

Museo
Arqueológico
Nacional

B **M** **I** **A** **N**

Boletín del Museo Arqueológico Nacional

Nº 19 / 2001





El bronce de campana

Una perspectiva histórica

Salvador Rovira Llorens

Museo Arqueológico Nacional. Madrid

Resumen

Se aborda el estudio de los tipos de bronce utilizados en la producción de campanillas y campanas en la Península Ibérica, desde mediados del primer milenio a.C. hasta el siglo XVII. Los bronce de la Edad del Hierro antiguo y de época púnica presentan formulaciones muy variadas, predominando los bronce ternarios con alta carga de plomo. En época romana se usa el latón. Las verdaderas campanas aparecen en Europa asociadas a la expansión del cristianismo. Los ejemplares analizados de éstas últimas, de época gótica tardía y renacentistas, son de aleaciones típicas de lo que se denomina modernamente bronce de campana.

Abstract

The types of bronze used for manufacturing bells in the Iberian Peninsula, through the middle of the first millennium BC to the XVIIIth century, are investigated. Small bells of the early Iron Age and Punic period show very varied alloys, being predominant ternary bronzes containing high lead contents. Brass was used in Roman times. True bells in Europe are related to the spreading of the Christian religion. Samples analysed of these last, belonging to late Gothic and Renaissance times, indicate that they were made of what we know today as typical bell-bronze.

Introducción

El uso de instrumentos sonoros para llamar la atención es tan antiguo, probablemente, como el hombre. En particular, el empleo de tubos sonoros que resuenan por percusión de un elemento móvil o badajo se remonta más de un milenio antes de nuestra era. En Exodo, 28, 33 leemos: "En la parte inferior (de la sobretúnica) pondrás granadas de jacinto (...) alternado con campanillas de oro...". Se refiere a las vestiduras sacerdotales, que habían de estar adornadas con múltiples campanillas para advertir a los fieles de la entrada y salida del santuario del gran sacerdote. Aunque para gran parte de la crítica la redacción definitiva del Pentateuco es de tiempos de la monarquía hebrea (ca. 1030-ca. 597 a.C.) e incluso postexílico (Nácar y Colunga, 1966: 23) y, por tanto, muy posterior a los hechos que relata el Exodo, cuyo inicio cabría situar a comienzos del Imperio Nuevo egipcio (ca. 1580), hay bastante unanimidad entre los especialistas veterotestamentarios en que los redactores utilizaron material antiguo, contemporáneo de los hechos narrados. El registro arqueológico proporciona pruebas del uso de campanillas en el antiguo Egipto, en las fiestas de Osiris, así como en otras civilizaciones del Creciente Fértil.

Las referencias literarias al uso de campanillas en el mundo clásico, en Grecia y Roma, son abundantes. Se habla, incluso, de esquilas y verdaderas campanas que servían con su toque para indicar la apertura de mercados y baños públicos.

El uso de grandes campanas en el lejano Oriente es mucho más antiguo que en Europa. En China, a finales del III milenio a.C. ya había verdaderos carillones dodecafónicos. En Europa, sin embargo, la campana va asociada a la expansión del cristianismo, siendo los monjes irlandeses, con sus campanas de sección cuadrada, los primeros en utilizarlas como reclamos en sus monasterios. En el siglo VI eran ya de uso común en las iglesias del orbe cristiano occidental. La Iglesia oriental las introduciría más tarde. Un hito fundamental en el desarrollo de las campanas y sus toques fue sin duda la adopción arquitectónica del campanario. Ello permitió la instalación de varias campanas de tonos diferentes, propiciando así un juego rítmico-



Fig. 1. La gran campana de Moscú, apeada y rota, adornando los jardines del Kremlin.

cromático que incrementó enormemente la riqueza sonora y la variedad de los toques. Algunos carillones barrocos europeos, como los de Brujas y Gantes, con 48 campanas accionadas por medio de teclado, permiten la interpretación de composiciones musicales.

