

# Aplicación de la Fluorescencia de Rayos x a la Numismática. Estudio de medallas de escuelas cubanas (1850-1960)

**Ariadna Mendoza Cuevas,<sup>®</sup> Julio Nazco Torres y Marta Rosa Fernández Lopez.\***

Laboratorio de Arqueometría, Oficina del Historiador de Ciudad de La Habana, Calle Oficios, No. 8, entre Calles Obispo y Obrapía, Habana Vieja, Ciudad de La Habana, Cuba. \*Asociación Numismática de Cuba.

Recibido: 18 de marzo de 2008. Aceptado: 17 de septiembre de 2008.

Palabras clave: análisis no destructivo, Fluorescencia de Rayos X Portátil, Numismática, medallas cubanas.  
Key words: non destructive analysis, Portable X-Ray Fluorescence, Numismatic, Cuban medals.

**RESUMEN.** Este trabajo presenta la determinación del valor intrínseco (composición de aleación metálica) de medallas, usando un espectrómetro portátil de Fluorescencia de rayos X (FRX) desarrollado en laboratorio y basado en la excitación con tubo de Rayos X de baja potencia (máx. 50 kV, 1 mA, ánodo de Pd) y detección con tipo Si-PIN. Los análisis fueron llevados a cabo sin muestreo y sin contacto con la superficie de las medallas. Se demuestra la aplicación de este método analítico no destructivo en la Numismática y se ejemplifica con el estudio de una colección de medallas de escuelas primarias cubanas (1850-1960). Se caracterizan las medallas a través de la concentración de metales y los pigmentos presentes. Se identificaron anacronismos y la aleación metálica en medallas de los años cincuentas (XX). Se respondieron interrogantes acerca de la procedencia cubana o norteamericana o la atribución a talleres de joyería cubanos específicos de medallas no marcadas de la colección a través del análisis del gráfico bivariable de las relaciones de áreas de líneas características de FRX de metales marcadores: Ni/Cu vs. Zn/Cu, Au/Cu vs. Zn/Cu. Así, se determinaron diferencias significativas entre las medallas atribuidas a las joyerías habaneras Fuentes & Álvarez y Bustamante y Hnos. y las joyerías norteamericanas Metal Art Co. y Green Duck Co., lo que permitió atribuir las medallas no marcadas otorgadas por las escuelas cubanas. Se calcularon las concentraciones de metales de 22 medallas más importantes de esta colección utilizando el método del patrón externo mediante muestras de referencia certificadas.

**ABSTRACT.** This work presents the determination of intrinsic values (metal alloy composition) of medals, using a laboratory developed portable X-Ray Fluorescence (XRF) spectrometer based in miniaturized low power X-ray tube (max. 50 kV 1 mA, Pd anode) and Si-PIN detector. The analyses were carried out without sampling or contact with surface of medals. The application of this non destructive analytical method in Numismatic is demonstrated and exemplified with the study of a collection of Cuban primary schools medals (1850-1960). The medals are characterized through the concentrations of metals and pigments. Anachronisms and metal alloy were identified in medals of year's 50s (XX). Questions about Cuban or North American provenance or attribution to specific Cuban jeweller's workshop of the non marked medals of the collection were answered through the analysis of bivariate plots of XRF characteristic line area of marker metals: Ni/Cu vs. Zn/Cu y Au/Cu vs. Zn/Cu. Significant differences between attributed medals of the Havana's jeweller's: Fuentes & Alvarez and Bustamante y Hnos. and the North American jeweller's: Art Co. and Green Duck Co., which allows to attribute the non marked medals granted by Cuban schools. The metal concentrations of 22 most important medals of this collection were calculated using the external standard method and certified standard reference materials.

## INTRODUCCIÓN

Las monedas y medallas son símbolos culturales e históricos que reflejan importantes eventos y personalidades de comunidades según la región y a lo largo de la historia y constituyen atractivas y preciadas obras de arte. Los arqueólogos se sirven de las monedas y medallas para reconstruir la economía, las formas de comer-

cio, las costumbres, las religiones, la historia política y el arte de todas las épocas. Los coleccionistas de ellas buscan ante todo la belleza, la rareza y la historia que encierra cada una de estas piezas. El análisis científico de estas piezas contribuye a profundizar estos conocimientos permitiendo elucidar interrogantes interesantes sobre su historia material. La comparación de la

## <sup>®</sup>Correspondencia:

M.C. Lic. Ariadna Mendoza Cuevas

Laboratorio de Arqueometría, Oficina del Historiador de Ciudad de La Habana, Calle Oficios, No. 8, entre Calles Obispo y Obrapía, Habana Vieja, Ciudad de La Habana, Cuba. Correo electrónico:ariadna@mail.org

relación de los metales presentes en el objeto investigado con la de objetos de incuestionable proveniencia se aplica en estudios de autenticidad o atribución y la determinación de los elementos traza puede indicar el origen geográfico y las relaciones de comercio e intercambio de similares materiales.

