

Caracterización elemental de monedas nacionales de circulación actual mediante técnicas no destructivas de Fluorescencia de Rayos X.

Informe preliminar

Paula Olivera^{1,*}, Esly Calcina²

¹Lab. Rayos X, División de Materiales, Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. José Saco km 12.5, Carabayllo, Lima 6, Perú

²E.A.P. Física, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería, Av. Túpac Amaru 210 Rímac, Lima – Perú, Casilla 31-139

Resumen

Ante la frecuente falsificación de billetes y monedas se propone, en el presente trabajo, identificar la composición química elemental, por ahora, de las monedas de circulación oficial actual en nuestro país, mediante la técnica de análisis no destructivos por Fluorescencia de Rayos X dispersivo en energía, el objetivo es compararlas con monedas falsas y establecer las diferencias que podrían ayudar a identificarlas inmediatamente aprovechando la rapidez en la respuesta de esta técnica. Se ha identificado Al en las monedas de 5 céntimos, Cu y Zn en las de 10 y 20 céntimos, Ni, Cu y Zn en las de 50 céntimos y Un Nuevo Sol y Cr, Cu y Zn en las monedas de 2 y 5 Nuevos soles. Se han analizado 57 monedas peruanas de distintos años de fabricación, entre ellas una moneda falsa de 5 Nuevos Soles encontrándose Cu y Zn en la parte central y Fe en el anillo circular del borde, observando la ausencia del Ni y del Cr, respectivamente, que si se encontró en las monedas oficiales.

Palabras Claves: Monedas peruanas, Caracterización elemental, Fluorescencia de Rayos X, Ensayos no destructivos

Elemental chemical characterization of coins of currently national circulating by X-ray Fluorescence non-destructive techniques

Abstract

Given the frequent counterfeit bills and coins is proposed in this paper to identify the elemental chemical composition; for now, the current official currencies circulating in our country, by Energy Dispersive X-ray Fluorescence technique and non-destructive methods, the goal is to compare with the false and establish the differences that could help identify them immediately taking advantage of the fast response of this technique. Have been identified the elements Al in the coins of 5 cents, Cu and Zn for 10 and 20 cents, Ni, Cu and Zn for 50 cents and a Un Nuevo Sol and Cr, Cu and Zn 2 coins 5 Nuevos Soles. 57 Peruvian coins of different production years and a counterfeit coin of 5 Nuevo Soles have been analyzed, finding Cu and Zn in central part and Fe in circulating edge ring, looking for this one the absence of Ni and Cr, which in the official currency was found.

Keywords: Peruvian currency, Elemental characterization, X-Ray Fluorescence, Non-destructive methods.

1. Introducción

Actualmente se observa con mucha frecuencia, en el ámbito financiero, la falsificación de billetes y monedas de circulación diaria; por eso, el objetivo de este trabajo es identificar su composición química elemental, mediante la técnica de análisis por Fluorescencia de Rayos X dispersivo en energía, para compararlas con las monedas

falsas y establecer las diferencias que podrían ayudar a identificarlas inmediatamente, aprovechando la rapidez en la respuesta de esta técnica.

La Fluorescencia de Rayos X (FRX) es un excelente método analítico para determinar la composición química de diversos materiales,

*Correspondencia autor: polivera@ipen.gob.pe

en especial de los metales, debido a su densidad y homogeneidad que garantizan un buen análisis [1,2,3].

De acuerdo con la información que se encuentra en el Portal del Banco Central de

Reserva del Perú [4], las monedas nacionales de uso corriente tienen las características físicas y químicas que se muestran en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Características químicas de las monedas analizadas.

 <p>El aluminio es un elemento químico, de símbolo Al y número atómico 13. Se trata de un metal no ferroso. Es el tercer elemento más común encontrado en la corteza terrestre. Como metal se extrae del mineral conocido con el nombre de bauxita, por transformación primero en alúmina mediante el proceso Bayer y a continuación en aluminio mediante electrólisis, tiene una densidad 2.700 kg/m^3 y una alta resistencia a la corrosión.</p>	  <p>En los dos casos, la aleación del núcleo de la moneda es de cobre, aluminio y níquel. La aleación del anillo que rodea la moneda es de acero inoxidable (hierro, cromo y níquel) [5].</p>
  <p>El latón, es una aleación de Cu y Zn que se realiza en crisoles o en un horno de reverbero a una temperatura de fundición de $980 \text{ }^\circ\text{C}$. Se suele agregar Pb a la aleación en proporciones entre 2 y 4 % para mejorar el corte de viruta y hacer el material más mecanizable; su densidad ronda entre 8,4 y $8,7\text{g/cm}^3$.</p>	  <p>La alpaca, plata alemana o metal blanco es una aleación ternaria compuesta por Zn, Cu y Ni, con un color y brillo parecido al de la plata. Las aleaciones que contienen más de un 60 % de cobre son monofásicas y se caracterizan por su ductilidad y por la facilidad para ser trabajadas a temperatura ambiente, la adición de níquel confiere una buena resistencia a los medios corrosivos.</p>

Tabla 2. Características físicas de las monedas estudiadas.

Moneda	Aleación	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Canto
5 céntimos	Aluminio	18.00	1.68	1.02	Liso
10 céntimos	Latón	20.50	1.44	3.5	Liso
20 céntimos	Latón	23.00	1.40	4.40	Liso
50 céntimos	Alpaca	22.00	1.88	5.45	Estriado
1 Nuevo Sol	Alpaca	25.50	1.92	7.32	Estriado
2 Nuevos soles	Bimetálica	22.38	2.06	5.62	Estriado discontinuo
5 Nuevos Soles	Bimetálica	24.38	2.00	6.67	Estriado continuo

Fuente: Banco Central de Reserva del Perú.