La forma actual de la campana parece que quedó establecida antes al siglo IX AD, pero no se conservan ejemplares anteriores. Aunque no es objetivo de este artículo

entrar en temas de acústica, lo cierto es que los parámetros físicos que definen el tono fundamental y los armónicos acompañantes de una campana sólo hacia finales del siglo XIX pudieron ser estudiados con cierto detalle. Con anterioridad, el arte de diseñar una buena campana era fruto de la experiencia del maestro fundidor, cuyo secreto guardaba celosamente. La dificultad estriba en que la forma de la campana no sigue estrictamente las leyes de Pitágoras para los tubos sonoros abiertos (supuestamente cilíndricos). El acampanamiento hace que, además de las vibraciones sonoras transversales típicas de un tubo, aparezcan también vibraciones tangenciales, que frecuentemente se interfieren de manera negativa. Así al menos lo demostraron los experimentos realizados por el físico inglés W. Rayleigh, quien encontró que varias campanas antiguas estudiadas en su laboratorio emitían frecuencias superiores a la fundamental que resultaban inarmónicas. Afortunadamente, a cierta distancia sólo se percibía el tono fundamental y sus armónicos inferiores, atenuándose el resto y resultando un sonido agradable.

El sonido (tono y timbre) de una campana depende de su altura, del diámetro de la boca, del espesor y de la curvatura de la superficie de revolución, todo ello combinado mediante las fórmulas de la Acústica. El resultado es, entre otros, un volumen de metal necesario para fundirla. Además, para que la intensidad del sonido sea óptima, ha de ser tañida con la fuerza de un badajo de un peso calculado. Todos esos factores eran determinados empíricamente por los antiguos fundidores de campanas.

El arte de fundir ha tenido grandes y atrevidos maestros [1]. En 1400 se fundió la campana "Jaqueline" de Notre Dame, que pesa cerca de 7.000 kg.; la mayor de la catedral de Toledo, fundida en siglo XVI, pesa más de 18.000 kg. La campana más grande del mundo occidental

se encuentra en el Palacio del Kremlin, en Moscú; fue fundida en 1733 por orden del zar Kolokol y pesa 202 toneladas. En la actualidad se halla apeada y rota en los jardines del palacio (Fig. 1).

Durante la realización del Proyecto de Investigación Arqueometalúrgica de la

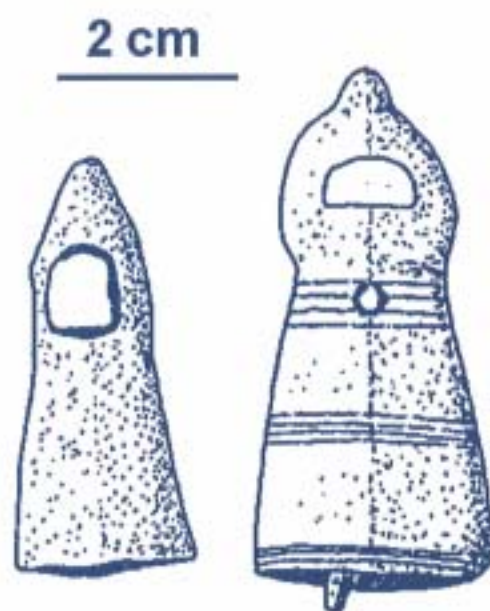


Fig. 2. Campanillas del yacimiento arqueológico de El Risco, Sierra de Fuentes, Cáceres (según Enríquez et al., 2001:213).

Península Ibérica tuvo ocasión de analizar la composición química de varias campanillas y campanas de diversas épocas que van desde la primera Edad del Hierro hasta comienzos de la Edad Moderna (Tablas 1 y 2). A partir de esos datos trataré de elaborar un recorrido temporal por las aleaciones usadas en estos instrumentos musicales de tan larga historia.

El bronce de campana en la época más antigua

Las campanillas más antiguas halladas en la Península Ibérica se asocian siempre a ambientes orientalizantes. Parece, pues, evidente que estos instrumentos, o más apropiadamente, la idea y el significado llegaron a las tierras del occidente mediterráneo de la mano de los "colonizadores" fenicios y giregos, corriendo el siglo VII a.C., en el Hierro antiguo o Hierro I peninsular.

Los ejemplares más antiguos analizados fueron recogidos en superficie en el poblado de El Risco, en Sierra de Fuentes (Cáceres) (Colección Gil Montes). Las excavaciones en dicho poblado efectuadas por J.J. Enríquez de Navascués, Alonso Rodríguez Díaz e Ignacio Pavón permiten asociar estos materiales descontextualizados a la últi-

[1] En el artículo de Aguirre (1997) hay una completa descripción del proceso tradicional de fundición.