El análisis de las aleaciones metálicas tiene una larga historia de aplicaciones en la Numismática, debido a que el valor de monedas de una misma edad depende del conocimiento del valor intrínseco, es decir, la concentración de los metales presentes. La primera publicación en el campo del examen científico a objetos antiguos fue realizada por M.M. Klaproth en 1796, precisamente en la determinación de la composición de monedas griegas y romanas por un método químico clásico. Este método de análisis significaba la pérdida de la mitad de la moneda y aunque los resultados fueron precisos y permitieron obtener conclusiones valiosas, los curadores rechazan los métodos destructivos (con extracción de muestra) porque sacrifican una parte irremplazable del patrimonio cultural. Actualmente se pueden valorar numerosas investigaciones de bienes patrimoniales a través del análisis no destructivo e *in situ* con espectrómetros desarrollados para el examen específico de bienes culturales,<sup>1-4</sup> como se presenta en este trabajo a través del estudio por Fluorescencia de Rayos X Portátil (FRXP) de una colección de medallas de escuelas primarias cubanas (1850-1960) muy preciada por la Sociedad de Numismáticos de Cuba, que ha sido expuesta en el Museo de Numismática de la Oficina del Historiador de la Ciudad de La Habana. Los objetivos específicos de esta investigación que ilustran su importancia para la Numismática consistieron en analizar anacronismos en medallas con la imagen de Martí, a través de la diferencia entre composición de la medalla y el sello de Martí; determinar si las medallas de las escuelas maristas de Camagüey y Santa Clara y los Colegios de Santiago de Cuba fueron confeccionadas por Fuentes & Álvarez en La Habana y si las medallas no marcadas al estilo de las compañías americanas Metal Art Co. y Green Duck Co. fueron realizadas por estas compañías o por la de Fuentes & Álvarez de La Habana, así como la joyería productora de medallas no marcadas, entre las joyerías cubanas Bustamante y Fuentes & Álvarez; identificar el metal de medallas con escudo de los años cincuenta (XX) y calcular el valor intrínseco de medallas significativas de la colección.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis multielemental cualitativo de la composición de las aleaciones de las medallas, se realizó a partir de los espectros colectados con un espectrómetro portátil de FRX desarrollado en laboratorio<sup>5,6</sup> (Fig. 1), basado en una fuente de excitación con un tubo de rayos X (ánodo de Pd, máxima corriente y voltaje: 1 mA y 50 kV) y un detector miniaturizado de tipo Si-PIN (resolución energética 230 eV para la línea de Mn- $\alpha$  área activa: 25 mm<sup>2</sup> y 12  $\mu$ m de espesor de la ventana de Be). El sistema presenta una tarjeta multicanal que permite compilar los espectros en una computadora laptop. La elección del punto de medición se realizó mediante el asesoramiento con dos láseres de posición, lo cual garantizó condiciones geométricas adecuadas y reproducibles e indicó el límite de aproximación del espectrómetro a la medalla durante el análisis. Las mediciones fueron realizadas con diferentes colimadores: de Ag (Col. Ag) y Sn (Col. Sn) de 1 y 8 mm de diámetro respectivamente (Tabla 1) y debido a la existencia de una región limitada de superficie lisa en la medalla. Para realizar las

determinaciones, se acopló a la cabeza de medición, una pequeña mesa que se utiliza también para la medición de patrones, donde se posiciona la medalla sobre un portamuestra adecuado.

Los exámenes para responder las interrogantes sobre procedencia y atribución se basaron en el cálculo de la relación de áreas de los picos de las líneas características de los elementos mayoritarios y minoritarios presentes.

El cálculo del valor intrínseco en las 22 medallas más significativas de esta colección, se realizó a través de la cuantificación de la concentración de los metales detectados por FRX. Para ello, se midieron muestras de materiales de referencia certificados como: NBS 1107 (en disco fundido), NIST 871 y NIST 872 (en pastillas de polvo) y láminas finas y puras de Au, Ag, Cu, Zn y Ni. Se calcularon las concentraciones porcentuales por el método de comparación con patrones externos.

## Sobre la colección de medallas estudiada

Las medallas de la colección estudiada fueron otorgadas a estudiantes de las escuelas cubanas de primera o de segunda enseñanza por sus buenos resultados académicos y de conducta en el periodo entre 1850-1960.

A las medallas, se les asignó un código en el laboratorio según el nombre de la escuela y el número correspondiente en la colección que es la etiqueta con que aparecen nominadas en el texto y los gráficos bivariados.

Las medallas analizadas fueron 91. Entre ellas, 19 atribuidas de la manera siguiente: 10 otorgadas por colegios habaneros (Colegios Álvarez, De la Luz y De la Salle) que no estaban marcadas, pero que fueron atribuidas según catálogo de venta de la joyería habanera Fuentes & Álvarez y anuarios de la escuelas (FA-51-60), cinco de la escuela Valmaña (AV-61-66, excepto la AV-65) que no estaban marcadas, pero que fueron atribuidas a la joyería habanera Bustamante y Hnos. porque aparecen en los anuarios de esta escuela que esta joyería le confeccionó medallas con diseños diferentes de



