron capas de protección, porque resulta difícil obtener una capa pareja. Si esta capa no es aplicada de la manera correcta, se corre el riesgo de que presente rayas o pequeños defectos, de modo de que si el objeto presentara nuevamente sulfuros el resultado final sería peor que si no se hubiera aplicado ningún tipo de capa¹⁴. Por este motivo, siempre se debe mantener el objeto en condiciones ambientales adecuadas.

¹⁴ Notas del ICC 9/7. Cuidado de la plata. Canadian Conservation Institute. Ottawa 1995

a) Fotografía:



Fig.30: Plato terminado por el anverso (arriba). En la fotografía inferior observamos el borde del plato con el Araldite que fue modelado para lograr la misma forma de la superficie.



Fig.31: Plato terminado por el reverso. En el borde, se puede observar una mayor diferencia entre la superficie original y el metal original, esto debido a que no se logró conservar la superficie original intacta, ya que la mayor parte de ella estaba adherida a la capa metálica. En la fotografía de abajo se observa el borde del plato (siempre por el reverso) en el cual se descubrieron las marcas de fábrica. Se puede observar a la izquierda de la fotografía TO/RES y la derecha de la imagen el signo que representaría el sello de la Ciudad de México

b) Materiales utilizados:

- Fibra de vidrio
- Paraloid B72
- Acetona
- Pincel o cepillo suave
- Escalpelo hoja n° 15 y Espátula de metal
- Herramienta tipo neumática con un mini cincel adaptado. (Miniburineur, Chicago Pneumatique SER.0250^a CP9361, Air-scribe® UK.)
- Fresa dental con cabeza de algodón adaptada a un micromotor (Micromotor Kavo EWL Typ 4941)
- Resina epóxica Araldite Bostik®
- Pigmentos minerales
- Pasta de carbonatos más etanol (3:1)

c) Evaluación de los resultados: A pesar de las dificultades que se tuvo para restaurar este objeto, por lo complejo de la tarea, creo que los resultados fueron buenos. Sin embargo me hubiera gustado mantener más la superficie original, y a pesar de los esfuerzos que se hicieron, esto no fue posible porque no se encontraba adherida al metal original.

Con respecto al reverso del plato, el conservador decidió que a pesar de que se observara una gran diferencia entre la superficie y el metal original, la primera *debe mantenerse* ya que esta contiene algunas marcas que dan cuenta de la utilización del objeto. Por lo tanto a pesar de que estéticamente no se ve homogéneo se mantuvo la superficie.

Creo que intervenir en este objeto fue una muy buena experiencia ya que me ayudó a comprender y a identificar la superficie original; además de las muchas capas que se pueden formar en un objeto. En este objeto era muy importante tener en claro cuál era la superficie original, ya que si esto no se sabía, fácilmente se pudo haber quitado toda, o por el contrario, tal vez la limpieza del objeto no hubiera sido buena. También fue una excelente experiencia realizar los análisis, ya que pude interactuar con los analistas, los cuales me enseñaron a preparar muestras, a interpretar los gráficos y en general a trabajar en conjunto con científicos lo cual es esencial en el trabajo de un buen restaurador.

B. Síntesis del tratamiento

1. Consolidación provisoria del borde con fibra de vidrio y Paraloid B72 por el reverso.
2. Remoción de los productos de corrosión con un cepillo suave por el anverso.
3. Extracción de capa de concreción (calcita) por el anverso con escalpelo y herramienta neumática.
4. Remoción de los sulfuros de plata con cepillo suave.
5. Limpieza de toda la superficie con micromotor y fresa dental con cabeza de algodón.
6. Extracción de capa metálica y productos de corrosión con escalpelo por el reverso.
7. Extracción de carbonatos con escalpelo.
8. Limpieza de la superficie del reverso con cepillo suave y fresa con cabeza de algodón.
9. Consolidación permanente del borde con Araldite Universal y mezclado con pigmentos.
10. Retiro de los soportes y fibra de vidrio del reverso con acetona.
11. Limpieza y pulimento de todo el objeto con pasta de carbonatos más etanol.
12. Lavado y enjuague del plato con agua de la llave y se dejó secar.

5.3 Cuchara

Ficha Técnica Cuchara

I. ESTADO GENERAL DEL OBJETO

A. Examen del objeto: Cuchara

1. Descripción general del objeto

a) Nombre o designación: Cuchara

b) Material: Plata

c) Dimensiones: Alto: 14,7 cm. Ancho más grande (parte cóncava): 4,4 cm. Ancho del mango: 0,4 cm.

d) Peso: 25 gramos

e) Forma: El mango se compone de una primera parte en balaustre, ornamentado por una pezuña de cabra que lo termina. Hacia la parte ovalada sigue en vástago en sección cuadrada, unido al balaustre mediante una molduración de cuatro líneas concéntricas. La parte ovalada de la cuchara es ancha y cóncava. El perfil general del objeto es una curva y una contra curva, lo que hace de ella una pieza rara, las cucharas del Renacimiento eran en general como los tenedores, de mangos rectos.

f) Técnicas de decoración: Esta cuchara llama la atención por su pequeño tamaño (al igual que los demás cubiertos –tenedores y cuchillos- encontrados en el naufragio), así como por la gracia de los detalles, el mango inspirado en la arquitectura, es de sección cuadrada finamente rematado con molduras de líneas concéntricas de forma también cuadrada como el mango, terminando en una pezuña de cabra¹.

g) Rastros de fabricación o de utilización: No se observaron marcas de utilización en la cuchara, pero por la documentación que se tiene del San Diego, se sabe que esta cuchara perteneció –junto con platos, copas y demás cubiertos de plata- a la vajilla que estaba reservada sólo para nobles y oficiales que viajaban en el barco.

h) Inscripciones, marcas, sellos: La cuchara –y en general ocurrió lo mismo en todos los cubiertos- no presentan ningún sello que permita precisar su origen.

¹ *Provoyeur, Pierre*. Artes de la mesa, joyas y objetos de devoción. En: Catálogo El San Diego. Un tesoro bajo el mar. Editado por Compañía Española de Petróleos, S.A. CEPSA. Madrid 1995.



Fig.1: Cuchara de plata por el anverso y reverso



Fig.2: Parte ovalada de la cuchara aumentada

i) Restauraciones anteriores: Se realizaron restauraciones en Francia – IRRAP- para quitar las concreciones de la cuchara. Se hizo un proceso electrolítico, y este no afectó la superficie original. Sólo se llevó a cabo para quitar la capa de concreción, pero los productos de corrosión se dejaron intactos.

2. Naturaleza de los materiales presentes

a) Metal: El material constitutivo de la cuchara es plata. Lo más probable es que ésta sea una aleación con cobre.

3. Descripción de alteraciones mecánicas

a) Deformaciones: El mango de la cuchara se encuentra en muy buenas condiciones, en general, no presenta ningún tipo de deformación. En el borde de la parte cóncava se observan algunas deformaciones producto de la pérdida de metal.

b) Desgaste o deterioro: El borde de la parte cóncava presenta desgaste producto de la abrasión producida en el mar. Además se observan varios faltantes por todo el borde, por lo que no se puede tener una real apreciación de la forma total de la parte cóncava.

En el sector inferior de la parte cóncava – donde va unida al mango- es donde se observa la mayor pérdida de metal, haciendo que este sector sea un tanto inestable; aunque no hay riesgos mayores de roturas.

c) Fragmentación: No presenta fragmentos.

d) Estado físico del metal: La cuchara presenta un buen estado del metal, no hay riesgos de roturas o de pérdida de fragmentos. Sólo en la parte inferior de la parte cóncava, es donde se observa más pérdida de metal. Pero en general la cuchara se encuentra en un buen estado, y hace más o menos fácil su manipulación.



Fig. 3: Faltantes que presenta la cuchara en su parte cóncava

4. Descripción de la corrosión

En este objeto se encontró los típicos productos de corrosión que se puede encontrar en objetos de plata. Las manchas negras que podemos observar en la superficie de la cuchara son sulfuros de plata, en la forma de Acantita Ag_2S .

También se observaron algunos cloruros inactivos. Estos cloruros están inactivos ya que el objeto fue sometido a un baño de electrólisis para remover la concreción; además al momento de extraer el objeto del mar, se le hizo un tratamiento de desalinización, con esto se quiere proteger al objeto de un cambio brusco de ambiente, y a la vez se extraen los cloruros.

En el reverso de la cuchara, en el borde el mango, que va unido a la parte cóncava, se encontró un pequeño porcentaje de productos de corrosión del hierro, en la forma de óxido de hierro. Este producto de corrosión, se caracteriza por ser poroso, y de un color negro y naranja.



Fig. 4: Aca observamos en la superficie sulfuro de plata de color negro.



Fig.5: En esta imagen podemos observar los productos de corrosión del hierro que se encuentran en la parte posterior del objeto. Estos productos de corrosión sólo se encuentran en este lugar, y presentan un color negro y pequeños sectores de color naranja.

Estos tres, fueron los únicos productos de corrosión que se encontraban presentes en la cuchara. Ésta no presentaba ni concreciones marinas, ni productos de corrosión del cobre.

En cuanto a la superficie original, se encuentra en buen estado y está adherida al metal original. En la superficie se observan algunos orificios y faltantes, producto de la capa de concreción que rodeó a la cuchara y también debido a la abrasión del mar. La superficie original es fácilmente observable, ya que la capa de sulfuros que cubre a la cuchara no es homogénea y no cubre toda la superficie.

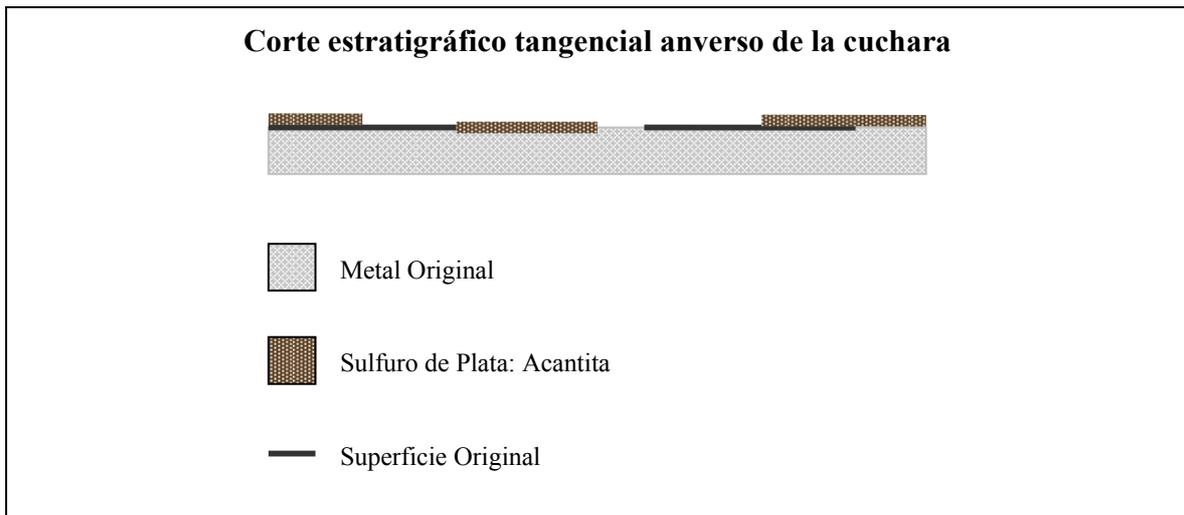


Fig.6: En este corte podemos observar que el núcleo metálico se encuentra en buenas condiciones y conserva en gran parte la superficie original. Acá vemos sólo productos de corrosión de la plata (Acantita).