ANÁLISIS	OBJETO	CRON.	PROCEDENCIA	SOCIEDAD	PROV.	Nº INV.	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb
AA1329	Campanilla	PUN	Toralba d'en Sabert	Alear (Wendol)	PA		0,15	0,16	22,60	nd	nd	0,082	16,90	0,141	10,80
AA1336A	Campanilla	PUN	Fuig des Molins	Ibiza	PA	WAI 4261	0,24	0,01	31,18	nd	0,200	0,029	11,24	0,045	34,21
AA1336B	Campanilla (dado)	PUN	Fuig des Molins	Ibiza	PA	WAI 4261	0,68	0,31	76,82	0,39	0,74	0,013	1,54	0,042	17,47
AA1337A	Campanilla	PUN	Fuig des Molins	Ibiza	PA	WAI 4262	0,19	0,18	50,17	nd	0,17	0,036	10,44	0,070	38,57
AA1337B	Campanilla (dado)	PUN	Fuig des Molins	Ibiza	PA	WAI 4262	0,21	0,71	15,74	nd	nd	0,037	11,82	0,091	70,91
AA1338	Campanilla	PUN	Fuig des Molins	Ibiza	PA	WAI 4/324	0,20	0,14	34,38	nd	0,31	0,036	6,41	0,132	56,51
AA1343	Campanilla	PUN	Fuig des Molins	Ibiza	PA	WAI 4301	0,05	0,20	85,27	nd	nd	0,022	7,55	0,190	6,870
PA772	Campanilla (frag.)	KRM	Monte del Quintasar	Malorca	AB	Q-330	0,23	nd	65,95	0,39	nd	0,012	4,56	0,044	nd
PA779	Campanilla	TALR	Son Creste? Son Baçç?	Urmigar (Malorca)	PA		0,01	0,23	66,22	nd	nd	0,013	3,22	0,074	27,53
PA770	Campanilla	TALR	Son Creste?	Urmigar (Malorca)	PA		0,01	0,21	60,21	nd	nd	0,011	2,00	0,160	36,55
PA771	Campanilla	TALR	Son Creste? Son Baçç?	Urmigar (Malorca)	PA		0,02	0,18	62,84	0,20	nd	0,016	6,39	0,069	27,15
PA772	Campanilla	TALR	Son Creste? Son Baçç?	Urmigar (Malorca)	PA		0,02	0,12	67,33	nd	nd	0,010	3,08	0,074	36,50
PA773	Campanilla	TALR	Son Creste? Son Baçç?	Urmigar (Malorca)	PA		0,22	0,15	69,04	nd	nd	0,007	2,27	0,049	7,460
PA774	Campanilla	TALR	Son Creste? Son Baçç?	Urmigar (Malorca)	PA		0,21	0,21	60,68	nd	nd	0,036	9,27	0,065	28,97
PA2109	Campanilla	RWA	Las Piles	Malorca	AL		0,26	0,26	81,87	1,07	0,16	0,017	14,56	0,047	3,05
PA2101	Campanilla	RWA		Puerto Real	M	43	0,22	---	68,94	0,5	nd	0,019	4,62	0,410	6,49
PA2905-1	Campana "La Maki"	MOD	Catedral	Katonia	V		0,21	0,23	75,61	nd	0,21	0,036	21,75	0,522	3,38
PA2905-2	Campana "L'Andoni"	MOD	Catedral	Katonia	V		0,29	0,23	76,03	nd	0,30	0,078	19,34	0,610	2,59
PA2905-3	Campana "El Jaume"	MOD	Catedral	Katonia	V		0,29	0,24	76,79	nd	0,33	0,053	20,11	0,313	3,64
PA4607	Campanilla (dado)	HT	Cerro Roano	Colonia de la Sierra	BA	1069B	0,10	0,11	78,33	nd	nd	0,043	18,37	0,159	2,80
PA4608A	Campanilla	HT	Cerro Roano	Colonia de la Sierra	BA	1069A	0,27	nd	77,68	nd	nd	0,029	17,91	0,135	3,78
PA4603	Campanilla	HT	Cerro Roano	Colonia de la Sierra	BA	Carrizo C	0,02	0,16	76,29	nd	0,14	0,016	5,30	0,023	18,14
PA3181	Campanilla	PUN	Calés Oves (H-19)	Alear (Wendol)	PA	4941	0,09	nd	14,70	nd	nd	nd	5,18	nd	nd
PA3994	Campanilla	HT	El Risco	Santo de Reyes	CC	32	0,21	0,10	81,37	nd	nd	0,020	16,30	nd	0
PA3995	Campanilla	HT	El Risco	Santo de Reyes	CC	33	0,32	0,16	74,32	nd	nd	0,018	13,70	0,039	11,50

Notas.

En la columna CRON (cronología): HT=Hierro I, PUN=Púnica, TALR=Islayúico reciente, RWA=Romano, MOD=Medieval, MOD=Edad Moderna. En las columnas de resultados analíticos: nd=elemento no detectado, Y=trazos, ---=elemento no analizado.