**Fig. 1.** Cabeza de medición del Espectrómetro Art-FRX y detalle del posicionamiento de la medalla.

**Tabla 1.** Análisis cualitativo de las medallas investigadas.

Medalla	Análisis multielemental	Conclusiones
No. 1. En el sello con borde azul, - punto en frente de Martí.	Ni*, Cu*, Au	Aleación de Ni y Cu, poco Au.
No.1. En la medalla, - cara decorada y cara posterior.	Co*, Ni*, Cu*, Zn*, Au	Aleación de Co, Ni, Cu y Zn.
No. 2. En el sello, - frente de Martí - fondo rugoso.	Ni*, Cu*, Au	Aleación de Ni y Cu*, baño ligero de Au.
No.2. En la medalla, cara posterior.	Ni*, Cu, Au	Aleación de Ni y Cu, en concentraciones similares al sello.
No. 3. En la medalla, - frente de Martí y fondo de Martí.	Cu*, Zn*	Aleación de Cu* y Zn.
No. 3. En la medalla, - fondo de Martí y cara del Mausoleo.	Cu*, Zn*	Aleación de Cu* y Zn.
No. 4. En el sello, - frente de Martí.	Cu, Ni*, Zn*, Au	Aleación de Cu*, Ni, Zn y como minoritario Au.
No. 4. En la medalla, - cara posterior.	Cu*, Ni*, Zn, Au	Aleación de Cu, Ni, Zn y poco Au.
Medalla no marcada (código: 43) posible Fuentes & Álvarez, - cara decorada (en el fondo) y cara no decorada posterior.	Co, Ni*, Cu*, Zn, Au	Aleación de Co-Ni-Cu-Zn, predominando Cu y Ni.
Medalla no marcada (código: 43) posible Fuentes & Álvarez, en el sello.	Co, Ni*, Cu*, Au**	Diferencia en la composición del sello, presencia mayoritaria de Au.
Medalla marcada como Metal Art-Co. (código: 40), cara posterior, en el fondo.	Cu*, Zn*, Au	Aleación de Cu y Zn con un ligero baño de Au.
Medalla marcada como Metal Art-Co. (código: 40), en el rojo del sello.	Cu, Zn, Pb*, Au	Pigmento rojo: minio ( $Pb_3O_4$ ) y aleación de Cu y Zn con un ligero baño de Au.
Medalla marcada como Metal Art-Co. (código: 40), en región rojo-dorado-azul del sello.	Co*, Cu, Zn, Pb*, Au	Pigmento rojo: minio, aleación de Cu y Zn con un ligero baño de Au y pigmento azul de Co.
Medalla marcada como Green-Duck Co. (código: 33), cara posterior, en el fondo.	Cu*, Au	Aleación de Cu y baño de Au.
Medalla no marcada (código: 42), en cara decorada y no decorada posterior.	Cu*, Zn*, Au	Aleación de Cu y Zn con ligero baño de Au. Igual composición que la medalla marcada como Metal Art-Co analizada.
Medalla no marcada (código: 42), en el rojo del sello.	Cu, Zn, Au, Pb*	Pigmento rojo minio sobre aleación de Cu y Zn con ligero baño de Au.
Medalla no marcada (código: 42), en región rojo-dorado-azul.	Co*, Cu, Zn, Pb*, Au	Pigmento rojo: minio, aleación de Cu y Zn con un ligero baño de Au, y pigmento azul de Co. Igual composición que las medallas <i>Art-Company</i> de esta tabla.
Medalla de las escuelas "Maristas de Santa Clara", (código: 19) cara posterior.	Co, Ni*, Cu*, Zn, Au	Aleación de Co-Ni-Cu-Zn, predominando Cu y Ni. Similar composición de <i>Fuentes &amp; Álvarez</i> en La Habana.
Medalla de escudo de los años cincuentas (código 77).	tr. Fe, Co y Ni	Aleación de aluminio.

\* Elemento mayoritario en la aleación o identificador del color. tr. Trazas.

los catalogados por la joyería Fuentes & Álvarez, tres marcadas de la joyería americana Metal Art Co nm-38, nm-42, nm-43), dos marcadas de la joyería americana Green Duck Co (nm-35, nm-36) y 42 (+ AV-65) medallas no marcadas y aún no atribuidas que fueron otorgadas por colegios de provincia o colegios habaneros de los cuales no se dispone de Anuarios de la escuela para conocer la joyería y que pudieran haber sido realizadas por las joyerías americanas o habaneras antes citadas; de estas, 10 de la escuela Maristas de Camagüey (MC-12-14, MC-44-50), siete de la escuela Maristas de Santa Clara (MSC-15-21), cinco del Colegio Belén de Santiago

de Cuba (CSG-22-26), cinco del Colegio Dolores de la Compañía de Jesús de Santiago de Cuba (CSG-27-31) y de las escuelas habaneras: tres del Instituto Rodríguez Villareal (RV-67-69), una del Instituto Continental (IC-70), dos del Instituto de Estudios de Cuba (IEDC-71,72) y tres del Colegio FIAT LUX (Flux-73-75). También se analizaron cuatro medallas con posibles anacronismos y cuatro de escudos de los años cincuentas y 22 no marcadas y seleccionadas como las más significativas de la colección (por su valor intrínseco, rareza, belleza y antigüedad) por la coleccionista, de un período que comprende desde 1854 —fecha marcada por la primera medalla otorgada por

el Colegio Real, luego Colegio Real de Belén— hasta aproximadamente 1940 (cuando aparecen masivamente los diseños de las joyerías Fuentes & Álvarez y Bustamante y Hnos.) que probablemente fueron realizadas por joyerías cubanas desconocidas, en menor cantidad dada la matrícula reducida de estas escuelas y comprobado que las compañías joyeras americanas marcaban sus medallas.

Las medallas no marcadas de colegios habaneros del Instituto Rodríguez Villareal y la del Instituto Continental, se pudieran atribuir a la joyería Bustamante y Hnos. por el mismo estilo, diseño e igual troquelado que las que aparecen en el Anuario de la Escuela Valmaña, con variación del logotipo de la escuela que se adjuntaba.

La medalla AV-65 tiene un estilo propio que no fue único, pero no era muy difundido en las escuelas del país, el cual no se puede atribuir a los modelos identificados en los Anuarios como realizados por Bustamante y Hnos. y tampoco a los catalogados de Fuentes & Álvarez.

Las medallas no marcadas al estilo de las joyerías americanas Metal Art Co. y Green Duck Co., presentaron diferentes troquelados entre ellas, algunos ligeramente diferentes de los diseños americanos. Estas medallas pudieron haber sido realizadas por la joyería cubana Fuentes & Álvarez, ya que es conocido que a partir de 1940 se empiezan a confeccionar en Cuba en forma masiva y se dejan de comprar a las compañías americanas. En algunas de las primeras medallas de Fuentes & Álvarez, se utilizaron los diseños de las compañías americanas Metal Art Co. y Green Duck Co., según muestran sus catálogos.

Las medallas de provincia de las escuelas Maristas de Camagüey y Santa Clara y los colegios de Santiago de Cuba tienen diseños del estilo de Fuentes & Álvarez y el troquelado de la mayoría es igual, por lo que la hipótesis era si también se le encargaron la confección de estas medallas a la joyería habanera Fuentes & Álvarez.

Las medallas de los colegios habaneros FIAT-LUX e IEDC no marcadas presentan un diseño diferente a los conocidos de las compañías americanas y cubanas mencionadas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del análisis cualitativo de los espectros se pudieron determinar anacronismos, identificar los pigmentos de las decoraciones y la composición de metales mayoritaria, así como obtener otras “nociones” sobre la atribución de las medallas no marcadas a partir de la comparación de sus espectros FRX con los de las medallas marcadas.