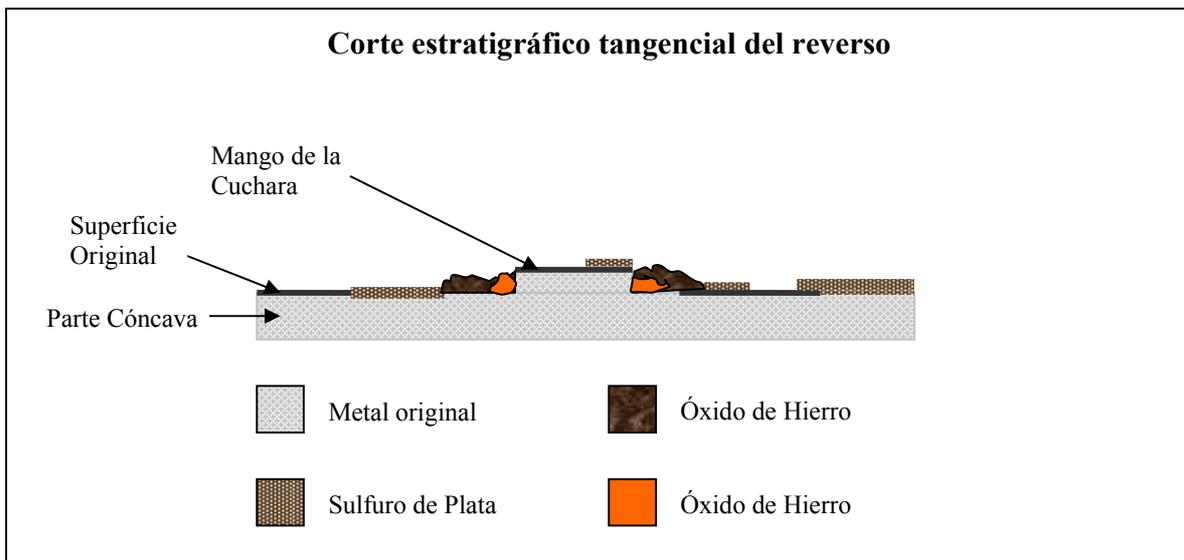


Fig.7: En el reverso de la cuchara observamos dos tipos de productos de corrosión: Acantita y productos de corrosión del hierro. Se encontró productos de corrosión del hierro en el objeto, probablemente por la corrosión galvánica que se pudo haber producido en el fondo marino. Al igual que en el anverso, la superficie original y el metal original se encuentran en buenas condiciones.

B. Estudio Documental

1. Naturaleza y estatus del objeto

a) Nombre: Cuchara

b) Número de inventario actual: IV-9102-4525

c) Estatus jurídico del objeto: propietario actual, disposiciones particulares: el propietario actual de las piezas es el señor Goddio. Las piezas se encuentran en tránsito en Suiza (Ginebra), para luego ser transportadas –después de la restauración- a Portugal.

2. Historia del Objeto

a) Procedencia, lugar de origen y fecha propuesta: A pesar de que no se tienen marcas o inscripciones que den a conocer el lugar de origen de la cuchara, las investigaciones que han realizado los autores de los catálogos y publicaciones sobre el naufragio del San Diego, han permitido situar su fabricación en México, y su fecha anterior al 1600.

b) Autor, fabricante, taller (firmas, inscripciones, sellos de fabricación): Desconocido

c) Catálogo de origen: El San Diego. Un tesoro bajo el mar. Editado por Compañía Española de Petróleos, S.A. CEPSA. Madrid 1995.

d) Propietario anterior: No ha habido ningún propietario anterior al Sr. Franck Goddio.

e) Contratos, reportes (reparaciones, restauraciones, etc.): Restauración realizada por el Instituto de Restauración y de Investigaciones Arqueológicas y Paleometalúrgicas (IRRAP) en Compiègne, Francia.

f) Publicaciones (libros, catálogos de exposición, catálogo de ventas, etc.):

- El San Diego. Un tesoro bajo el mar. Editado por Compañía Española de Petróleos, S.A. CEPSA. Madrid 1995.
- Piezas Arqueológicas de la Nao San Diego en el Museo Naval de Madrid. Lunweg Editores S.A. Madrid 1999.
- El Primer y último combate del San Diego. Revista española de defensa N° 142 Diciembre 1999.
- Die Schätze der San Diego. *Jean-Paul Desroches, Gabriel Casal, Franck Goddio.* Berlin, Argon, 1997.
- Treasures of the San Diego. *Jean-Paul Desroches, Franck Goddio and Gabriel Casal (editors).* Association Francaise d'Action Artistique, Paris France 1996.

- Das Geheimnis der San Diego. *Franck Goddio*. Schweizer Verlagshaus, Zürich 1996.
- Das Geheimnis der San Diego. Geschichte u. Entdeckung eines im Südchinesischen Meer versunkenen Schatzes. *Franck Goddio*. Schweizer Verlagshaus, Zürich 1994.
- SAN DIEGO, An Account of Adventure, Deceit, and Intrigue. In National Geographic Magazine, volume 186, No.1, July 1994. *Franck Goddio*. Washington. 1994.
- LE MYSTERE DU SAN DIEGO - Histoire et découverte d'un trésor englouti en mer de Chine. *Franck Goddio*. Robert Laffont. 1st Ed. Paris. 1994.

g) Contexto de descubrimiento: Los objetos fueron descubiertos entre los sedimentos del fondo marino a 50 metros de profundidad en el Mar de China, en la Isla Fortuna. Filipinas.

3. Función del objeto

a) Función de origen: Objeto creado para coger los alimentos. Pero fue hecho –junto con los demás cubiertos- exclusivamente para el uso de oficiales y nobles que iban en el barco.

b) Documentación de otros objetos que presenten funciones análogas: En el catálogo se mencionan las características de otros cubiertos encontrados también en el naufragio. Este grupo lo conforman tres tenedores, una cuchara y cuchillo enteros, completado por una gran cantidad de restos de cubiertos. Estos cubiertos no presentan ningún sello que los identifique. La mayoría presenta rasgos de decoración similares: motivos arquitectónicos, secciones cuadradas rematadas con molduras que terminan en cariátides o pezuñas de cabra. Los tenedores por ejemplo, fueron elaborados



Fig 8: Distintos tipos de cubiertos que se encontraron en el naufragio

para cogerlos por la extremidad de los dedos y no para apoyarlos en la palma de la mano, estos evocan una manera delicada y preciosa de coger los alimentos, muy poco adaptada al cabeceo y balanceo del San Diego² .

C. Síntesis del estado general del objeto

El objeto se encuentra en buenas condiciones mecánicas. A pesar de presentar faltantes, estos no ponen en peligro su estructura. En cuanto a la corrosión se identificaron tres tipos: Sulfuro de plata (acantita), Cloruros de plata y Óxido de hierro. Éste último está presente en el objeto debido a la corrosión por galvanización que se produjo en el mar. Por el momento estos productos de corrosión se encuentran inactivos, debido a la desalinización que se llevó a cabo en Filipinas, permitiendo de esta manera la estabilización del objeto.

² *Provoyeur, Pierre. Op.Cit*

II. DIAGNÓSTICO

A. Observación de las alteraciones y propuesta de intervención

Al analizar el objeto bajo el microscopio de 10x se observó capas de sulfuro de plata (Acanthita). Además de este producto de corrosión, en el reverso de la cuchara (parte cóncava) se encontraron productos de corrosión del hierro.

Estos productos de corrosión del hierro se encuentran en la cuchara debido a la corrosión galvánica que se pudo haber producido bajo el mar. Este tipo de corrosión se produjo entre metales distintos que en algún momento estuvieron cerca (en este caso plata y hierro), produciéndose un flujo de electrones entre los metales con distinto potencial eléctrico, permitiendo así que los productos de corrosión del hierro se hayan “alojado” en la cuchara.

Debido a que se observa un núcleo metálico en buenas condiciones y una superficie original intacta y también en buen estado, se decidió someter a la cuchara a un baño químico para extraer el sulfuro de plata. No nos inclinamos a una remoción de productos de corrosión por tratamiento mecánico, debido a que la capa de sulfuros es delgada y compacta, por lo tanto si se utilizara el escalpelo se podría rayar y dañar la superficie original.

El proceso del tratamiento químico consiste en poner en contacto el objeto con una solución que disuelve los productos de alteración de la superficie, los cuales deben ser removidos cuidadosamente luego del tratamiento. La solución más adecuada será la que remueve el máximo de productos de corrosión, y un mínimo o nada de plata. Es muy importante no olvidar que la mayoría de los objetos de plata consisten en aleaciones con cobre, y el cobre puede ser atacado severamente por productos químicos a los cuales la plata puede ser resistente (Costa, Virginia 2001). Por este motivo hay que tener cuidado en elegir el tipo de químico que se utilizará para el tratamiento. Por lo tanto antes de realizar el baño químico a nuestro objeto, se harán varios test a cucharas de prueba de plata, que se encontraron en una excavación, para probar que tratamiento es el más adecuado. Estas pruebas se detallarán más adelante.

La cuchara además de los productos de corrosión presenta faltantes en su parte cóncava. Pero estos no se van a restaurar ya que se quiere dejar a la vista la “antigüedad” de la cuchara y el tiempo que estuvo bajo el mar. Si se llagaran a reparar estos faltantes se estaría cometiendo un falso histórico con respecto a la edad del objeto.

Una vez que se ha elegido que tipo de químico se utilizará para el tratamiento de la cuchara, se deben seguir varios pasos luego del baño. Primero deben controlarse los tiempos en que el objeto puede estar sumergido, ya que si dejara por muchas horas, el objeto podría sufrir daños irreparables (como la pérdida de la superficie original, o más grave, la pérdida del objeto). Por eso mientras se esté haciendo el baño químico se debe estar controlando constantemente el proceso, y si se notara cualquier desprendimiento de partes de la cuchara, éste se debe suspender inmediatamente. A la vez se debe ir controlando bajo el microscopio la remoción de los sulfatos. Una vez que se haya terminado el baño deben hacerse varios lavados.

Debido a que no se quiere que el químico siga actuando sobre el objeto, éste se debe someter a varios procesos de lavado para quitar todos los restos. Luego de los baños y limpiar el objeto con un cepillo suave para remover los restos de sulfuro se dejará secar.

B. Pruebas y análisis

Antes de trabajar con la cuchara que se rescató del naufragio, se probará que solvente es el más adecuado para aplicar sobre este objeto. Para esto se harán pruebas con cinco cucharas de plata distintas que fueron encontradas bajo tierra. A cada cuchara se le aplicará un solvente distinto en un tiempo determinado, se lavarán, dejarán secar y se verá la reacción de los objetos hacia el solvente que se les aplicó. Cada cuchara presenta productos de corrosión por sulfuros de plata y una, productos de corrosión del cobre.

Antes de hacer las pruebas con los solventes se consultó bibliografía para saber las reacciones que pudieran tener los objetos con estos químicos.

Prueba N° 1 con Ditionita de Sodio ($Na_2S_2O_4$)

Este compuesto se usa como baño reductor de sulfuros (Scott, David 2002)³. Para esto se preparó la siguiente solución:

Preparación de Ditionita de Sodio al 5% p/v

.Ditionita de sodio 25 gr.

.Agua de la llave 500 ml

Para preparar la solución se agrega el sodio al agua y se revuelve bien. Esta debe prepararse en el momento en que se va a utilizar, de lo contrario se oxida y ya no sirve. Para manipular esta solución se debe tener mucho cuidado, se debe usar guantes y no inhalar la solución.

Se coloca la solución en un contenedor y se sumerge rápidamente el objeto. El contenedor debe estar sellado para evitar que ingrese más oxígeno a la solución y esta se oxide. Hay que tener cuidado en manipular la solución ya que es tóxica e irritante.

Al sumergir el objeto en la solución no se observó ningún cambio importante, en este o en la solución. Se decidió dejar el objeto por 48 horas para observar si hay algún cambio. Luego el objeto se lava y se deja secar.



Fig.9: La fotografía de la izquierda muestra la cuchara antes del tratamiento. Aquí podemos observar que el objeto está cubierto completamente por sulfuro de plata. En la fotografía de la derecha vemos la cuchara después del tratamiento por 48 horas con $Na_2S_2O_4$.

³ McLeod. 1981, 1982, 1987b. cit. por Scott, David. En: Copper and Bronze in Art. Corrosion, colorants, conservation. The Getty Conservation Institute. Los Angeles. California 2002

Resultados: A pesar de que la ditionita de sodio removió algo de sulfuros, y los soltó, éstos no salieron en un 100 por ciento, por lo que el resultado no fue satisfactorio. Por este motivo se decidió que a este mismo objeto se le aplicará carbonatos mezclados con etanol (3:1) para remover el resto de los sulfuros que pudieran estar sueltos.



Fig. 10: Cuchara después del tratamiento con ditionita de sodio más carbonatos con etanol

Una vez que se aplicó la pasta en forma circular⁴ la cuchara se enjuagó y se dejó secar.

Esta vez el tratamiento con ambos compuestos fue bastante efectivo, ya que se logró retirar todos los sulfuros y se dejó una superficie libre y limpia de productos de corrosión y no se observó ningún efecto negativo sobre la superficie original o sobre el metal original. El tratamiento en su totalidad, sólo se efectuó en la parte cóncava de la cuchara para así apreciar mejor el efecto del solvente en el objeto

Prueba N° 2 con Ácido Fórmico

El ácido fórmico (Plenderleith, 1988) es bueno para trabajar con objetos arqueológicos, ya que además de remover los productos de corrosión de la plata (no es tan efectiva como otras soluciones), también remueve los compuestos de cobre. En realidad más que remover los sulfuros, esta solución lo que hace es remover los productos de corrosión del cobre en objetos de plata.