Base de Datos del Proyecto de Arqueometalurgia de la Península Ibérica.

Tabla 1. Análisis elemental de bronce de campana por fluorescencia de rayos x (% en peso)

ma fase de habitación, plenamente conectada con el ambiente orientalizante extremeño, fechándose tentativamente en los siglos VI-V a.C. (Navascués *et al.* 2001: 102). Las dos campanillas de El Risco (Fig. 2) son de forma cilíndrica. Las aleaciones son muy diferentes: en un caso se trata de un bronce binario cobre-estaño con 18,3% de éste último elemento (Tabla 1, análisis PA5994), muy en la línea de lo que actualmente llamamos bronce de cam-

pana, y en el otro caso de un bronce ternario cobre-estaño-plomo con 13,7% de estaño y 11,5% de plomo (Tabla 1, análisis PA5995). Estos análisis fueron publicados por Gómez Ramos y Rovira (2001: 208). En su artículo (p. 196) ya se comentaba la gran variabilidad de las aleaciones, que hacía imposible encontrar una clara cesura entre los bronce del Bronce Final y los tartésicos u orientalizantes. También parece evidente que no existía una normativa

ANÁLISIS	FASE	Si	S	Pb	Cu	Sn	Pb
CSC-1/1	Asientos (plomo)	0,33	0	0	82,1	15,2	2,4
CSC-1/2	Eléctrico (zona Iba)	0	0	0	69,9	30,1	0
CSC-1/3	Escudo	0	0	0	86,7	12,4	0,89
CSC-1/4	Eléctrico lateral	0	0	0	75,1	24,5	0,42
CSC-1/5	Eléctrico de señas	0	20	5,2	74,8	0	0
CSC-1/6	Eléctrico de plomo	0	0	0	11,8	0	88,2

Tabla 2. Campana "San Cristóbal", Catedral de Sevilla (análisis con microsonda EDAX, % en peso)

para la elaboración de las campanillas.

Estas ideas se ven reforzadas con los análisis del conjunto de campanillas de Cancho Roano (Zalamea de la Serena, Badajoz). Dos de ellas, señaladas con los análisis PA4607 y PA4609A en la Tabla 1, son bronce de campana bastante típicos, con porcentajes de estaño por encima del 15% y pequeñas adiciones de plomo de en torno al 3%. En cambio un tercer ejemplar (PA4643) es de bronce pobre en estaño (5,2%) y rico en plomo (18,1%), muy en la línea de algunas campanillas púnicas que veremos más adelante. Estos materiales de Cancho Roano se encuadran cronológicamente en los siglos VI-V a.C., siendo por tanto contemporáneos de los de El Risco aquí comentados.

Un interesante grupo de campanillas proceden de yacimientos mallorquines adscritos al periodo Talayótico reciente, es decir desde el siglo VIII a.C. hasta la romanización de la isla de Mallorca. Los análisis fueron publicados con anterioridad dentro de amplio conjunto de materiales talayóticos proporcionados para su estudio por Cristóbal Veny (Rovira et al., 1991). Estas campanillas se caracterizan por estar fundidas usando aleaciones ternarias muy plomadas (véase la Tabla 1). En general son pobres en estaño. De los seis instrumentos sólo dos superan el 8% de estaño (límite superior establecido para el bronce pobre), y ninguno de ellos rebasa el 10%. En cambio las tasas de plomo son en general muy altas, llegando a alcanzar cifras superiores al 35%. Como veremos, estas aleaciones, probablemente tardías dentro del Talayótico reciente, encuentran acomodo sin dificultad

entre las campanillas púnicas.

Los materiales púnicos ya fueron publicados por Delibes y Fernández-Miranda (1988) a excepción de la campanilla de Cales Coves (Alaior, Menorca), inédita hasta ahora. Las aleaciones, como muestra la Tabla 1, son generalmente bronce ternarios con mucho plomo, regla de la que sólo escapa el ejemplar de Cales Coves, un bronce binario con tan sólo 5,2% de estaño. Las campanillas de la necrópolis de Puig des Molins (Eivissa) llegan a registrar valores de plomo del 56,5% (análisis AA1338).

La bronceística púnica usaba con largueza las aleaciones plomadas en sus producciones, incluidas ciertas acuñaciones dinerarias. En ello debió influir grandemente la explotación intensiva de los recursos plomo-argentíferos de Nova Carthago y sus regiones circundantes, que generaba un excedente de plomo al que había que dar salida hacia los mercados de consumo.