### Análisis multielemental cualitativo de las medallas

Se reportaron los elementos químicos detectados en la aleación metálica de medallas representativas y los pigmentos identificados en algunas de ellas que presentaron decoración (Tabla 2).

**Medallas con anacronismos.** La diferente composición de la aleación metálica del sello con la representación del rostro de Martí (Ni\*, Cu\*, Au) y del resto de la medalla fue detectada en el análisis de cuatro medallas (Tabla 1 No. 1 a No. 4) de los años cincuentas y la correspondencia de la composición de este sello con sellos del período revolucionario corroboraron la adición del sello posteriormente, por lo que se trata de un anacronismo.

Las denominadas como *medallas de escudo de los años cincuentas*, según la hipótesis de los coleccionistas habían sido realizadas en calamina. La calamina o hemimorfita es un mineral y mena de cinc:  $\text{ZnCO}_3 \cdot \text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . El análisis del espectro FRX de medallas con escudo de los años cincuentas, reportó solo trazas de Fe, Co y Ni y la no presencia de Zn en cantidades mayoritarias, lo cual identificaría con certeza la calamina. Debido a que la energía de los rayos X emitidos por los átomos de Al es muy baja por lo que se absorbe en el aire entre el punto de medición de la medalla y el detector y por ser las aleaciones metálicas de Al las únicas que no se detectan por FRXP (sin sistema de vacío), por exclusión se concluyó que en este caso, se empleó probablemente una aleación metálica de Al.

### Estudio de procedencia o atribución

Las relaciones (o proporciones) de los elementos químicos detectados, analizadas a partir de los gráficos de las relaciones de las áreas de los picos para sus energías características de FRX permitió identificar grupos entre las medallas investigadas, lo cual confirmó o negó la atribución posible analizada a partir del diseño, estilo y troquelado. Así, se atribuyeron medallas no marcadas como realizadas en una joyería un lugar geográfico o ambos, entre compañías cubanas y norteamericanas que acuñaron medallas para las escuelas cubanas en el período de 1936-1960 y que presentan igual estilo y diseño, aunque algunas difieren en el troquelado.

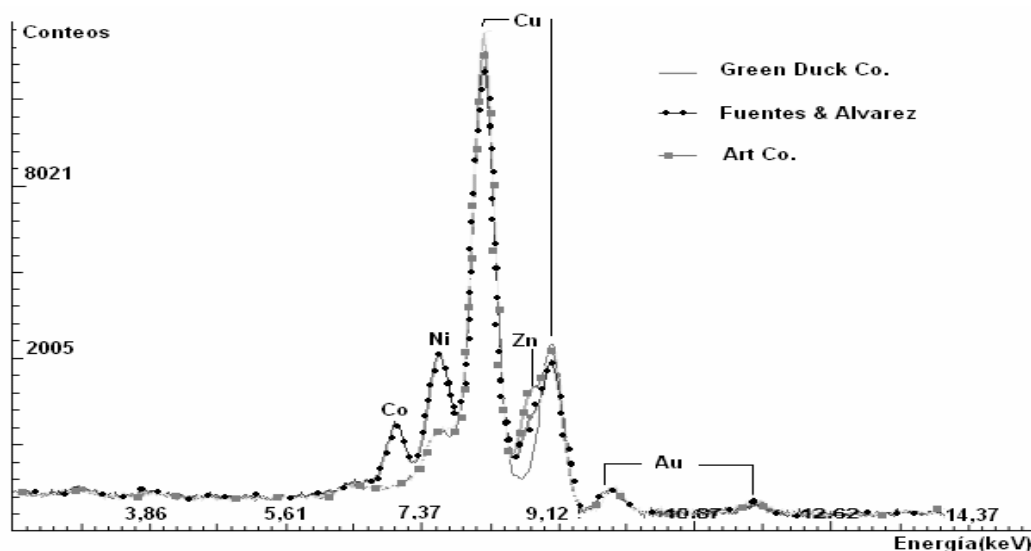
### Estudio de origen geográfico y atribución de medallas no marcadas a las compañías norteamericanas Metal Art Co. y Green Duck Co. o Fuentes & Álvarez de La Habana

De la comparación de los espectros de FRX (Fig. 2) de tres medallas marcadas como fabricadas por las joyerías: Fuentes & Álvarez de La Habana y Metal Art

**Tabla 2.** Concentraciones de metales en medallas más significativas de la colección.

Medallas medidas con Col. Sn 8 mm	Cu	Zn	Ag	Au	Ni	Otros
1	51	25	20	—	—	
2	61	2	37	—	—	tr. Hg
3	51	29	19	—	—	
4	55	7	36	—	—	
5	60	18	0,7	7,3	13,7	
6	75	32	4,1	—	—	tr. Fe
7	1,8	—	98	—	—	
8	66	9	1,1	—	—	tr. Fe
9	18	9	69	4,5	—	
10	73	34	00	n.d	—	
11	66	31	—	—	—	tr. Fe
76	99	—	—	—	—	tr. Fe
86	46	22	—	—	—	
Medallas medidas Con Col. Ag 1 mm						
78	40	12	—	48	0,3	tr. Ni
79	76	9	—	15	—	
80	65	35	—	—	—	tr. Fe
81	82	14	—	3,1	0,5	tr. Fe y Co
82	80	15	—	3,8	0,4	tr. Fe
83	83	14	—	2,9	0,4	tr. Co
84	76	20	—	2,8	0,4	
85	61	38	—	0,8	0,3	

— Elemento no detectado. tr. Trazas.



**Fig. 2.** Espectro de FRX representativos de medallas cubanas realizadas en el Taller de Fuentes & Álvarez en La Habana y en las compañías americanas (Green Duck Co. y Art Co.) de igual estilo.

Co. y Green Duck Co., de Estados Unidos, se infirió que existen diferencias en la composición: las americanas no tienen Co y las cubanas tienen mayor concentración de Ni y Co y las tres presentan similar composición de Au. Una composición de Cu y Zn identifica el cuerpo de las medallas americanas como latón. La presencia de Co y Ni caracteriza las medallas cubanas.