Preparación de Ácido Fórmico al 5% en agua (%)

.Ácido Fórmico	25 gr.
.Agua	500ml

Como se dijo anteriormente, esta solución sirve para eliminar los productos de corrosión del cobre, que puedan tener los objetos de plata. Pero esta solución no es muy efectiva en eliminar los sulfuros. Para manipular el ácido fórmico se debe utilizar guantes.

⁴ Esta pasta al ser inocua, se puede pasar perfectamente sólo con los dedos. Si se prefiere también se puede aplicar con un guante de látex.

Para esta prueba se eligió la cuchara que presentaba productos de corrosión del cobre. Se colocó la cuchara en un baño de una hora en ácido fórmico. Luego del baño se lavó y enjuagó la cuchara con abundante agua para eliminar los restos del solvente y se dejó secar.



Fig. 11: En esta cuchara se hizo el tratamiento sólo en la parte cóncava con ácido fórmico para así observar mejor la reacción del objeto, y se dejó el mango de la cuchara sin tratar.

Resultados: Los productos de corrosión del cobre se disolvieron en la solución y se eliminaron sin ningún problema. Pero la superficie original de la cuchara cambió drásticamente de color y se tornó de un color café oscuro, quedando en algunos sectores el metal original a la vista.

Prueba N° 3 con Hidróxido de Sodio ($NaOH$) más Ditionita de Sodio ($Na_2S_2O_4$)

Este método en particular fue propuesto primero por McLeod y North en 1979 para la conservación y corrosión de la plata. El objeto a tratar se debe sumergir rápidamente en la solución, y el contenedor se debe sellar para evitar así que el oxígeno ingrese a la solución debido a que se podría oxidar. Este agente es un fuerte reductor, por lo que hay que usarlo con cuidado ya que se podría alterar la superficie original del objeto, o incluso algunos objetos se podrían desintegrar con el uso de este agente (Scott, David 2002).

Se comprobó que este agente además de ser reductor, también es muy efectivo en la eliminación de iones de cloruro, incluso más que el Benzotriazol, el Ácido Cítrico y Sodio Sesquicarbonato; sin embargo esto no implica que se deba preferir este tratamiento a los mencionados anteriormente. Para la prueba se preparó la siguiente solución (McLeod 1987)

<u>Preparación de Hidróxido de Sodio más Ditionita de Sodio</u>	
.Hidróxido de sodio ($NaOH$)	40 gr.
.Ditionita de Sodio ($Na_2S_2O_4$)	50 gr.
.Agua	1 lt.

Debido a que la cantidad que se propone en la bibliografía es mucha, para esta prueba se utilizará sólo medio litro. Por esto las proporciones finales se dejaron en 20 gramos de $NaOH$, más 25 gramos de $Na_2S_2O_4$ por 500ml.

Hay que tener mucho cuidado al manipular esta solución ya que es muy tóxica. Siempre se debe utilizar guantes de látex ya que el hidróxido de sodio es muy irritante. Además la solución de hidróxido de sodio y ditionita de sodio es muy tóxica y por ningún motivo se debe inhalar la solución.

Se sumergió en la solución solo una parte de la cuchara por un par de horas. Para que no ingresara el oxígeno a la solución el contendor se cubrió con papel film. Luego del baño, se lavó y se enjuagó bien el objeto y se dejó secar.



Fig.12: La fotografía de la izquierda muestra la cuchara sin el tratamiento, este objeto está completamente cubierto de sulfuros. En la fotografía de la derecha vemos la cuchara después del tratamiento con Hidróxido de sodio más Ditionita de sodio.

Resultados: Con esta solución observamos que hay mayor eliminación de sulfuros. No se presentó ningún problema al aplicar este agente al objeto, y la superficie original y el metal original se mantuvieron intactos. Todavía quedan algunos restos de sulfuros en la superficie pero estos se pueden eliminar fácilmente con un cepillo y con carbonatos más etanol.

Prueba N° 4 con Thiourea

Esta solución remueve el cloruro de plata ($AgCl$) y el sulfuro de plata (Ag_2S) o acantita (Costa, Virginia 2001)

Preparación de Thiourea al 5% $\frac{p}{v}$

.Thiourea 12,5 gr.
.Agua 250 ml.

Para manipular esta solución se deben utilizar guantes, y hay que evitar inhalarla.

Esta vez no se sumergirá el objeto en un baño como en las pruebas anteriores sino que se aplicará el solvente con una tórula, para probar otros sistemas de aplicación.

Se pasó la tórula con Thiourea por toda la superficie del objeto, pero los sulfuros no salieron en su totalidad, sólo en algunos sectores. Este tratamiento con la tórula se demoraba mucho tiempo y no fue tan efectivo, por lo que se decidió sumergir el objeto en un baño. Se sumergió el objeto por una hora, y hubo mejores resultados esta vez. Luego del baño se lavó con abundante agua el objeto y se dejó secar.

Resultados: Aunque con el baño el resultado fue mucho mejor que con la tórula, de todas maneras no salieron los sulfuros en su totalidad, y la cuchara quedó con un aspecto de manchada. De todas maneras este baño no produjo ningún efecto negativo sobre la superficie original.



Fig. 13: En la mitad izquierda de la cuchara podemos observar el tratamiento con Thiourea y en la mitad derecha vemos la cuchara sin tratar.

Resultado de las Pruebas: Luego de probar los distintos solventes en las cucharas se decidió finalmente que el mejor tratamiento para nuestro objeto sería la aplicación de un baño de Hidróxido más Sodio Ditionita de Sodio. A pesar de que este agente reductor es fuerte; es igualmente efectivo, y la cuchara proveniente del naufragio tiene un buen núcleo metálico y la superficie original se encuentra en buenas condiciones. Además esta solución sirve de protección, a su vez, para los iones de cloruros.

III. TRATAMIENTO DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN

A. Intervenciones realizadas

1. Descripción de las técnicas utilizadas:

Antes de introducir la cuchara en el baño químico, se analiza su estructura bajo el microscopio de 10x para comprobar el estado del núcleo metálico y de la superficie original. Luego que se comprobó el buen estado de la cuchara se prepara la solución de hidróxido de sodio más ditionita de sodio

Preparación de Hidróxido de Sodio más Ditionita de Sodio

.Hidróxido de Sodio ($NaOH$) 40gr.

.Ditionita de Sodio ($Na_2S_2O_4$) 50gr.

.Agua 1 lt.

Para preparar esta solución se agrega primero el Hidróxido de Sodio y se espera a que se disuelva completamente. Luego se agregó Ditionita de Sodio y la solución se revuelve. Hay que tener mucho cuidado en manipularla ya que el hidróxido de sodio al contacto con la piel es tóxico. También hay que evitar inhalar la solución, por eso es preferible trabajar bajo un extractor de aire.

Luego medimos el pH de la solución (aunque sabemos que es bastante básico por el hidróxido de sodio, es preferible tener la medida exacta). Es necesario medir el pH, debido a que sumergiremos el objeto, en una solución bastante básica, por lo que al ir haciendo los lavados debemos ir bajando el pH, hasta alcanzar un pH neutro en el enjuague final.

Para medir el pH se utilizó varillas de papel Merck que van de 1 a 14. Al medirla, el color de la varilla cambió inmediatamente dando un pH 13.

Luego de la medición se introduce el objeto en la solución y se sella el contenedor completamente con papel film, para evitar el ingreso de mucho oxígeno.

Al sumergir la cuchara notamos inmediatamente el desprendimiento de los sulfuros y los productos de corrosión del hierro. Observamos claramente un cambio en la superficie de la

cuchara. Dejamos el objeto en la solución solamente por una hora, ya que este tiempo es suficiente para soltar los productos de corrosión. Si dejáramos la cuchara por más tiempo, se podría producir un daño irreparable en la superficie original, ya que esta solución es un agente reductor muy fuerte.



Fig.14: Imagen izquierda. Cuchara después del baño con NaOH más $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$. Aquí observamos que todavía quedan sulfuros en la superficie. Pero estos ya no están adheridos por lo que son fácilmente removibles con un cepillo suave. En la imagen derecha observamos el detalle de la parte cóncava.

Luego sacamos el objeto con guantes y lo enjuagamos. Ahora se debe realizar el proceso de lavado.

Para el lavado, llenamos otro contenedor limpio con agua de la llave. Se introduce la cuchara y se mide el pH del agua, y este nos da 8,5. Este baño se realiza sólo por 20 minutos. Luego se saca la cuchara, se vacía el contenedor y se vuelve a llenar nuevamente con agua de la llave por otros 20 minutos. Esta operación la repetimos 2 veces más, para asegurarnos que todos los residuos del solvente se eliminen. Luego de los sucesivos baños, en el último, medimos el pH del agua con la cuchara dentro, para asegurarnos que este haya bajado. Al medirlo, nos dio un resultado de 7,5.

Luego de este último baño, se cambia el agua nuevamente, pero esta vez por agua destilada. Se mide el pH de esta agua y nos da 5.

Este baño se hace durante dos días, para asegurarnos que no quede ningún trazo del químico, ya que si quedara podría seguir actuando sobre la superficie del objeto. Luego se mide el pH nuevamente, pero esta vez con el objeto dentro, y nos da cercano a 7.

Una vez que ha terminado este baño, trabajamos con la cuchara bajo el microscopio de 10x. Se observa bien si la superficie está en buenas condiciones, y luego con un cepillo suave vamos removiendo los sulfuros que quedaron en la superficie.

Luego de que se han removido casi todos los sulfuros, se prepara la pasta de carbonatos ($CaCO_3$) más etanol (3:1), para sacar los restos de productos de corrosión que no salieron con el cepillo, y además para dejar una superficie ligeramente pulida.

Debido a que con la pasta de carbonatos al secarse queda una superficie blanca sobre la cuchara, la sumergimos por unas horas en un baño con etanol.

Luego del baño se lava la cuchara con abundante agua y la dejamos secar.

Con el baño químico se eliminaron todos los sulfuros, pero la superficie de la cuchara quedó muy limpia y sin sulfuros, por lo que daba un aspecto de ser de aluminio y no de plata. Por este motivo, se decidió darle una pequeña pátina artificial, para resaltar los relieves y para que de la impresión realmente de ser un objeto arqueológico.

Para este patinado utilizamos ebonita. Esta es de color negro y muy líquida, pero se seca con rapidez por lo que decidimos diluirla con etanol. Con un pincel muy delgado aplicamos la ebonita por la superficie y sobre todo por los relieves. El exceso se puede remover con una tórula con algodón.

Luego de la aplicación de la ebonita dejamos la cuchara secar.

No se aplicó capas de protección a la cuchara, ya que el mismo químico que se le aplicó en un principio -de acuerdo a la literatura- serviría como capa de protección. Además, si se aplicara protección resultaría difícil obtener una capa pareja. Si esta capa no es aplicada de la manera correcta, se corre el riesgo de que presente rayas o pequeños defectos, de modo de que si el objeto presentara nuevamente sulfuros, el resultado final sería peor que si no se hubiera aplicado ningún tipo de capa⁵. Por este motivo, siempre se debe mantener el objeto en condiciones ambientales adecuadas.

⁵ Notas del ICC 9/7. Cuidado de la plata. Canadian Conservation Institute. Ottawa 1995

a) Fotografía:



Fig.15: Cuchara después del tratamiento químico, anverso y reverso.



Fig.16: Detalle de la parte cóncava de la cuchara por el anverso y el reverso. En la fotografía inferior vemos que ya no quedan rastros de los productos de corrosión del hierro.

b) Materiales utilizados:

- Hidróxido de Sodio ($NaOH$)
- Ditionita de Sodio ($Na_2S_2O_4$)
- Varillas de medición de pH Merck (1-14)
- Agua destilada
- Cepillo Suave
- Pasta de carbonatos ($CaCO_3$)
- Etanol
- Ebonita

c) Evaluación de los resultados: A pesar de tener ciertos reparos en un principio con respecto a aplicar el baño químico por ser un reductor muy fuerte, este funcionó muy bien, no provocó ningún daño a la superficie ni al metal original y eliminó todos los productos de corrosión proporcionando una capa de protección al objeto para los cloruros.

Pero a pesar de tener buenas propiedades no hay que descuidar el uso de este tratamiento químico, y hay que aplicarlo sólo cuando se compruebe que el objeto va a ser capaz de soportarlo. Los resultados de este baño fueron bastante buenos, se logró despejar la superficie de la cuchara sin dañar el metal.

En este caso el tratamiento fue positivo pero hay que hacer varios test primero ya que este tipo de tratamiento no siempre es el más adecuado para un objeto.