De cualquier modo, parece que las tres campanillas hechas con una buena aleación de bronce de campana, halladas en ambientes protohistóricos en El Risco y en Cancho Roano, son excepcionales dentro del contexto general que aquí se presenta.

Tintinabula de época romana

Disponemos de análisis de tres campanillas romanas inéditas. Las tres tiene en común, desde el punto de vista tecnológico, el que las aleaciones de cobre empleadas contienen cinc. La hallada en Puente Viezma, en la provincia de Madrid, es un latón (orcalco) complejo con cinc, estaño y plomo (análisis PA2810 en Tabla 1), bastante común en la pequeña metalistería romana desde finales del siglo I a.C. en adelante (Rovira, 1993: 204). Lo mismo cabe decir de la de Morra del Quintanar (Munera, Albacete), ésta sin plomo (análisis PA0722). Finalmente, la campanilla de Las Pilas (Mojácar, Almería) es prácticamente un bronce binario pues sólo acompañan a este aleado principal un 1,1% de cinc y otro tanto de plomo.

Vemos, pues, que aunque la muestra es estadísticamente pequeña, estas campanillas romanas (para las que no tenemos mayor precisión cronológica por ser todas hallazgos de superficie) se acogen a la moda metalúrgica del

oricalco, el nuevo metal cuya superficie pulida da reflejos semejantes al oro, muy utilizado por los romanos para elaborar objetos de adorno personal (fibulas, anillos, pendientes, hebillas de cinturón), vajilla y otros metales de pequeño formato.

El apogeo del bronce de campana

En la actualidad se entiende por bronce de campana una aleación de cobre y estaño en una relación ponderal en torno a las cifras 80% cobre y 20% estaño. La estandarización de esta fórmula debió producirse en la alta Edad Media aunque, por carecer de datos analíticos, no podemos fijar un hito cronológico. El monje Theophilus, pseudónimo probable del extraordinario artífice Roger de Helmar Shausen que parece ser que vivió en tierras germánicas hacia el año 1100 AD [2], nos dice en el tercer libro, capítulo 85 de su tratado *Diversarum artium schedula*: "Después de hacer esto (se refiere a la preparación del molde de la campana, del horno de fundición, etc.), pese todo lo que tenga de los componentes de metal de campana en la proporción de cuatro partes de cobre y una quinta de estaño..." (Theophilus, 1979: 173)[3]. Es decir, la proporción canónica 80/20. Dado que Theophilus recoge en su tratado los saberes de épocas anteriores, no es arriesgado suponer fechas más tempranas para el establecimiento de este canon.

En la realidad, los fundidores se han desviado en ocasiones de esas cifras (aquí se mostrará un ejemplo), pudiendo decirse que, en la práctica, el bronce de campana es una aleación rica en estaño, con porcentajes de este metal que oscilan entre el 15 y el 25%.

Gracias a unas escamas de bronce arrancadas por los golpes del badajo, recogidas y enviadas por el Gremi de Campaners Valencians por intermedio de Enrique Ruiz Val, tuve la oportunidad, hace ya algunos años, de analizar la composición química de tres campanas del campanario de la catedral de valentina, conocido popularmente como "Torre del Micalet" o, simplemente, "Micalet". La más antigua de ellas, la llamada "El Jaume", fundida el año 1429 por Tomàs Morel, con un peso de 1.396 kg.[4], es un bronce de campana típico (PA2905-3 en la Tabla 1): 76,8% de cobre, 20,1% de estaño y 1,7% de plomo.

Por orden de antigüedad, la segunda campana, llamada "La Maria", fue fundida en 1544 por Joan Clarechet y pesa 1.765 kg. Es la de mayor peso y tamaño del campanario, después de la "de hoies" o "Micalet", que pesa 7.514 kg. La composición del bronce es absolutamente canónica (PA2905-1 en la Tabla 1): 75,6% de cobre, 21,7% de estaño y 1,4% de plomo.

Finalmente, la tercera campana del "Micalet", llamada "L'Andreu" y fundida en 1605 por Vicent Martínez, pesa 1.242 kg. Hecha con una aleación de 76,0% de cobre, 19,8% de estaño y 2,6% de plomo, es también de un característico bronce de campana (PA2905-2 en la Tabla 1).