Para determinar las diferencias entre las proporciones de los elementos Ni, Cu y Zn de las medallas marcadas por las compañías Fuentes & Álvarez, Green Duck y Art Co. se realizó el análisis de grupos Ni/Cu vs. Zn/Cu (Fig. 3), considerando que las técnicas de dorado (por aspersión y baño de Au) pudieron haber sido realizadas con una cantidad variable de Au, el cual también pudo haberse perdido a causa del deterioro. Se analizó además por este método, la atribución de medallas no marcadas que imitaron el estilo de estas compañías. De los análisis de los gráficos bivariantes se pueden atribuir las medallas no marcadas con el Código 38 y 42 como acuñadas probablemente en Art Co. y la de código 35 en Green Duck, mientras que las de código 36 y 43 fueron fabricadas por la

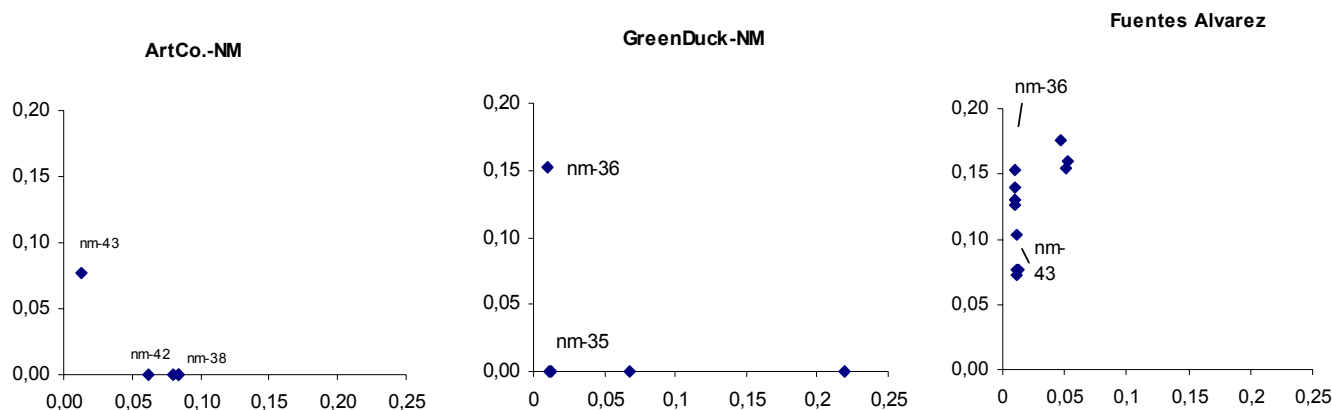
compañía fuentes & Álvarez de La Habana, las cuales coinciden en estilo, diseño y troquelado.

#### Estudio de atribución de medallas no marcadas de las escuelas maristas de Camagüey y Santa Clara y Colegios de Santiago de Cuba a la Co. Fuentes & Álvarez de La Habana

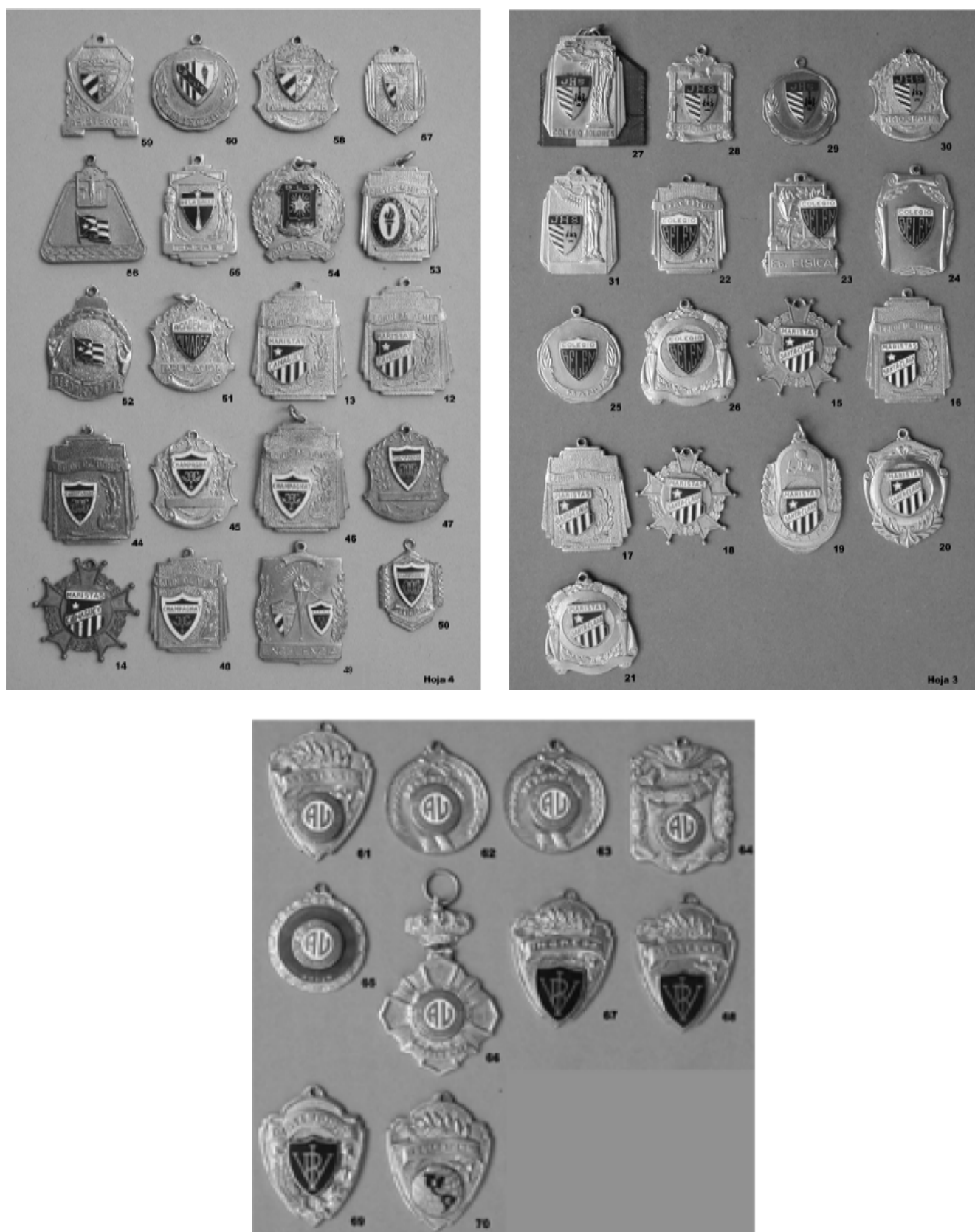
Las medallas con que fueron premiados los estudiantes de la escuelas Maristas de Camagüey, Santa Clara y los Colegios de Santiago de los años cincuentas (Fig. 4) no se encuentran marcadas, pero la hipótesis de su coleccionista siempre ha sido que pudieron ser realizadas por la compañía de Fuentes & Álvarez de La Habana.