B. Síntesis del tratamiento

1. Preparación de la solución $NaOH$ más $Na_2S_2O_4$.
2. Se mide el pH a la solución.
3. Se sumerge el objeto por una hora. El contenedor debe estar bien sellado.
4. Luego del tratamiento químico se hacen sucesivos baños de enjuague a la cuchara con agua de la llave, siempre midiendo el pH de la solución.
5. Se sumerge la cuchara en agua destilada por dos días para eliminar los restos de la solución que pudiera haber quedado en la superficie del objeto.
6. Bajo el microscopio de 10x se remueven los restos de sulfuro con un cepillo suave.
7. Se aplica por toda la superficie una pasta de carbonatos.
8. Debido a que la superficie queda blanca por la pasta de carbonatos se hace un baño con etanol por un par de horas.
9. Se aplica una pátina artificial de ebonita.
10. Se deja secar

5.4 Conservación preventiva y mantenimiento de metales

De acuerdo a las notas del ICC sobre Almacenamiento de Metales, para proteger los objetos y evitar que se vuelva a formar corrosión sobre estos se deben mantener en un lugar limpio y en lo posible con humedad y temperatura controladas.

La humedad relativa es un factor muy importante en la corrosión de los metales, ya que la mayoría se corroe más rápidamente en condiciones de humedad. Para que el almacenamiento de los objetos metálicos sea óptimo, la humedad relativa debe ser lo más baja posible en un rango que puede variar entre 35 y 50%.

Si los objetos se van a ubicar en depósito, éste debe estar libre de polvo, debido a que el polvo que se asienta sobre los metales retiene humedad. En zonas urbanas el polvo puede contener contaminantes tales como compuestos de azufre, que pueden deslustrar la plata por ejemplo. Todos los cloruros absorbidos por el polvo de los objetos metálicos aceleran la corrosión del metal.

El depósito debe tener también suficiente circulación de aire como para que se mantenga una temperatura y humedad parejas y se evite la acumulación de gases nocivos, tales como vapores volátiles ácidos o alcalinos.

En cuanto a las vitrinas, armarios, repisas, envolturas y acolchados del depósito deben ser de materiales químicamente estables porque duran más que los materiales inestables y no dañan la colección. Un ejemplo de estos materiales estables son las cajas de polietileno o de poliestireno transparente para alimentos y papeles neutros o libres de ácido. Hay que evitar los productos de madera y de pasta de madera, ya que liberan compuestos de azufre y vapores orgánicos ácidos (ácido acético y ácido fórmico).

De manera ideal los objetos metálicos deben almacenarse en sistemas cerrados, como gabinetes con puertas o cajones bien sellados. Estos sistemas protegen al objeto del polvo, los contaminantes y en cierto grado de los cambios de humedad relativa. Para mantener la humedad relativa baja se puede colocar al interior de los cajones gel de sílice. También se puede proteger al objeto envolviéndolo en papel libre de ácido y guardarlos dentro de una caja de polietileno o de bolsas de polietileno selladas. Los contenedores

plásticos son preferibles porque reduce la manipulación del objeto al permitir que se examine sin retirarlo de su soporte. Los soportes plásticos deben fabricarse de un plástico inerte, puro y de calidad de archivo. Algunos de los materiales de almacenamiento apropiados para los objetos son el polietileno, el polipropileno, el poli (etileno tereftalato, como por ejemplo Mylar D y Kodar), poliestireno y el poli (metil metacrilato, por ejemplo plexiglas).

Para las colecciones metálicas deben evitarse los contenedores de vinilo (poli cloruro de vinilo, PVC). El plastificante PVC es especialmente corrosivo para las aleaciones de cobre y genera un producto de corrosión color verde.

Los objetos no se deben colocar nunca directamente sobre una repisa o cajón de almacenamiento. Para evitar esto las repisas se pueden forrar con espuma de polietileno de celdas cerradas como el ethafoam. Este forro de espuma protege al objeto de choques o abrasión.

En cuanto a la manipulación de los objetos se deben usar guantes de plástico o algodón bien ajustados ya que cuando están muy pulidos, como la plata y el cobre, resultan particularmente sensibles a los aceites y sales de la piel. Hay que evitar manipular la plata con guantes de goma látex, debido a lo que los compuestos de azufre que contienen pueden deslustrarla.

Conservación de la plata

La regla básica de conservación, independiente de las condiciones ambientales y el tipo de protección aplicada, es que el objeto debe mantenerse limpio, previniendo la acumulación de polvo y suciedad en la superficie, ya que polvo y suciedad capturan otras partículas y condensan la humedad.

El deslustre de la plata en depósitos y en exhibición se puede producir por gases del ambiente que contienen azufre, como el sulfuro de hidrógeno. En los museos estos gases que deslustran pueden provenir de contaminantes del aire o de materiales que comúnmente se encuentran en zonas de depósito. Debido a que puede ser difícil aislar o controlar la fuente del deslustre, se recomienda utilizar envases de almacenamiento sellados.

Se puede minimizar la formación del deslustre dentro de la vitrina de exhibición usando gel de sílice deshidratado para mantener baja la HR, que para el caso de estos objetos recién restaurados (plato y cuchara) debe ser entre un 30 y 40%, ya que estos no cuentan con capa de protección, además uno de ellos fue sometido a un baño químico por lo que se debe mantener con una humedad baja y libre de contaminantes que puedan afectar su superficie.

En el depósito es posible minimizar el empañado durante el almacenamiento, colocando cada objeto de plata en una bolsa de polietileno y luego sellándola con cinta adhesiva por calor, o bien utilizando una bolsa con sello propio. Siempre es recomendable envolver o sostener cada pieza con papel tissue sin contenido alcalino (sin azufre y de calidad apropiada para archivos) con el fin de atenuar los cambios de la HR e impedir que los contaminantes ambientales la afecten. Para asegurar una mayor protección contra el empañado, se aconseja colocar pequeños envases de gel de sílice dentro de cada bolsa.

Cuando se manipulen objetos de plata se deben utilizar guantes de algodón limpios. Las sales y aceites que se encuentran en la piel pueden marcar la plata y dejar huellas digitales.

Conservación de aleaciones de cobre

Las aleaciones de cobre que se exhiben o almacenan en un museo requieren mantenimiento y limpieza periódicos. El aspecto adecuado de un objeto en particular debe ser decidido por un curador y, si hay dudas al respecto, lo más seguro es limpiar sin pulir. La limpieza por sí sola mejora la apariencia de los objetos de cobre y, al eliminar fuentes de corrosión tales como grasa, polvo, residuos de pulimento metálico y huellas dactilares, contribuye también a reducir el deterioro ulterior.

Las aleaciones de cobre son susceptibles a la corrosión por amoníaco, ácidos alcalis fuertes, cloruros y gases sulfúricos. Lo mejor es almacenar los objetos pequeños en cajas de plástico transparente acolchadas con papel libre de ácido, o bien en cajas de cartón libre de ácido o neutro. También pueden almacenarse envueltas en papeles libre de ácido, apoyadas en soportes tallados en ethafoam y sobre vitrinas o repisas forradas en espuma.

6. Conclusión

Una vez que finalizó la restauración de estos objetos, fueron embalados y enviados de vuelta a su dueño, para ser enviados en un futuro cercano a un museo náutico en Portugal.

La realización de esta tesis me ayudó a indagar mucho más hondo en la estructura, formación y deterioro de los objetos metálicos, lo que es sumamente importante al momento de intervenir y conservar piezas de metal, ya que sin conocer cabalmente su estructura y comprender las razones de su deterioro, entonces sería muy difícil realizar un tratamiento adecuado. Por esta razón es fundamental que antes de intervenir cualquier objeto ya sea de metal o de cualquier otro material, investigar y hacer un examen completo de su estructura, causas y tipo de daños que presenta (o diagnóstico) ya que esto nos ayuda a evaluar y realizar una correcta intervención, la cual siempre debe respetar la historia de este objeto, expresada en este caso en la superficie original.

En el caso de los objetos que restauré se trató de conservar al máximo la superficie original, ya que esta nos da cuenta del uso que se les dio a estos objetos, lo cual es muy importante para rastrear su historia. En muchas ocasiones fue sumamente difícil seguir este principio por lo fragmentado de la superficie, debido a los 4 siglos que se mantuvo en un ambiente sumamente adverso para estos objetos, pero creo que finalmente el resultado fue muy bueno, y se logró intervenir los objetos sin mayores problemas.

Además de la estructura de los metales, también es sumamente importante conocer la procedencia de los objetos que fueron restaurados, debido a que esto nos podría entregar más antecedentes de las causas del deterioro, lo cual nos ayudaría en su posterior intervención.

Por esta razón fue muy interesante investigar y saber las razones por las cuales este galeón se encontraba hundido en la costa de Filipinas, lo que nos llevó a indagar más allá y

conocer un poco más acerca del intercambio comercial marítimo que se efectuaba en el siglo XVI.

La experiencia de restaurar estos objetos fue excelente, ya que tuve la oportunidad de trabajar y enfrentarme a diversos problemas los que me ayudaron a investigar y resolver distintas situaciones. El trabajar con este tipo de objetos arqueológicos provenientes de un naufragio, fue una experiencia muy enriquecedora ya que pude tener acceso a conocimientos y literatura que normalmente no es muy fácil de adquirir aquí en el país. Asimismo el trabajar con distintos profesionales me ayudó a desenvolverme mucho mejor en el ámbito de la conservación ya que pude interactuar y compartir distintas experiencias y conocimientos.

7. Anexo

Anexo I

*** Descripción de la concreción**

El entender la naturaleza de la concreción, o cómo se han formado y cómo han modificado el micro ambiente del metal es importante para arqueólogos y conservadores. Para los arqueólogos, los análisis de concreciones pueden dar valiosa información acerca de cómo las condiciones del sitio han cambiado desde el tiempo del naufragio; y para los conservadores, el estudio de estas concreciones puede dar información que ayudará a determinar que régimen de estabilización se debe seguir.

El efecto de las incrustaciones marinas varía dependiendo de la naturaleza del sitio, pero estas formas de incrustaciones juegan un rol muy importante ya que finalmente determinarán el grado de corrosión del objeto.

Generalmente en los sitios de naufragios, los objetos de cobre y sus aleaciones como el bronce y el latón, se encuentran libres de concreciones marinas, a diferencia de los objetos de hierro que forman masivas estructuras de concreción. Este fenómeno se puede explicar por el efecto biocida que contienen las aleaciones de cobre en su composición. La naturaleza tóxica de la superficie del cobre en el ambiente marino, hace que seres marinos no se posen sobre esta, prefiriendo el hierro, por ejemplo. Pero esta capa tóxica está sujeta a oxidación, a degradación por el efecto del agua marina y la abrasión. Por lo tanto esta toxicidad del cobre puede ir cambiando gradualmente al transcurrir los años, transformándose finalmente esta capa tóxica en una capa que pueda soportar organismos marinos.

Mecanismo de colonización

* La información que se da a continuación es un extracto de un artículo escrito por Ian MacLeod titulado: *Formation of marine concretions on copper and its alloys*. En: The International Journal of Nautical and Underwater Exploration. 1982. La traducción del artículo fue realizado por Johanna Rivera.

La colonización primaria de material biológico, en aguas tropicales y subtropicales, son principalmente por algas coralinas y organismos como bryozoas que tienen un exoesqueleto compuesto principalmente por carbonato de calcio. En casi todas las aleaciones de cobre, como bronce y latones, que se han encontrado bajo el agua, existe un film de un óxido protector que contiene un substrato biológico tóxico que inhibe este proceso de colonización. Si el óxido de cobre es modificado, entonces la colonización puede ocurrir.

Hay muchas vías por la que la superficie de estos metales puede cambiar: Si la superficie del metal se oxida, minerales de cobre verde-azules cubrirán el film de cuprita (Cu_2O) y permitirá que haya algún crecimiento de vida marina. Esto es posible principalmente porque los minerales del cobre son menos tóxicos. Estos minerales son principalmente cloruros de cobre y carbonatos como paratacamita [$\gamma Cu_2(OH)_3Cl$] y malaquita [$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$]. Una segunda manera de modificar la superficie es cambiando la naturaleza de los productos de corrosión en el agua marina. En el latón esto puede ocurrir a través de un cambio en el mecanismo de corrosión que lo deja con depósitos ricos en cinc en su superficie. El bronce también puede cambiar el mecanismo de corrosión, bajo ciertas condiciones, dejando en su superficie depósitos ricos en estaño, minimizando de esta manera el problema de toxicidad del cobre. Bajo condiciones anaeróbicas, sulfuros de cobre se formarán en la superficie del objeto, y si éste es expuesto a condiciones aeróbicas, los organismos marinos colonizarán el objeto rápidamente.