El último estudio realizado, y el más completo, es el de la campana "San Cristóbal" de la catedral de Sevilla. Hemos de agradecerlo a Alfonso Jiménez Martín, Maestro Mayor, quien me proporcionó un pequeño fragmento de metal des-

prendido de una zona de fractura, así como algunos datos relativos a la cronología y autoría de la campana. La obra, con un peso de 19 quintales y 55 libras (unos 900 kg.), fue fundida en 1663 por Juan Gerardo. Esta campana se encontraba en muy mal estado a principios de los años noventa del siglo pasado, por lo que se decidió su refundición. El trabajo fue realizado por la firma Hijo de Manuel Rosas, de Torredonjimeno, en 1992. Según consta en la ficha de inventario[5], hubo un accidente que provocó la rotura inmediata de la nueva campana y una segunda refundición en 1998, encargada a la casa holandesa Koninklijke Eijbouts, de Asten. Para el análisis de esta muestra de metal se han utilizado las técnicas de microscopía electrónica de barrido[6] y metalografía microscópica. La Tabla 2 presenta los resultados de los análisis químicos elementales practicados a las distintas fases estructurales del material. Diré en primer lugar que la composición global es la de un bronce de campana bajo en estaño

[2] Hay serias dudas respecto de la persona de Theophilus, aunque no del tiempo en que vivió. La hipótesis más aceptada es la aquí expuesta.

[3] Traducción del autor, a partir de la versión inglesa citada. Deste un reciente trabajo dedicado a la traducción al castellano de este capítulo, aunque la terminología metalúrgica utilizada no siempre es la adecuada (Ibáñez y Mollá, 1997).

[4] Existe una excelente página web elaborada por el Gremi de Campaners Valencians (2000) donde figura el "Inventari de les campanes. Catedral de Santa Maria, València", de donde he tomado los datos relativos a las campanas valencianas. El sitio es: <http://www.cult.gva.es/sc/rpts/gcv/campanes.idc?c=ampanar=440>.

[5] Ficha redactada por Mari Carmen Álvaro Muñoz y Francesc Llop i Bayo. Se puede consultar en el "Inventari de les campanes. Catedral de Sta. Maria de la Sede. Sevilla", sitio web <http://www.cult.gva.es/sc/rpts/gcv/campanes.idc?c=ampanar=392>, confeccionado por el Gremi de Campaners valencians.

(análisis CSC-1/1 en la Tabla 2), cuya titulación media apenas supera el 15% de este elemento; completa la aleación un 2,4% de plomo. Por las fechas en las que se recogió la muestra (1998) es muy probable que el fragmento analizado sea de la primera refundición, no de la original de Juan Gerardo. Ello podría explicar su contenido de estaño en el límite inferior del bronce de campana, pues al refundir el metal viejo se pierde estaño por oxidación. Si el fundidor compensa las mermas añadiendo sólo cobre al crisol, el resultado es una aleación con menos estaño[7].

Una primera imagen (Fig. 3) a pocos aumentos permite observar la estructura dendrítica de enfriamiento lento del bronce, en el que las dendritas de la fase rica en estaño (de color blanco) se distribuyen de manera bastante uniforme en la masa metálica gris. Se trata, no obstante, de un

metal aquejado de abundantes poros y sopladuras (puntos y áreas negras) que hacen una fundición menos sana de lo que sería de desear. La figura 4, obtenida en el microscopio metalográfico, muestra un detalle de la microestructura, con nucleaciones de fase α de color gris claro rodeadas por los segregados blancos de las fases ricas en estaño. Estos segregados tiene estructura de eutéctico, conteniendo láminas o glóbulos de metal α más oscuro en su seno. El microscopio electrónico de barrido ha permitido estudiar con todo detalle la estructura y composición de los segregados (Fig. 5). La fase blanca lisa tiene una composición de 69,9% de cobre y 30,1% de estaño (análisis CSC-1/2), casi exactamente la que corresponde a la última fracción de *liquidus* (30% Sn) que solidifica en la retención a 755° C, según el diagrama de equilibrio de fases cobre-estaño. El subsiguiente enfriamiento de la aleación, relativamente lento, ha propiciado las transformaciones hacia $\alpha+\delta$. La microestructura global del bronce, formada por núcleos de metal α con 12,4% de

(2000) y el Cabildo de la Catedral Metropolitana de Sevilla (1998). En el apartado de conservación se lee: "(instalada en 1992, se desprendió a las pocas semanas y cayó dentro de la misma torre, destruyéndose, sin causar desgracias personales) - la colocaron más baja que estaba la anterior".

[6]. Microscopio electrónico de barrido del Servicio Interdepartamental de Investigación de la Universidad Autónoma de Madrid, operado por Esperanza Salvador.