Para determinar la atribución de estas medallas se seleccionó el análisis bivariable Au/Cu vs. Zn/Cu (Fig. 5), pues los elementos Co y Ni se distribuyen muy similarmente para todas. El eje Au/Cu presenta una escala mucho menor que el eje Zn/Cu, por lo que las diferencias en composición de Au observadas son mínimas, además se presenta en cantidades minoritarias por ser un baño de Au que se va perdiendo en algunas

Área Ni/ Área Cu vs. Área Zn/Área Cu, Área (Conteos)



**Fig. 3.** Análisis de grupos de medallas marcadas y no marcadas (nm) al estilo de las compañías Art Co., Green Duck y Fuentes & Álvarez. Los puntos no etiquetados corresponden a las medallas marcadas con la atribución del taller de joyería y los no etiquetados corresponden a las medallas no marcadas (nm, no atribuidas).



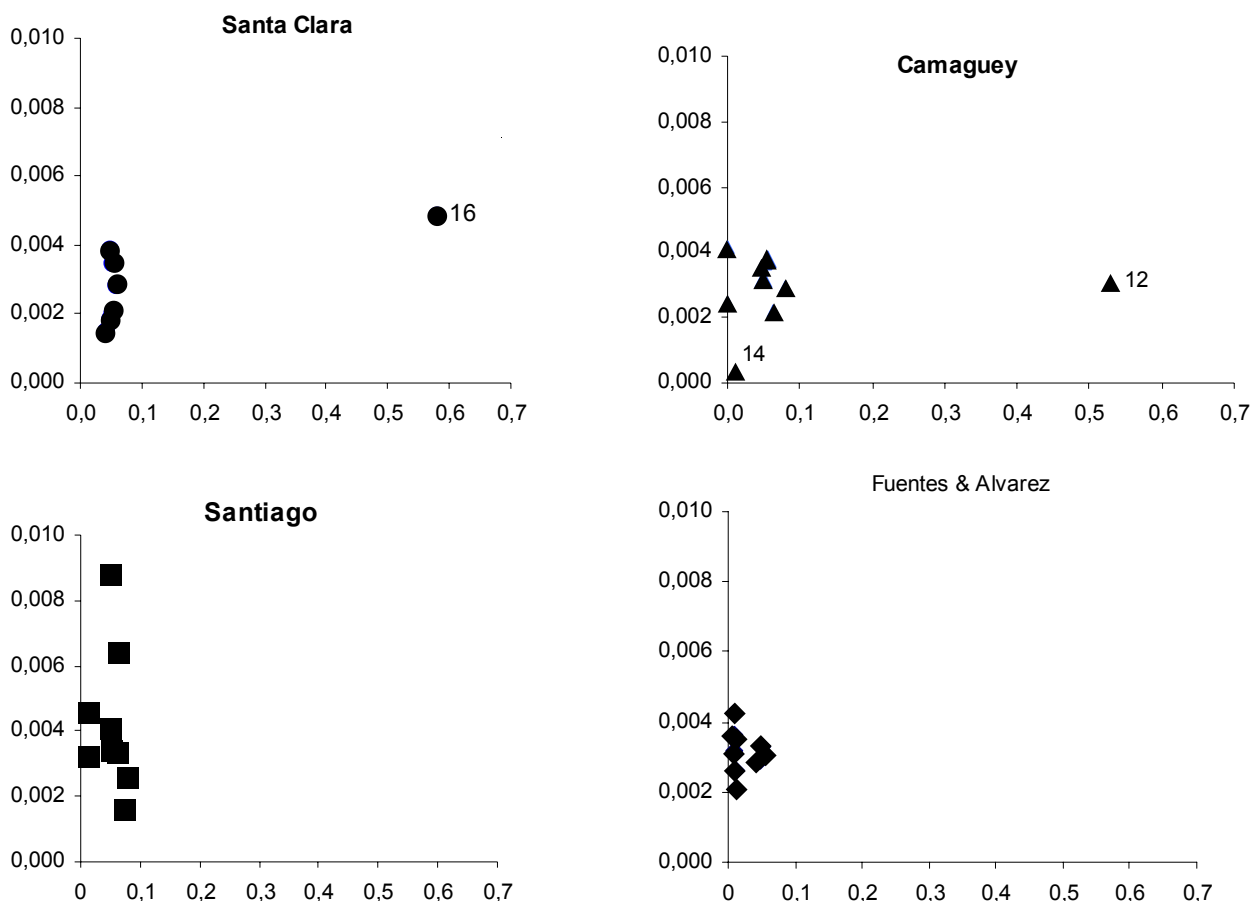
**Fig. 4.** Colección de medallas de escuelas cubanas: marcadas como realizadas en las joyería Fuentes & Álvarez, Habana (FA-51-60), no marcadas y entregadas por la escuela Maristas de Camagüey (MC-12-14, 44-50), Maristas de Santa Clara: (MSC-15-21), Colegio Belén de Santiago de Cuba: 22-26, Colegio Dolores de la Compañía de Jesús, Santiago de Cuba: 27-31 y medallas no marcadas de colegios habaneros: Colegio Valmaña (AV-61,66), Instituto Rodríguez Villareal (RV-67-69), Instituto Continental (IC-70).

por el de cursar del tiempo. Sin embargo, la composición del cuerpo es mayoritariamente de Cu y Zn, lo que permitirá diferenciarlas según las proporciones de estos elementos.