Un método diferente de “cubrir” la superficie, ocurre cuando el objeto corroído es acoplado eléctricamente a otro metal más reactivo. En muchos casos el contacto directo entre ambos metales es necesario, pero en ciertas situaciones no es esencial. Mientras más se corroa este metal reactivo (por ejemplo el hierro), el metal de cobre actuará por la otra mitad del proceso de corrosión (REDOX), que es normalmente la reducción de oxígeno. La corriente eléctrica fluirá desde el hierro a través del cobre, y el oxígeno, afectando el agua de mar alrededor de los objetos. Esto causa que el pH del agua aumente y que precipite el carbonato de calcio sobre el objeto. Este material inorgánico calcáreo, provee un substrato inerte para el crecimiento de algas coralinas, y otros organismos. Debido a que el agua de mar está sobre-saturada con carbonato de calcio, la precipitación puede ocurrir, incluso con un pequeño aumento del pH.

Tipos de concreción

Existen tres tipos distintos de concreción marina que han sido encontrados en objetos de cobre[†] (recuperados de más de una docena de naufragios en las costas australianas y que han sido estudiados por el autor):

- A. El primer tipo de concreción aparece como una mezcla de cemento de material coralino y fragmentos de conchas un tanto porosas y sostenidos por productos de corrosión verdes. Después de 100 años en el mar, la capa de concreción puede tener varios centímetros de espesor. La concreción también podría tener un color café, si objetos de hierro se han corroído cerca.
- B. El segundo tipo de concreción, formado en ambientes aeróbicos, son más bien densas (porosidad baja), y delgadas capas de cemento calcáreo da una cobertura uniforme a todo el objeto. Este tipo de concreción es frecuentemente de color café rojizo, con un porcentaje de productos de corrosión del hierro. Estas capas son, generalmente, sólo unos milímetros densas después de 100 años. Cuando esta concreción es removida, revelará un artefacto bien preservado. Este tipo de concreción además, puede estar parcialmente cubierta por colonización secundaria como ostras, moluscos etc.
- C. El tercer tipo de concreción, está asociada con material que ha estado en un ambiente anaeróbico o en áreas que han sido fuertemente contaminadas. Las concreciones están formadas principalmente por capas de arena, piedrecillas etc. Son densas, y cuando se rompen muestran un color azul profundo hasta negro-grisáceo. Este color es el dominante de los minerales de sulfuros de cobre que se forman en el núcleo de la concreción. Los objetos de cobre que han estado enterrados por siglos bajo el mar son, generalmente, completamente transformados en minerales de sulfuro.

[†] El término “objetos de cobre” incluye también bronce y latón.

Si un sitio de naufragio ha estado expuesto a grandes disturbios como ciclones, no es raro encontrar artefactos de cobre que tienen un tipo de concreción mixta. Esto se manifiesta por una apariencia de color verde (aeróbica) de los productos de corrosión del cobre, y azul profundo con negro-grisáceo típico de los productos de corrosión de ambientes anaeróbicos, y todo en la misma concreción.

Análisis químico y mineralogía

Todos los metales con excepción del oro, se corroen en agua de mar, y si los productos de corrosión precipitan, generalmente se reensamblarán en los minerales de los cuales los metales fueron formados originalmente. Debido a que las concreciones aeróbicas son básicamente calcáreas, el calcio tenderá a ser el componente más abundante al igual que el cobre. El pH casi neutro del agua de mar (7.8 ↔ 8.2) normalmente precipitará cerca de todos los objetos hechos de cobre, bronce, latón -si es que el sitio no ha estado sujeto a movimientos de agua rápidos. Si el objeto de cobre se ha corroído completamente, el porcentaje de metales en la concreción, usualmente reflejará la composición de la aleación original.

A continuación se muestra una tabla de un estudio que hizo el autor sobre los componentes de los tres tipos de concreciones, en distintos naufragios de las costas de Australia.

Table 1. Percentage composition of "copper" concretions found on shipwrecks off the Western Australian coast

	<i>Cu</i>	<i>Ca</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>Sn</i>	<i>Fe</i>	<i>Mg</i>	<i>Na</i>	<i>K</i>	<i>Cl⁻</i>	<i>SO₄²⁻</i>	<i>SiO₂</i>
Type A	44	11	2	3	3	2	0.4	0.2	0.02	9	1	0.5
Type B	3	33	0.3	3	0.2	0.5	1.5	0.2	0.03	0.5	2	4
Type C	33	9	0.2	0.1	0.1	0.05	0.1	0.9	0.04	0.4	13*	6
Reef Material	0.002	33.9	0.001	0.01	n.d	0.03	1.8	0.3	0.05	0.15	0.14	

** This value refers to sulphur as S²⁻ (sulphide) ions and not as sulphate (SO₄²⁻).*

The compositions in the above table are only a guide; standard deviations are typically of the order of 50% of the given values.

Como se puede observar en la tabla, hay una marcada diferencia entre las concentraciones de cobre y calcio, en dos de los tipos de concreciones formadas en ambientes aeróbicos (A y B). En ambos tipos de concreciones los elementos de aleación, se han encontrado a niveles visiblemente más altos que los niveles de la concreción tipo C. Los iones de cloruro son un componente mayor en la concreción tipo A, pero tiene niveles bajos en las concreciones tipo B y C.

En cuanto a los minerales que se identificaron en los tres tipos de concreciones, tenemos los siguientes:

- A. En la concreción tipo A, se encontraron minerales tales como óxido cuproso de color café-rojizo (Cu_2O) cuprita; también se encontró cloruros de cobre que incluye paratacamita [$\gamma Cu_2(OH)_3Cl$], atacamita [$\alpha Cu_2(OH)_3Cl$], y un mineral poco común, mezcla de cobre con cinc, llamado anarakita [$(Cu,Zn)_2(OH)_3Cl$]. Las concreciones que se forman en el bronce tienen presencia de estaño, de la forma de óxido de estaño casiterita [SnO_2] y de óxido de estaño con sulfatos [$Sn_3O_2SO_4$] en menor porcentaje. El calcio y el magnesio están presentes mayormente en la forma de calcita [$CaCO_3$] y calcita de magnesio, con pequeños porcentajes de sulfato de calcio [$CaSO_4 \cdot 2H_2O$]. Exámenes que se han hecho a estos tipos de concreciones muestra vastos depósitos de cloruros de cobre en conchas y otros depósitos calcáreos.
- B. El segundo tipo de concreción formadas aeróbicamente, tipo B, tiene calcita [$CaCO_3$] como mayor componente, junto con calcita de magnesio. La cuprita (Cu_2O) se encuentra comúnmente en las capas inmediatamente adyacentes a la superficie del metal. En el latón, por ejemplo, podemos encontrar sulfato de cinc en la forma $ZnSO_4 \cdot 3Zn(OH)_2 \cdot 4H_2O$. Condiciones anaeróbicas pueden aparentemente desarrollarse en estas concreciones de baja porosidad ya que se han encontrado pequeños porcentajes de sulfato de cobre como calcocita [Cu_2S] en áreas cercanas a la superficie del metal. Porcentajes menores incluyen minerales del hierro como $\beta FeO \cdot OH$ que se han encontrado en las interfaces de la concreción marina.

C. Los componentes más abundantes en las concreciones formadas anaeróbicamente (tipo C), son el amplio rango de sulfitos de cobre, que van desde la covelita [Cu_2S_2] hasta la calcocita [Cu_2S]. El mineral más común es la calcocita y también se pueden encontrar pequeños porcentajes de sulfuro.

A pesar de que los objetos y concreciones que han sido examinados, provienen de naufragios de ambientes tropicales y subtropicales, los comentarios generales son aplicables a todos los ambientes marinos en donde se han encontrado concreciones en objetos de cobre.

Desde aguas frías, hasta ambientes más temperados, la naturaleza de la colonización de los organismos marinos será diferente que al de las algas coralinas y bryzoos, encontrados en ambientes tropicales. Sin embargo, los mecanismos básicos de formación de minerales de cobre encontrados en los distintos tipos de concreciones, serán relativamente independientes de la temperatura.

La extensión de la formación de la concreción, y la distribución de los productos de corrosión del cobre, cinc, y estaño dependen de la interrelación entre los parámetros de temperatura, salinidad y concentración de oxígeno.

Anexo II

Fluorescencia de Rayos X

Con el nombre de fluorescencia se designan aquellos fenómenos ópticos por los que un material sometido a radiaciones de una determinada longitud de onda es capaz de emitir radiaciones de una longitud de onda mayor. Los rayos incidentes se conocen como primarios y los que forman la fluorescencia se denominan secundarios.

Fluorescencia es el nombre que se da a este fenómeno cuando tiene carácter temporal, cuando se prolonga en el tiempo recibe el nombre fosforescencia. En determinadas condiciones operativas la fluorescencia puede ser provocada utilizando como rayos incidentes rayos x (rayos primarios). Si la energía de estos rayos alcanza un valor por encima del umbral mínimo característico de cada elemento, se verifica el fenómeno de fluorescencia, es decir que los átomos del elemento incidido emiten rayos x de longitud de onda mayor (rayos secundarios).

Los rayos x primarios ionizan los átomos del elemento que encuentran a su paso, llevándose consigo electrones de capas internas. Durante el posterior proceso de reasentamiento de los electrones desde niveles de mayor energía hacia aquellos que han quedado vacantes, se produce la emisión de rayos x secundarios.

La energía de la radiación de excitación y la longitud de onda de los rayos secundarios están relacionados con el número atómico del elemento responsable del fenómeno y permiten su identificación. La fluorescencia de rayos x (XRF: x-ray fluorescence) es, por lo tanto, una técnica de estudio que permite el análisis elemental de muchos materiales.

Como se dijo anteriormente, la fluorescencia de rayos x posibilita el análisis elemental cualitativo (según la longitud de onda de los rayos x secundarios) y cuantitativo (según la intensidad de dichos rayos). Este tipo de aparatos permite el estudio de todos los elementos cuyo número atómico se encuentra entre 11 y 92.

Cualitativamente la técnica tiene una elevadísima sensibilidad, y permite distinguir elementos presentes en una mezcla en proporciones de pocas p.p.m. (partes por millón). Los análisis cuantitativos resultan, sin embargo, menos precisos y más laboriosos.

Todos los problemas que, en el sector artístico, requieren la realización de un análisis elemental pueden ser afortunados por medio de la fluorescencia de rayos x teniendo presente que, normalmente, se excluyen del estudio los elementos más ligeros como H, C, N, O, F. Por tanto, la fluorescencia de rayos x se aplica a los análisis elementales de materiales inorgánicos de cualquier naturaleza (metales y aleaciones, materiales cerámicos, lapídeos, vítreos, productos de corrosión, de depósito, pigmentos etc.)

Anexo III

Sellos y cuños

A bordo del San Diego los objetos preciosos de metal eran escasos. Ocho platos y dos bandejas enteras, tres aguamaniles (sin sus jofainas), dos copas, una taza de licor, un tazón, algunos candelabros y cubiertos, en lo que a plata se refiere. A juzgar por los aguamaniles, platos y luminaria, la vajilla de plata permitía servir a la vez de ocho a diez personas.

A bordo del San Diego también se cuentan varios cubiertos: al menos cuatro tenedores, además de dos mangos desprovistos de dientes, algunas cucharas y cuchillos. Esto demuestra que las piezas encontradas no son más que una parte, tal vez unos dos tercios, de lo que pudo ser la ornamentación de la mesa del comandante del navío. Toda esta vajilla revela un nivel de vida superior, al de los barcos españoles de la armada.



Fig.1: (Izq.) Cucharas, tenedores y cuchillos. (Der.) Platos de plata. Toda esta vajilla fue encontrada a bordo del San Diego y podía ser utilizada sólo por oficiales y nobles.

La labor de restauración realizada, por el Instituto de Restauración y de Investigaciones Arqueológicas y Paleometalúrgicas (IRRAP) en Compiègne, en todos los objetos de metal, permitieron descubrir sellos en varias piezas de orfebrería que enfocan, desde una nueva perspectiva, la importación de formas españolas en las Filipinas durante la última década del siglo XVI. Las investigaciones hechas por el equipo de Franck Goddio, permitieron situar con gran exactitud, los talleres que las fabricaron. Su fecha antes de 1600, año del naufragio del San Diego, obligó a reactualizar el conocimiento que se tenía sobre la producción de los orfebres hispanoamericanos. Aquí la arqueología cumplió su función esencial, que consistió en establecer referencias cronológicas seguras, y precisar circuitos de intercambio aún poco conocidos.