[7]. Sobre los hábitos de las refundiciones y la agregación de metal nuevo para compensar las pérdidas y que salga al final el peso estipulado en el contrato, véase el artículo de Jiménez Díaz (1997) sobre las refundiciones de la campana de la Veía, en la Torre del Sol de la Alhambra. En los contratos queda claro que se le entrega al fundidor el metal de la antigua campana y se le paga o se le entrega otro metal (que entendemos que es chatarra de bronce convencional, no de campana) para salvar la merma y alcanzar el peso convenido.

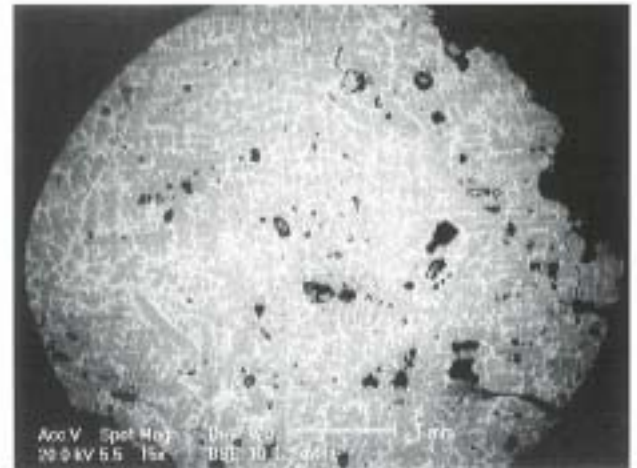


Fig. 3. Campana "San Cristobal" de la Catedral de Sevilla. Imagen tomada en el microscopio electrónico de barrido de electrones retrodispersados. Véase la explicación en el texto.



Fig. 4. Campana "San Cristobal" de la Catedral de Sevilla. Imagen metalográfica. Véase la explicación en el texto. Ataque con cloruro férrico y ácido clorhídrico. 200x.

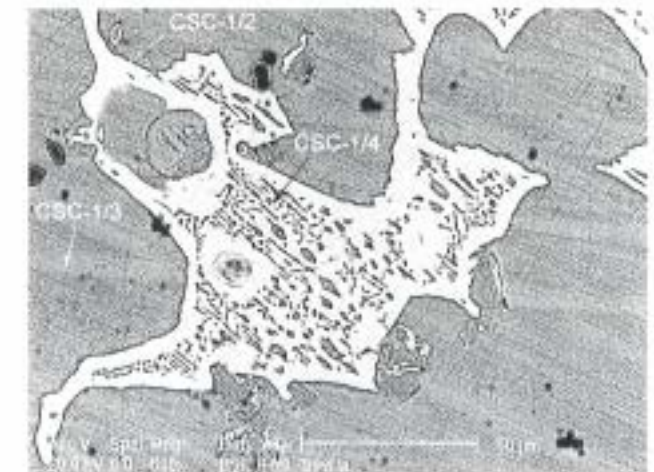


Fig. 5. Campana "San Cristobal" de la Catedral de Sevilla. Imagen tomada en el microscopio electrónico de barrido de electrones retrodispersados. Véase la explicación en el texto.

estaño (análisis CSC-1/3), relativamente deformable, rodeados por una retícula de metal δ con 26,5% de estaño (análisis CSC-1/4), hacen del conjunto un material tenaz que resistirá bien los impactos del badajo sin romperse.

Es interesante hacer notar que la pequeña proporción de plomo que contiene la aleación de la campana "San Cristóbal" se encuentra principalmente disuelta en el cobre (análisis CSC-1/3 y 1/4) o segregada como glóbulos de plomo insoluble (análisis CSC-1/6) en la fase más cobrizo. Como es bien sabido por los fundidores de bronce, la adición de pequeñas cantidades de plomo (a pesar de ser un material insoluble en el cobre) facilita la fundición, y esta debe ser la razón por la que encontramos este

valioso que los inconvenientes que introduce al fragilizar un metal que ha de estar sometido al estrés de fuertes percusiones. Los fragmentos utilizados para estos análisis son buena prueba de los riesgos de rotura que se corren.