El análisis global de todas las medallas analizadas anteriormente respecto al análisis bivariable Au/Cu vs. Zn/Cu reveló que la mayor parte de las medallas de las escuelas maristas se agruparon con las fabricadas por la



Área Au/ Área Cu vs Área Zn/ Área Cu, Área (Conteos)



**Fig. 5.** Análisis bivariable (Au/Cu vs. Zn/Cu) de grupos de medallas otorgadas por las escuelas maristas de Camagüey y Santa Clara y los Colegios de Santiago para su comparación con medallas atribuidas a la joyería habanera Fuentes & Álvarez Co.

joyería habanera de Fuentes & Álvarez, mientras que las medallas enumeradas como 12 (Camagüey) y 16 (Santa Clara) no se agruparon por lo que no pueden ser atribuidas a la compañía Fuentes & Álvarez.

#### Estudio de atribución de medallas no marcadas entre las joyerías cubanas Bustamante y Hnos. y Fuentes & Álvarez

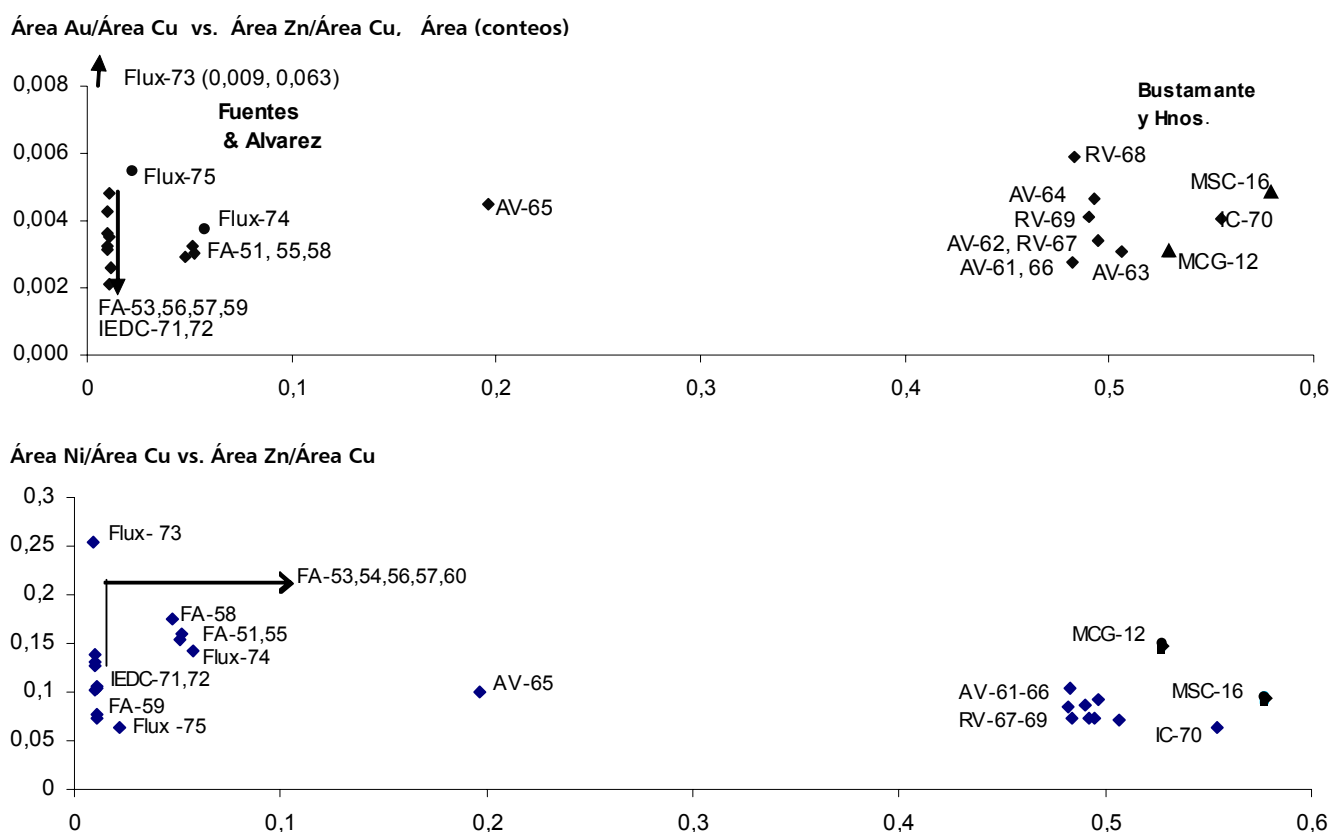
Se estudiaron para su atribución las medallas no marcadas de la escuela IEDC y FIAT LUX. La hipótesis de la coleccionista era que fueron realizadas por la compañía Bustamante y Hnos., de la Habana en los años cincuentas porque sus diseños no aparecen en el catálogo disponible de la joyería de Fuentes & Álvarez. Del análisis espectral se pudo observar que presentaban Ni y Co, por lo que debían ser cubanas y la atribución se debía determinar entre las mencionadas joyerías habaneras.

Para la determinación de grupos se realizaron los gráficos Au/Cu vs. Zn/Cu, Ni/Cu vs. Zn/Cu y Co/Cu vs. Ni/Cu. (Fig. 6). A partir de este análisis, se pudo observar el resultado esperado: la no diferenciación de las medallas Fuentes & Álvarez y Bustamante y Hnos., en cuanto a la composición de Co y Ni, por ser cubanas y la creación de dos grupos bien identificados como Fuentes & Álvarez y Bustamante y Hnos. en los gráficos de Au/Cu vs. Zn/Cu y Ni/Cu vs. Zn-Cu.