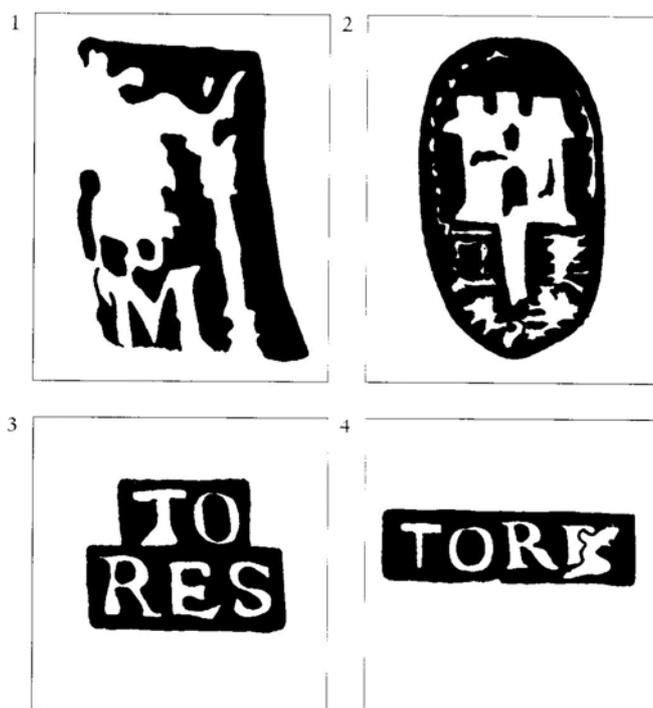
Para el equipo de Goddio, incluso antes de que se pudiera realizar la lectura de los sellos de las piezas –posible tras limpieza de la costra de sedimentos que rodeaba los objetos- que permitiera la localización de los talleres donde fueron elaborados, sus formas evocan piezas parecidas, diseminadas en varios museos y colecciones particulares de España, Reino Unido y México.

Tanto platos como fuentes –que son de plata maciza- presentan tres sellos perfectamente legibles: El del Quinto Real, el del legalizador de la plata, llamado ensayador, y finalmente el del orfebre.

El primero es el sello de la Ciudad de México, posesión española desde que Hernán Cortés conquistara el Imperio Azteca entre 1519 y 1521: Sólo se ha localizado hasta ahora desde 1681, siendo estampado con numerosas variantes hasta finales del siglo XVII. Está formado por una corona real colocada sobre dos columnas de Hércules, entre las cuales se aprecia una M coronada por una o, de México.

El segundo sólo se conoce en tres cálices y una custodia, hoy diseminados por lugares tan diversos como el tesoro de la Catedral de Santander, el Convento de Araceli en Corella (Navarra), el museo diocesano de Coro, en Venezuela y el museo de Rucandio (Cantabria): este presenta una torre edificada sobre un pilar sumergido en el agua. Cristina Esteras Martín, quién definió el sello, indica que este sello corresponde a la marca del ensayador, es decir el cuño de plata contenida en el objeto y que, en este caso, es un símbolo gráfico en lugar de la habitual inscripción.

El tercero es una doble inscripción TO/RES incluida, salvo en una excepción, en dos rectángulos superpuestos. Es la firma del orfebre en cuyo taller se elaboraron estas piezas. Este matasellos permite en primer lugar atribuir tanto platos como aguamaniles a un mismo creador, pero también permite relacionarlo con el de Miguel de Torres, especialmente señalado como autor de un cáliz perteneciente a las colecciones del Museo Nacional del Virreinato de México y publicado en la exposición Mexicaans Zilver que tuvo lugar en Bruselas en 1993. Dicho objeto, aunque religioso, presenta unas características muy parecidas a los aguamaniles del San Diego, y la fecha, fijada por los autores del catálogo en torno a 1605, le acerca aún más a las piezas encontradas a bordo del San Diego.



1. Sello de la ciudad de México.
2. Marca del ensayador.
3. 4. Firma del orfebre Miguel de Torres.

Fig.2: Sellos que se encontraron en objetos a bordo del San Diego

El descubrimiento de los objetos del San Diego aporta sin duda una nueva visión sobre este taller. La publicación¹ en 1986 por Cristina Esteras Martín de un aguamanil del Museo Lázaro Galdiano en Madrid muy parecidos a los del San Diego, y que ella sitúa entre 1620 y 1660. Un fragmento de aguamanil, sin número de inventario y no expuesto, atestigua de la presencia en la nave de un tercer objeto parecido. Se trata por tanto de cuatro aguamaniles que se pueden atribuir a Miguel de Torres. Si el orfebre no hace gala de su originalidad con sus platos, un modelo funcional, si bien de perfil elegante, demuestra sin embargo con sus aguamaniles una hermosa constancia al repetir una forma austera y un decorado arquitectónico noble. De uno a otro sólo varían los mascarones: una cabeza de fauno, o cabeza grotesca, o cabeza cubierta, un elemento que singulariza la obra probablemente para satisfacer a una clientela exigente a la hora de comprar una pieza única.



Fig.3: Aguamanil de plata perteneciente al taller de Miguel de Torres.

¹ *Provoyeur, Pierre. Artes de la mesa, joyas y objetos de devoción.* En: Catálogo El San Diego. Un tesoro bajo el mar. Editado por Compañía española de petróleos, S.A. CEPSA. Madrid 1995.

Anexo IV

Índice de imágenes y tomas fotográficas

Capítulo 2. Marco Histórico

Fig. 1. Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2002. © 1993-2001 Microsoft Corporation.

Fig. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12. En: *Catálogo El San Diego, Un tesoro bajo el mar*. Editado por Compañía española de petróleos, S.A. CEPESA. Madrid 1995. Y: *Piezas Arqueológicas de la Nao San Diego en el Museo Naval de Madrid*. Ministerio de Defensa, Armada Española. Museo Naval. Lunweg Editores S.A. Madrid 1999.

Capítulo 3. Expedición, hallazgo y distribución de los objetos

Fig. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. En: *Catálogo El San Diego, Un tesoro bajo el mar*. Editado por Compañía española de petróleos, S.A. CEPESA. Madrid 1995. Y: *Piezas Arqueológicas de la Nao San Diego en el Museo Naval de Madrid*. Ministerio de Defensa, Armada Española. Museo Naval. Lunweg Editores S.A. Madrid 1999.

Fig. 8, 9, 10, 11, 12, 13. Tomas realizadas en el Museo Naval de Madrid por Johanna Rivera.

Capítulo 4. Introducción objetos a restaurar

Fig.1: Matteini, Mauro; Moles, Arcangelo. *La química en la restauración*. Serie Arte y Restauración. Junta de Andalucía, Consejería de Cultura, IAPH. Editorial Nerea. España 2001.

Fig.2: Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2002. © 1993-2001 Microsoft Corporation.

Fig.3: Diagrama realizado por Johanna Rivera

Fig.4: Argyropoulos, Vasiliike; Doktor, Anke; Mach, Martin; Strandberg, Helena. *Protect our European Outdoor Bronze Monuments*. Culture 2000. Good practice guide. Editado por Christian Degriigny. Sin información de editorial y año de publicación.

Fig.5: Jones, Denny A. *Principles and prevention of corrosion*. Second Edition. Ed. Simon & Schuster. United States 1996.

Fig.6: Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2002. © 1993-2001 Microsoft Corporation.

Fig.7, Fig.8: Costa, Virginia. *The deterioration of silver alloys and some aspects of their conservation*. Reviews in Conservation. The Internacional Institute for Conservation of Historic and Artistic Works. N° 2. 2001.

Fig.9, 10: Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2002. © 1993-2001 Microsoft Corporation.

Fig.11: Scott, David A. *Copper and bronze in art. Corrosion, colorants, conservation*. The Getty Conservation Institute. Los Angeles California 2002.

Capítulo 5. Conservación y restauración de objetos de plata y bronce

5.1 Candado de bronce chino

Figura 1. Fotografía candado por el anverso y reverso.

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 23.1 mm Modo de exposición: Automático programado Modo de medición: Multipatrón 1 seg. -f/4.2 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Figura 2. Extremos del candado.

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 23.3 mm Modo de exposición: Automático programado Modo de medición: Multipatrón 1,1.9 Seg. -f/4.3 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig. 3: Pérdida de metal debido a la abrasión provocada por el mar.

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 28.1 mm Modo de exposición: Automático programado Modo de medición: Multipatrón 1 Seg. -f/4.8 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig. 4: Bloque de concreto

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 30 mm Modo de exposición: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1 Seg. -f/5 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig. 5: Corte estratigráfico de las capas de corrosión en el candado. Diagrama realizado por Johanna Rivera

Fig. 6: Corte estratigráfico. Metal después de la limpieza mecánica. Diagrama realizado por Johanna Rivera

Fig. 7: Candado con bloque de concreción en su parte superior (fotografía izquierda)

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 23.3 mm Modo de exposición: Automático programado Modo de medición: Multipatrón 1/2 Seg. -f/4.2 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig. 7: Candado después de la remoción del bloque (fotografía derecha)

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 5.8 mm Modo de imagen: Primer plano Modo de medición: Multipatrón 1/3.7 Seg. -f/2.8 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig.8: Candado después de la remoción de las concreciones y limpieza con etanol.

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 6.2 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/2Seg. -f/2.9 Compensación de exposición: -2.0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Normal Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

Fig. 9: Candado sumergido en baño de BTA

<p>Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Normal Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno</p>	<p>Longitud Focal: 7.5 mm Modo de imagen: Primer plano Modo de medición: Multipatrón 1/6.2 Seg. -f/3.1 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático</p>
<p>Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado</p>	<p>Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado</p>

Fig.10: Extremo superior del candado antes de la remoción de la concreción (izquierda)

<p>Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno</p>	<p>Longitud Focal: 25.9 mm Modo de imagen: Automático programado Modo de medición: Multipatrón 1 Seg. -f/4.5 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático</p>
<p>Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado</p>	<p>Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado</p>

Fig.10: Remoción de las concreciones (derecha)

<p>Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno</p>	<p>Longitud Focal: 5.8 mm Modo de imagen: Automático programado Modo de medición: Multipatrón 1/1.9 Seg. -f/2.8 Compensación de exposición: -2.0 EV Sensibilidad: Automático</p>
<p>Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado</p>	<p>Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado</p>

Fig.11: Consolidación del metal con Mastic

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 9.6 mm Modo de imagen: Automático programado Modo de medición: Multipatrón 1/1.7 Seg. -f/3.5 Compensación de exposición: -1.7 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Normal Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

a) Fotografías candado terminado

Fig.12: Anverso y reverso

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 5.8 mm Modo de imagen: Automático programado Modo de medición: Multipatrón 1/2.7 Seg. -f/2.8 Compensación de exposición: -2.0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Normal Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

a) Fotografías candado terminado

Fig.13: Extremos superior e inferior

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 7.1 mm Modo de imagen: Automático Programamdo Modo de medición: Multipatrón 1/2.3 Seg. -f/3 Compensación de exposición: -1.7 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

5.1 Llave de bronce china

Fig. 1: Llave por el anverso y reverso

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 22.1 mm Modo de exposición: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1 Seg. -f/4.1 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig. 2: Acercamiento de la llave por el anverso y reverso

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 31 mm Modo de exposición: Automático programado Modo de medición: Multipatrón 1 Seg. -f/5.1 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig.3: Grietas y orificios producidos por tratamientos anteriores. Nota: Esta fotografía fue intervenida para colocar las flechas y palabras que se observan.

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 31 mm Modo de exposición: Primer plano Modo de medición: Multipatrón 1 Seg. -f/5.1 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig.4: Restos de pegamento y concreciones. Nota: Esta fotografía fue intervenida para colocar las palabras y flechas

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 31 mm Modo de imagen: Primer plano Modo de medición: Multipatrón 1 Seg. -f/5.1 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig.5: Remoción del pegamento con acetona y tórula

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Normal Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 6.6 mm Modo de imagen: Primer plano Modo de medición: Multipatrón 1/17.7 Seg. -f/3 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Normal Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig.6: Llave pegada con Araldite. Nota: Esta fotografía fue intervenida para colocar las palabras y flecha.

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 10.2 mm Modo de imagen: Automático programado Modo de medición: Multipatrón 1/2.5 Seg. -f/3.6 Compensación de exposición: -2.0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Normal Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

c) Fig. 7: Fotografía llave terminada anverso y reverso

<p>Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno</p>	<p>Longitud Focal: 6.2 mm Modo de imagen: Automático programado Modo de medición: Multipatrón 1/2.1 Seg. -f/2.9 Compensación de exposición: -2.0 EV Sensibilidad: Automático</p>
<p>Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Normal Modo de sincronización del flash: No montado</p>	<p>Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado</p>

c) Fig. 8: Fotografía (arriba) llave terminada de lado.

<p>Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno</p>	<p>Longitud Focal: 5.8 mm Modo de imagen: Automático programado Modo de medición: Multipatrón 1/2 Seg. -f/2.8 Compensación de exposición: -2.0 EV Sensibilidad: Automático</p>
<p>Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado</p>	<p>Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado</p>

c) Fig. 8: Fotografía (abajo) acercamiento de la unión que se hizo con Araldite.