Una visión de conjunto

Vistas en conjunto las aleaciones empleadas en la fundición de campanillas y campanas a lo largo de casi un milenio, exceptuando la peculiaridad de las romanas, podemos extraer como conclusión que, efectivamente, la normalización del bronce de campana es un fenómeno occidental tardío ligado a la producción de campanas de iglesia. El diagrama ternario de la figura 6 indica bien a las claras que las campanillas púnicas y del Talayótico reciente ocupan un campo de gran variabilidad en la base del gráfico con predominio de los bronce muy plomados. Las campanillas encontradas en yacimientos orientalizantes de la Edad del Hierro antiguo forman un campo intermedio que comparte el espacio de las aleaciones plomadas y el más restringido de los bronce de campana propiamente dichos. Sin embargo sería muy arriesgado decir que la tradición de estos bronce peculiares se inicia en un periodo tan lejano de mediados del primer milenio a.C. La aparente cesura que parece darse en época romana con la aparición de las campanillas de latón obliga a ser cautos y a esperar nuevos datos analíticos para reforzar los actuales y cubrir ese extenso hueco que, en España, representa el mundo visigodo y los primeros reinos cristianos formados tras la llegada de los musulmanes. Sólo tras cumplir esa tarea podremos conocer con más precisión hasta dónde se hunden las raíces del verdadero bronce de campana.

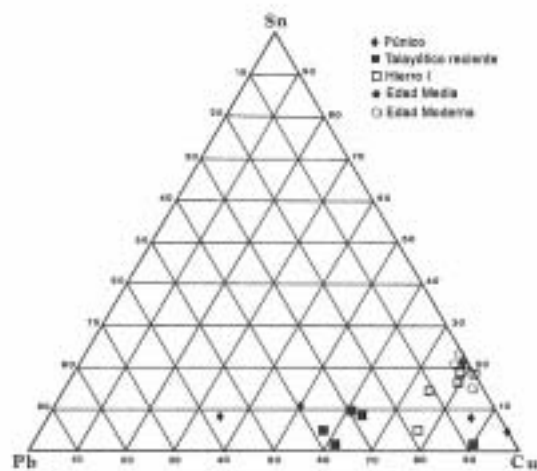


Fig. 6. Diagrama ternario en el que se representan las aleaciones de campanillas y campanas de las Tablas 1 y 2.

metal en las campanas aquí estudiadas, a pesar de que el monje Theophilus nada dice al respecto, quizás porque sabía que la ventaja aportada por el plomo es menos

Bibliografía

- AGUIRRE, A. (1997): La fundición de campanas. En E. Gómez Pellón y J. Guerrero (ed.), *Las campanas. Cultura de un sonido milenario. Actas del I Congreso Nacional. Fundación Marcelino Botín. Santander*: 479-496.
- DELIBES, G. y FERNÁNDEZ-MIRANDA, M. (1988): *Armas y utensilios de bronce en la prehistoria de las islas Baleares. Studia Archaeologica*, 78. Universidad de Valladolid. Valladolid.
- ENRÍQUEZ NAVASCUÉS, J.J., RODRÍGUEZ DÍAZ, A. y PAVÓN, I. (2001): *El Risco. Excavación de urgencia en Sierra de Fuentes (Cáceres) -1991 y 1993-. Memorias de Arqueología Extremeña 4*. Junta de Extremadura. Cáceres.
- GÓMEZ RAMOS, P. y ROVIRA, S. (2001): Aspectos metalúrgicos de «El Risco» y de «Tonejón de Abajo» (Cáceres). En J.J. Enríquez *et al.* (2001): 195-213.
- IBÁÑEZ, S. y MOLLÁ, S.A. (1997): La fundición de campanas en la obra de Teófilo Lombardo "De diversis artibus libri III". En E. Gómez Pellón y J. Guerrero (ed.), *Las campanas. Cultura de un sonido milenario. Actas del I Congreso Nacional. Fundación Marcelino Botín. Santander*: 427-438.
- JIMÉNEZ DÍAZ, N. (1997): Historia de la campana de la Vela de la Alhambra: fundiciones, toques y campaneros. En E. Gómez Pellón y J. Guerrero (ed.), *Las campanas. Cultura de un sonido milenario. Actas del I Congreso Nacional. Fundación Marcelino Botín. Santander*: 457-477.
- NÁCAR, E. y COLUNGA, A. (1966): *Sagrada Biblia (20ª ed.)*. Biblioteca de Autores Cristianos. Madrid.
- ROVIRA, S. (1993): Estudio de laboratorio de los bronceos romanos del museo de Zamora. En J. Arce y E. Burkhalter (ed.), *Bronces y religión romana. Monografías de la Escuela Española de Historia y Arqueología*. CSIC. Roma.
- ROVIRA, S., MONTERO, I. y CONSUEGRA, S. (1991): Metalurgia talayótica reciente. Nuevas aportaciones. *Trabajos de Prehistoria*, 48: 51-74.
- THEOPHILUS (1979): *An divers arts (trad. del latín, introducción y notas de J.G. Hawthorne y C. S. Smith)*. Dover Publications, Inc. New York.