Las medallas no marcadas de los colegios IEDC (IEDC-71,72) y Fiat LUX (Flux-73, 74, 75) fueron atri-

buidas a partir de este análisis a la compañía joyera cubana Fuentes & Álvarez de La Habana, lo cual difiere de la hipótesis inicial y demuestra la importancia del examen científico para las atribuciones. La medalla enumerada como AV-65 del colegio Valmaña posee diferente composición metálica, esto coincide con que esta medalla presenta diferente estilo y troquelado y una decoración con un anillo de esmalte color ocre, por lo que pudo haber sido confeccionada por una joyería diferente.

Luego de analizar medallas de la joyería Bustamante y Hnos., se pudo identificar la joyería de las medallas no marcadas enumeradas como 12 y 16, antes analizadas, de las escuelas maristas de Camagüey (MCG) y Santa Clara (MSC) respectivamente, que no pudieron ser atribuidas como realizadas por la joyería habanera Fuentes & Álvarez de La Habana. Para ello, se ubicaron los puntos de estas medallas en el análisis de grupo (Fig. 6) Au/Cu vs. Zn/Cu y se concluyó que estas medallas aún teniendo igual estilo y troquelado que las medallas de Fuentes & Álvarez poseen la composición química más similar a las fabricadas por la joyería también habanera Bustamante y Hnos., lo que sugiere la hipótesis que la joyería Fuentes & Álvarez haya adquirido en algún momento (las medallas no tienen fechas) un material similar de mayor contenido de Zn y menos de Cu, tal vez más económico, usualmente usado por la joyería Bustamante y Hnos. menos notable que la primera, partiendo de la idea de que resulta menos probable que la joyería Bustamante y Hnos. hubiera tenido acceso al troquel de la joyería Fuentes &



**Fig. 6.** Análisis bi-variable ( $Au/Cu$  vs.  $Zn/Cu$  y  $Ni/Cu$  vs.  $Zn/Cu$ ) de medallas no marcadas (SC-12 y SC-16, RV-67-69, IC-70, IEDC-71-72, Flux-73-75) para su comparación con las medallas atribuidas a las joyerías habaneras Fuentes & Álvarez (FA-51-59) y Bustamante y Hnos. (AV- AV-61-69).



**Fig. 7.** Medallas más significativas de la colección de colegios cubanos.

Álvarez; lo cual sugiere que en algún momento ambas utilizaron similar material, posiblemente una fuente común que suministró la aleación metálica y que no

preparaba las aleaciones como ha ocurrido también con la acuñación de monedas.

#### Análisis cuantitativo. Cálculo del valor intrínseco

Las concentraciones calculadas de las medallas más significativas de esta colección (Tabla 2) podrán ser empleadas en el catálogo de estas medallas. Ellas fueron realizadas con aleaciones de Cu y Zn y con un contenido variable de Ag o Au y Ni, destacándose entre ellas por su valor intrínseco: la No. 7 por la elevada pureza de plata (98 %) y la No. 78 por la presencia de Au en casi la mitad de su contenido.

#### CONCLUSIONES

Se estableció una metodología no destructiva por Fluorescencia de Rayos X de interés para estudios numismáticos en Cuba y se aplicó al estudio de 83 piezas de una colección de medallas de escuelas cubanas.

En la colección estudiada fueron identificados anacronismos en medallas con sello de Martí (2) de los años cincuenta (XX).

Las medallas de escuelas del período 1936-1960 fueron realizadas con una aleación de Cu y Zn y un baño de Au por joyerías americanas en Estados Unidos y cubanas en La Habana. Las medallas de las joyerías habaneras Fuentes & Álvarez y Bustamante y Hnos. se caracterizaron por tener mayor contenido de Co y Ni respecto a las americanas y se diferenciaron entre sí significativamente por las proporciones de Cu, Zn, Ni y Au de las aleaciones utilizadas. Se pudo identificar que la mayoría de las medallas de escuelas cubanas analizadas no marcadas tienen el mismo valor intrínseco (composición metálica) que las joyerías habaneras Fuentes & Álvarez (en mayor número) y Bustamante y Hnos, las cuales coinciden en



estilo y troquelado con las joyerías a las cuales pueden ser atribuidas.

Fueron calculadas las concentraciones de metales (valor intrínseco) en las 22 medallas más importantes por su valor intrínseco, rareza, belleza y antigüedad de la colección investigada del período 1854-1940 (lo cual constituye una información útil para catálogos).

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ferretti M, Miazzi L, Moiola P. The application of a non destructive XRF method to identify different alloy in bronze statue of the Capitoline horse. *Studies in Conservation* 1997;42:241-6.
2. Nir-El Y. Elemental assay of Roman silver and copper coins and associated casting items by XRF. *Journal of Radioanalytical Chemistry*. 1997;219(1):115-7.
3. Smit Z, Budnar M, Pelicon P, Zorko B, Knific T, Istenic J *et al.* Analysis of gold artefacts from Slovenia. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*. 2000;753-7.
4. Karydas AG. Application of a Portable XRF Spectrometer for the Non-Invasive analysis of Museum Metal Artefacts. *Annali di chimica*. 2007;97(7):419-32.
5. Development of Portable XRF spectrometer for *in-situ* study of works of arts. Newsletter of the IAEA's Laboratories, Seibersdorf 2001;October(9):1.
6. *In-situ* analysis of bronzes by portable X-ray fluorescence spectrometry, Newsletter of the IAEA's Laboratories, Seibersdorf, 2005;May(9):1.
7. Fuentes & Álvarez. Catálogo ilustrado de Ventas –medallas, hebillas, distintivos y sortijones–, 1955
8. Escuela Valmaña, La Habana, Cuba, Anuario, 1956.