<p>Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno</p>	<p>Longitud Focal: 10.2 mm Modo de imagen: Primer plano Modo de medición: Multipatrón 1/1.4 Seg. -f/3.6 Compensación de exposición: -2.0 EV Sensibilidad: Automático</p>
<p>Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Normal Modo de sincronización del flash: No montado</p>	<p>Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado</p>

5.2 Plato Mexicano

Fig.1: Plato por el anverso

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 8.2 mm Modo de imagen: Automático programado Modo de medición: Multipatrón 1/3.1 Seg. -f/2.6 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig.1: Detalle del plato

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 19.1 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/1.9 Seg. -f/3.8 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig.2: Plato por el reverso

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 10 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/2.3 Seg. -f/2.8 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig.2: Detalle del reverso

<p>Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno</p>	<p>Longitud Focal: 19.3 mm Modo de imagen: Automático programado Modo de medición: Multipatrón 1/1.2 Seg. -f/3.8 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático</p>
<p>Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado</p>	<p>Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado</p>

Fig.3: Platos apilados

<p>Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno</p>	<p>Longitud Focal: 19.6 mm Modo de imagen: Automático programado Modo de medición: Multipatrón 1/2.4 Seg. -f/3.9 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático</p>
<p>Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado</p>	<p>Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado</p>

Fig.4: Borde del plato con faltantes y desgaste del metal. Nota: Esta fotografía fue intervenida para colocar la flecha y las palabras.

<p>Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno</p>	<p>Longitud Focal: 16.7 mm Modo de imagen: Automático programado Modo de medición: Multipatrón 1/1.3 Seg. -f/3.5 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático</p>
<p>Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado</p>	<p>Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado</p>

Fig.5: Concreciones en forma de burbuja. Nota: Esta fotografía fue intervenida para colocar la flecha y las palabras

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 20.3 mm Modo de imagen: Automático programado Modo de medición: Multipatrón 1 Seg. -f/3.9 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig.6: Concreciones en forma de burbuja en el reverso del plato. Nota: Esta fotografía fue intervenida para colocar la flecha y las palabras.

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 18.9 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1 Seg. -f/3.8 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig.7: Fotografía que muestra la capa de productos de corrosión y sus distintos colores.

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 20.5 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1 Seg. -f/4 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig. 8: Platos envueltos en un bloque de concreción
Catálogo El San Diego, Un tesoro bajo el mar. Editado por Compañía española de petróleos, S.A. CEPSA. Madrid 1995.

Fig.9: Copa de plata proveniente del taller de Miguel de Torres. Catálogo El San Diego, Un tesoro bajo el mar. Editado por Compañía española de petróleos, S.A. CEPSA. Madrid 1995.

Fig.10: Fotografía izquierda, cristales malaquita. Toma realizada por Olivier Berger con cámara digital Nikon Coolpix995 insertada en el microscopio. **Microscopio 50x: Leica Mz75. Aumento: 0.8**

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 12.2 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/2.2 Seg. -f/3 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig.10: Fotografía derecha, cristales de malaquita aumentados. Toma realizada por Olivier Berger con cámara digital Nikon Coolpix995 insertada en el microscopio. **Microscopio 50x: Leica Mz75. Aumento: 5.0**

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 15.1 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/1.6 Seg. -f/3.4 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig.11: Fotografía izquierda: depósitos de azurita en el borde del plato. Toma realizada por Olivier Berger con cámara digital Nikon Coolpix995 insertada en el microscopio. **Microscopio 50x: Leica Mz75. Aumento: 0.63**

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 15.1 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/1.8 Seg. -f/3.4 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig.11: Fotografía derecha. Depósitos de azurita aumentados. Toma realizada por Olivier Berger con cámara digital Nikon Coolpix 995 insertada en el microscopio. **Microscopio 50x: Leica Mz75. Aumento: 5.0**

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 14.6 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/1.4 Seg. -f/3.3 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig.12: Corte estratigráfico anverso del plato. Diagrama realizado por Johanna Rivera.

Fig.13: Capas que conforman el fondo del plato. Toma realizada por Olivier Berger con cámara digital Nikon Coolpix995 insertada en el microscopio. **Microscopio 50x: Leica Mz75. Aumento: 0.5**

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 15.7mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1 Seg. -f/3.4 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig.14: Corte estratigráfico borde del plato. Diagrama realizado por Johanna Rivera.

Fig.15: Fotografía izquierda. Diferentes capas de corrosión en el borde del plato. Toma realizada por Olivier Berger con cámara digital Nikon Coolpix995 insertada en el microscopio. **Microscopio 50x: Leica Mz75. Aumento: 1.25**

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 17.6mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/2.5 Seg. -f/3.6 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig.15: Foto derecha. Productos de corrosión en cristales. Toma realizada por Olivier Berger con cámara digital Nikon Coolpix 995 insertada en el microscopio. **Microscopio 50x: Leica Mz75. Aumento: 3.0**

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 15.1mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/1.5 Seg. -f/3.4 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig.16: Corte estratigráfico reverso del plato. Diagrama realizado por Johanna Rivera

Fig.17: Capa metálica que recubre el reverso del plato.

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 19.3mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/1.2 Seg. -f/3.8 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig.18: Esquema realizado por Johanna Rivera.

Fig.19: Fotografía digital **microscopio 100x** de corte estratigráfico muestra (OB.0604P2x5). **Aumento 2.5**
Toma realizada en el laboratorio Landesmuseum Zürich por Marie Soares.

Fig.20: Fotografía digital **microscopio 100x** de corte estratigráfico muestra (OB.0604P3x5). **Aumento 3.5.**
Toma realizada en el laboratorio Landesmuseum Zürich por Marie Soares.

Fig.21: Fotografía digital **microscopio 100x**, realizada dentro de la máquina de Fluorescencia de rayos x.
Toma hecha por Marie Soares.

Fig.22: Fotografía digital **microscopio 100x**, realizada dentro de la máquina de Fluorescencia de rayos x.
Toma hecha por Marie Soares.

Tabla 1: Resultados análisis Fluorescencia de rayos X. Análisis realizado por Marie Soares.

Tabla 2: Resultados análisis Fluorescencia de rayos X. Análisis realizado por Marie Soares.

Fig.23: Fotografía digital **microscopio 100x**, realizada dentro de la máquina de Fluorescencia de rayos x.
Toma hecha por Marie Soares. Y resultados de los análisis.

Fig. 24: Reverso del plato con fibra de vidrio y Paraloid B72

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 5.8 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/3 Seg. -f/2.8 Compensación de exposición: -2.0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

Fig.25: Plato durante el tratamiento de remoción de la calcita.

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 14.5 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/2.6 Seg. -f/4.4 Compensación de exposición: -1.7 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

Fig.26: Diferencia entre calcita, superficie original, metal original, y sulfuro de plata. Esta foto fue intervenida para colocar las palabras y flechas.

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 13 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/2.7 Seg. -f/4.1 Compensación de exposición: -2.0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

Fig.27: Plato después de la extracción de la capa de calcita y productos de corrosión.

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 5.8 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/3 Seg. -f/2.8 Compensación de exposición: -2.0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

Fig.28: (Arriba) carbonatos entremedio de la superficie original y la capa metálica.

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 6.2mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/11.5 Seg. -f/2.9 Compensación de exposición: -0.3 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

Fig.28: (Abajo) Mismos carbonatos ampliados

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 5.8 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/8.4 Seg. -f/2.8 Compensación de exposición: -0.3 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

Fig.29: Corte estratigráfico de las diferentes capas que se encontraron en un sector del reverso del plato.
Diagrama realizado por Johanna Rivera.

Fig.30: (Arriba) plato terminado por el anverso

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 6.6 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/2.6 Seg. -f/3 Compensación de exposición: -1.7 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

Fig.30: (Abajo) Borde del plato con Araldite

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 17.4 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/2.4 Seg. -f/4.9 Compensación de exposición: -2.0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

Fig.31: Plato terminado por el reverso (arriba)

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 6.6mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/3 Seg. -f/3 Compensación de exposición: -1.7 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

Fig.31: Fotografía inferior, borde del plato con marcas de fábrica.

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 7.5 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/18 Seg. -f/3.1 Compensación de exposición: -2.0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

5.3 Cuchara

Fig. 1: Cuchara de plata anverso (fotografía superior)

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 13.9mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1 Seg. -f/3.2 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig. 1: Cuchara de plata por el reverso (fotografía inferior)

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 14.3mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1 Seg. -f/3.3 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig.2: Parte ovalada de la cuchara aumentada (anverso)

<p>Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno</p>	<p>Longitud Focal: 31 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1 Seg. -f/5.1 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático</p>
<p>Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado</p>	<p>Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado</p>

Fig.2: Parte ovalada de la cuchara aumentada (reverso)

<p>Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno</p>	<p>Longitud Focal: 31 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1 Seg. -f/5.1 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático</p>
<p>Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado</p>	<p>Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado</p>

Fig.3: Faltantes que presenta la cuchara en su parte cóncava. Esta foto fue intervenida para colocar las palabras y flechas.

<p>Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno</p>	<p>Longitud Focal: 9.6mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/2.7 Seg. -f/3.5 Compensación de exposición: -2.0 EV Sensibilidad: Automático</p>
<p>Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado</p>	<p>Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado</p>

Fig.4: Sulfuros de color negro. Esta foto fue intervenida para colocar las palabras y flechas.

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 13.7 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/2.7 Seg. -f/4.3 Compensación de exposición: -2.0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

Fig.5: Productos de corrosión del hierro. Esta foto fue intervenida para colocar las palabras y flechas.

Nikon COOLPIX995 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 31 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1 Seg. -f/5.1 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Automático Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Automático Reducción de ruido: Desactivado

Fig.6: Corte estratigráfico del anverso de la cuchara. Diagrama realizado por Johanna Rivera

Fig.7: Corte estratigráfico tangencial del reverso. Diagrama realizado por Johanna Rivera.

Fig.8: Distintos tipos de cubiertos encontrados en el naufragio. Catálogo El San Diego, Un tesoro bajo el mar. Editado por Compañía española de petróleos, S.A. CEPSA. Madrid 1995.

Fig.9: Fotografía cuchara antes del tratamiento (izquierda)

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 6.2 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/15.9 Seg. -f/2.9 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: normal Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

Fig.9: Fotografía cuchara después del tratamiento con ditionita de sodio.

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 5.8mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/16.1 Seg. -f/2.8 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Normal Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

Fig.10: Cuchara después del tratamiento con ditionita de sodio más carbonatos y etanol.

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 5.8mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/75.5 Seg. -f/2.8 Compensación de exposición: -0.3 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Normal Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

Fig.11: Tratamiento con ácido fórmico. Esta foto fue intervenida para colocar las palabras y flechas.

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 6.6mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/19.5 Seg. -f/3 Compensación de exposición: -0.3 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Normal Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

Fig.12: Fotografía izquierda, cuchara sin tratamiento y cubierta de sulfuros.

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 5.8 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/20.2 Seg. -f/2.8 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Normal Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

Fig.12: Fotografía derecha, cuchara después del tratamiento con hidróxido de sodio más ditionita de sodio

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 5.8mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/13.5 Seg. -f/2.8 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Normal Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

Fig.13: Tratamiento con Thiourea. Esta foto fue intervenida para colocar las palabras y flechas.

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 5.8 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/13 Seg. -f/2.8 Compensación de exposición: 0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Normal Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

Fig. 14: Fotografía izquierda, cuchara después del tratamiento con hidróxido de sodio más ditionita de sodio.

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 5.8mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/3.1 Seg. -f/2.8 Compensación de exposición: -2.0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Normal Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

Fig. 14: Fotografía derecha, cuchara después del tratamiento detalle de la parte cóncava.

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 13.7 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/2.7 Seg. -f/4.3 Compensación de exposición: -2.0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Normal Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

Fig. 15: Cuchara después del tratamiento químico (anverso)

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 7.1mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/2.9 Seg. -f/3 Compensación de exposición: -2.0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Normal Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

Fig.15: Cuchara después del tratamiento químico (reverso)

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 7.1mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/2 Seg. -f/3 Compensación de exposición: -2.0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Normal Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

Fig.16 Detalle de la pare cóncava de la cuchara por el anverso

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 13.7 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/2.8 Seg. -f/4.3 Compensación de exposición: -2.0 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Normal Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

Fig.16: detalle de la parte cóncava por el reverso

Nikon COOLPIX3100 JPEG (8 bits) Fino Tamaño de la imagen: 2048 x 1536 Color Lente de convertidor: Ninguno	Longitud Focal: 13.7 mm Modo de imagen: Automático Programado Modo de medición: Multipatrón 1/2.9 Seg. -f/4.3 Compensación de exposición: -1.7 EV Sensibilidad: Automático
Balance de blanco: Automático Modo de AF: AF-C Comp. de tono: Normal Modo de sincronización del flash: No montado	Relación de zoom digital: 1.00 Comp. de saturación: 0 Nitidez: Alto Reducción de ruido: Desactivado

Capítulo 7. Anexo

Anexo III.

Fig. 1, 2, 3. En: *Catálogo El San Diego, Un tesoro bajo el mar*. Editado por Compañía española de petróleos, S.A. CEPESA. Madrid 1995. Y: *Piezas Arqueológicas de la Nao San Diego en el Museo Naval de Madrid*. Ministerio de Defensa, Armada Española. Museo Naval. Lunweg Editores S.A. Madrid 1999.

*** Todas las tomas fotográficas fueron realizadas por Johanna Rivera**

8. Glosario

Aguamanil: El aguamanil tuvo dos usos muy diferentes, pero ambos relacionados con el agua. Se utilizaba para lavarse las manos a menudo antes, durante y después de la comida, debido a que el uso de cubiertos no era muy frecuente. También se utilizaba el aguamanil para el bautismo: el agua del aguamanil sobre la cabeza del niño era recogida en la jofaina (palangana).

Ambiente Aeróbico: Ambiente que contiene oxígeno.

Ambiente Anaeróbico: Ambiente sin oxígeno.

Audiencia: Organismo colegiado integrado por jueces, denominados oidores, que formó parte de la estructura del gobierno colonial en la América hispana, con la función de administrar justicia y actuar como tribunales de apelación en las diferentes provincias.

En el orden jerárquico, ocupaba un lugar por debajo del virrey, aunque mantenía un alto nivel de independencia. Su origen está en las audiencias castellanas, aunque las americanas tuvieron mayores competencias que las españolas, que sólo actuaron como tribunales de justicia. Las audiencias establecidas en América estuvieron formadas por un presidente y varios oidores, a los que más tarde se añadió un fiscal. Inicialmente, con el título de audiencias gobernadoras, ejercieron el mando en las primeras áreas conquistadas, antes de la formación de los virreinos, y su principal cometido fue reforzar la autoridad real frente al poder que reclamaban los conquistadores, así como consolidar el gobierno colonial tras un periodo inicial de formación.

Babor: Lado izquierdo de la embarcación, mirando de popa a proa.

Bruñir: Técnica con que se pulimenta un objeto de metal, piedra dura o mármol hasta darle brillo.

Cala: Parte más baja en lo interior de un buque.

Electrólisis: Descomposición de un cuerpo, electrolito, producida por la electricidad, haciendo pasar una corriente eléctrica a través de una solución salina.

Electrolítica, Reducción: Método, que se usa excepcionalmente, para la eliminación de concreciones en objetos metálicos con abundante núcleo metálico (por ejemplo cañones y anclas), basado en el paso de una corriente eléctrica continua, usando como cátodo el objeto a tratar y sacrificando un ánodo de otro metal (por ejemplo una chapa de acero inoxidable), en una solución de hidróxido sódico o sosa cáustica como electrolito. Debe controlarse la intensidad, sacar el objeto y cepillarlo bajo agua corriente regularmente, neutralizar el tratamiento, secarlo, y protegerlo finalmente.

Electroquímica, Reducción: Método, que se usa excepcionalmente, para el tratamiento de objetos metálicos, que sólo puede realizarse cuando existe un núcleo metálico en buen estado. Aporta electrones al objeto tratado, que frenan el proceso corrosivo sacrificando otro metal. Se realiza en una solución de agua destilada con hidróxido sódico o sosa cáustica, y se cubre el objeto con una rejilla de cinc o aluminio. También puede elevarse la temperatura.

Energía de Ionización: Cantidad de energía que se necesita para separar el electrón menos fuertemente unido de un átomo en su estado fundamental (estado energético más bajo).

Estribor: Costado derecho del navío mirando de popa a proa.

Fibra de vidrio: Nombre genérico de una fibra manufacturada con vidrio. Se emplea en la elaboración de nuevos soportes inertes, en tejido para entelados, refuerzos y lápices de fibra de vidrio para limpieza mecánica.

Jofaina: Vasija ancha y poco profunda que sirve para lavarse la cara y las manos. La jofaina es también el recipiente que recibe el agua que se vierte del aguamanil.

Lastre: Peso puesto en la embarcación para que ésta se sumerja hasta donde convenga.

Metalurgia: Ciencia y tecnología de los metales, que incluye su extracción a partir de los minerales metálicos, su preparación y el estudio de las relaciones entre sus estructuras y propiedades. Desde tiempos muy remotos, el uso de ciertos metales conocidos, como el cobre, hierro, plata, plomo, mercurio y estaño, se convirtió en indispensable para la evolución de las distintas civilizaciones. Por ello, la metalurgia es una actividad a la que el ser humano ha dedicado grandes esfuerzos. Desde la antigüedad ya se aplicaban algunas técnicas metalúrgicas, como el moldeo a la cera perdida utilizado por los chinos, egipcios y griegos; la soldadura inventada por Glauco en el siglo VII a.C., y el tratamiento térmico para el temple con acero utilizado por los griegos. No fue hasta la edad media cuando aparecieron otras técnicas metalúrgicas de importancia, y así, durante el siglo XIII aparecieron los primeros altos hornos y la fundición.

Pecio: Pedazo de la nave que ha naufragado, o porción de lo que ella contiene.

Popa: Parte posterior de las naves.

Punto de Fusión: Temperatura a la cual un cuerpo pasa del estado sólido a líquido, y es característico de cada sustancia. Es importante en restauración para conocer el comportamiento de los materiales tanto de los constitutivos de los objetos, como de adhesivos y otros productos empleados.

Proa: Parte delantera de la nave, con la cual corta las aguas.

Quilla: Pieza de madera o hierro, que va de popa a proa por la parte inferior del barco y en que se asienta toda su armazón.

Vaciado: Procedimiento para reproducir obras de escultura mediante la obtención de un molde en hueco, del que se sacan las copias al rellenarlo.

Varenga: Pieza curva atravesada sobre la quilla para formar la cuaderna (forma como las costillas del casco).

Valencia: Número que representa la capacidad de un átomo o radical individual para combinarse con otros átomos o radicales. El valor expresa el número de electrones que un átomo puede dar a —o aceptar de— otro átomo (o radical) durante una reacción química.

9. Bibliografía

Araya, Carolina. *Introducción a la química de los metales.* Seminario de conservación y restauración de metales. Pontificia Universidad Católica de Chile. Sin información de año.

Argyropoulos, Vasilike; Doktor, Anke; Mach, Martin; Strandberg, Helena. *Protect our European Outdoor Bronze Monuments.* Culture 2000. Good practice guide. Editado por Christian Degriigny. Sin información de editorial y año de publicación.

Berger, Olivier. *Objets composites issus du milieu marin (matériaux organiques/fer). Problématique de prétraitements.* Tesis conservation-restauration des biens culturels. Maîtrise de Sciences et Techniques. Université Paris (Panthéon-Sorbonne) 2001.

Bouzas, Ana; Baglioni, Raniero. *Metodología de investigación, intervención y montaje en la escultura romana en bronce denominada “El Hypnos de Almendinilla”.* Congreso mundial de conservación de metales ICOM-CC UNESCO. Santiago de Chile 2001.

Caley, Earle R. *Análisis of Ancient Metals.* Pergamon Press Ltda. England 1964.

Calvo, Ana. *Conservación y Restauración. Materiales, técnicas y procedimientos.* Ediciones del Serbal. España 1997.

Conin, A., Riquier-Bouclet, C. *L'emploi de résines acryliques dans le comblement des lacunes des métaux archéologiques.* Conservation Restauration des Biens Cultures. N° 6, 5-9. Ed. Araafu (dec. 1994)

Conservation of Marine Archaeological Objects. Varios autores. *Butterworth & co. England 1987.*

Costa, Virginia. *The deterioration of silver alloys and some aspects of their conservation.* Reviews in Conservation. The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works. N° 2. 2001.

El San Diego, Un tesoro bajo el mar. Editado por Compañía Española de Petróleos, S.A. CEPSA. Madrid 1995.

El primer y último combate del San Diego. Revista española de defensa. n° 142 Diciembre 1999.

Gilberg, Mark R ; Seeley, Nigel. *The identity of compounds containing chloride ions in marine iron corrosion products: A critical review.* Studies in Conservation n° 26. 1981.

Gómez, M. Luisa. *La restauración, examen científico aplicado a la conservación de obras de arte.* Cuadernos Arte Cátedra. Ediciones Cátedra. Madrid 2000.

González, Carolusa; Tapia, Pilar; Granados, Josefina. *La conservación de cobre arqueológico en México.* Conferencia Internacional de Conservación ICOM-CC UNESCO. Santiago de Chile 2001.

Jones, Denny A. *Principles and prevention of corrosion.* Second Edition. Ed. Simon & Schuster. United States 1996.

Madsen, Brinch. *Benzotriazole: A perspective.* Corrosion inhibitors in Conservation. Studies in Conservation UK 1985.

Matteini, Mauro; Moles, Arcangelo. *Ciencia y restauración. Método de Investigación.* Serie Arte y Restauración. Junta de Andalucía, Consejería de Cultura. IAPH. Editorial Nerea. España 2001.

Matteini, Mauro; Moles, Arcangelo. *La química en la restauración.* Serie Arte y Restauración. Junta de Andalucía, Consejería de Cultura, IAPH. Editorial Nerea. España 2001.

McLeod, Ian D. *Formation of marine concretions on copper and its alloys.* The International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration. 1982

McLeod, Ian D. *In Situ corrosion studies on iron shipwrecks and cannon. The impact of water depth an archaeological activities on corrosion rates.* Proceedings of the International Conference on Metal Conservation. ICOM-CC. Draguignan-Figanières. France 1998.

Mourey, W. *La Conservation des antiquités métalliques.* L.C.R.R.A Ed. Draguignan, 1978.

North, Neil A. *Formation of coral concretions on marine iron.* The International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration. 1976.

North, N.A; MacLeod, I.D. *Corrosion of metals.* Conservation of Marine Archaeological Objects. Butterworth & Co. England 1987

Notas del ICC. N° 9/1, 9/2, 9/3, 9/4, 9/5, 9/6, 9/7, 9/8, 10/14. Canadian Conservation Institute Ottawa 1995. Edición en Español por Centro Nacional de Conservación y Restauración (CNRC) 1997. Impreso en Chile.

Oddy, W.A; Hughes, M.J. *The stabilization of “active” bronze and iron antiquities by the use of sodium sesquicarbonate.* Studies in Conservation n° 15. 1970.

Pearson, C. *On-site storage and conservation.* Conservation of Marine Archaeological Objects. Butterworth & Co. England 1987

Piezas Arqueológicas de la Nao San Diego en el Museo Naval de Madrid. Ministerio de Defensa, Armada Española. Museo Naval. Lunwerg Editores S.A. Madrid 1999.

Plenderleith, H.J; Werner, A.E.A. *The Conservation of Antiquities and Works of Art: Treatment, Repair, and Restoration.* 2° ed. London, New York: Oxford Univ. Press. 1988

Ravich, Irina G. *Annealing of brittle archaeological silver: microestructural and technological study.* Proceedings of the International Conference on Metal Conservation. ICOM-CC. Washington. D.C United States. August 1993

Robbiola, Luc; Pereira, Nathalie; Thaury, Karine; Fraud, Christian; Labbé, Jean-Pierre. *Decuprification phenomenon of Cu-Sn alloys in aqueous solution in nearly neutral pH conditions.* Proceedings of the International Conference on Metal Conservation. ICOM-CC. Draguignan-Figanières. France 1998.

Rodgers, Bradley A. *The ECU conservator's cookbook.* Program in marine studies College of Arts and Sciences. East Carolina University.

Scott, David A. *Copper and bronze in art. Corrosion, colorants, conservation.* The Getty Conservation Institute. Los Angeles California 2002.

Sease, Catherine. *Benzotriazole: A review for Conservators.* Studies in Conservation n° 23 1978.

Sease, Catherine; Selwyn, Lyndsies; Zubiate, Susana; Bowers, David F.; Atkins, David R. *Problems with coated silver: whisker formation and possible filiform corrosion.* Studies in Conservation n° 42. 1997.

Strandberg, Helena. *Perspective on bronze sculpture conservation modelling corrosion.* Proceedings of the International Conference on Metal Conservation. ICOM-CC. Draguignan-Figanières. France 1998.

Theile, Johanna. *El libro de la restauración.* Alianza Editorial. Madrid 1996.

Vargas, Nelida. Conservación-restauración metales arqueológicos bajo suelo. Bronce-Fierro. Tesis postítulo de restauración del patrimonio cultural mueble. Universidad de Chile 2001.

Walker, R. *The role of the benzotriazole in the preservation of copper-based antiques. The conservation and restoration of metals.* Proceedings of the International Conference on Metal Conservation. ICOM-CC. Edinburgh SSCR 1979.

* Toda la traducción de los textos en inglés fue realizada por Johanna Rivera. La traducción de los textos en francés fue realizada por Olivier Berger y Johanna Rivera.