2. Procedimiento Experimental

2.1. Selección y preparación de muestras

Se dispusieron de 12 monedas de 10 céntimos, 7 monedas de 20 céntimos, 7 monedas de 50 céntimos, 15 monedas de 1 sol, 9 monedas de 2 soles y 7 monedas de 5 soles, cada una de diferentes años de emisión. Se procedió a limpiarlas con acetona para retirarles la grasa y suciedad superficial antes de la irradiación con una fuente anular de Cadmio-109 en ambiente atmosférico.

El equipo utilizado para la medición de los rayos X fluorescentes, es un sistema modular de espectroscopia de Rayos X constituido por

un detector semiconductor de Si(Li) de 167 eV de resolución para 5.89 KeV de energía y su electrónica asociada; para la toma de datos se utilizó el Analizador Multicanal PCAII The Nucleus y el Quantitative X-Ray Analysis Software (QXAS) para la evaluación de espectros, la determinación cualitativa y los cálculos cuantitativos.

Para analizar la moneda de 5 céntimos se utilizó, además del sistema anterior, otro equipo constituido por un tubo de Rayos X con blancos secundarios como fuentes de excitación [7] y medido en vacío, encontrándose Al, tal como se aprecia en el espectro mostrado en la Figura 1.

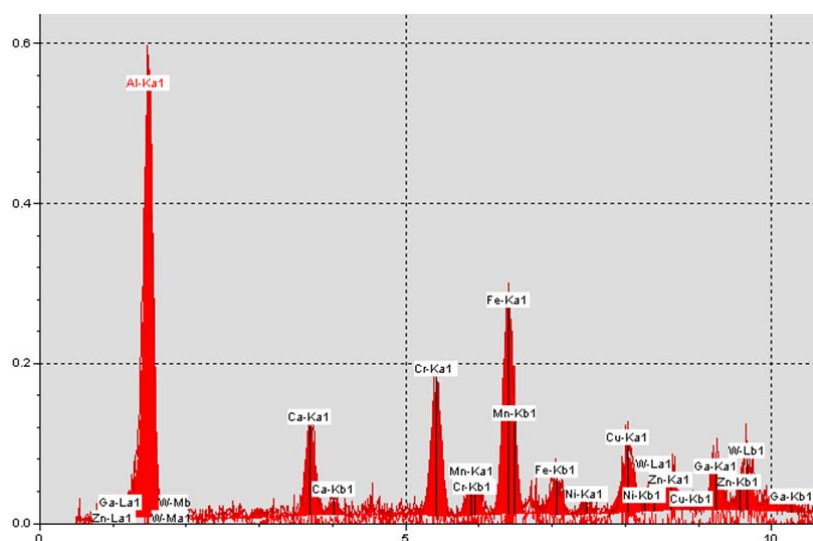


Figura 1. Espectro FRX de una moneda de 5 céntimos analizado en un sistema con blancos secundarios y en vacío.

2.2. Evaluación estadística de las mediciones

Dado que la desintegración radiactiva es totalmente aleatoria [3] y existe una influencia directa en la determinación elemental cuantitativa es necesario conocer tal influencia, para lo cual se hizo 25 mediciones de una moneda de Un sol emitido el presente año, para estudiar el comportamiento aleatorio de las mediciones radiactivas en base al área de los picos obtenidos en el espectro de dicha moneda. Todas las mediciones fueron hechas en las mismas condiciones de geometría y tiempo de exposición. Las áreas de los componentes Ni, Cu y Zn fueron calculadas por métodos

iterativos [8], usando el programa QXAS.

3. Resultados y Discusión

En la Tabla 3 se observa que la desviación estándar (error estadístico) es mayor que la desviación calculada por el QXAS, para cada una de las áreas. Por ejemplo para el níquel: $162 > 130$. El coeficiente de variación en todos los casos es menor del 1 %, lo que nos permite considerar que las mediciones son estables [3].

En la Tabla 4 se presenta las concentraciones determinadas para cada una de las monedas de circulación actual, allí se puede observar que la moneda de 5 céntimos es de Aluminio, pero tiene en su composición Cr, Fe en

concentraciones bajas y Cu y Zn a niveles de trazas, tal como se puede observar en la Figura 1.

Las monedas de 10 y 20 céntimos, efectivamente están compuestas por latón (cobre y zinc). Las monedas de 50 céntimos y

1 sol, de una aleación denominada Alpaca (cobre, zinc y níquel). Las monedas de 2 y 5 soles están compuestas en la parte central de cobre y níquel, mientras que en la parte del contorno están compuestas por cromo y hierro.

Tabla 3. Evaluación estadística de conteo para la toma de datos.

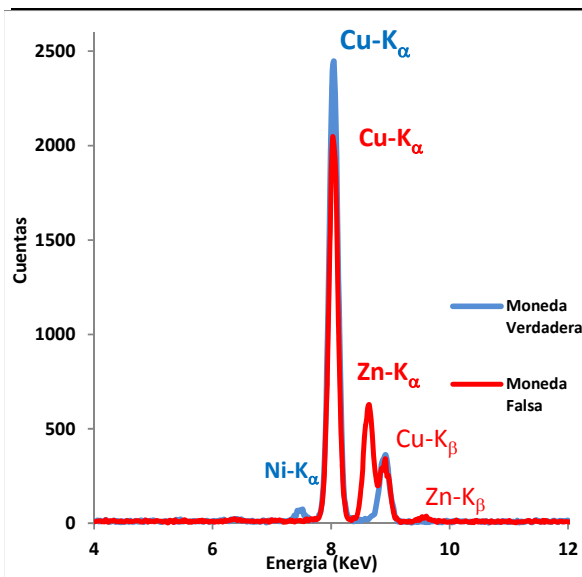
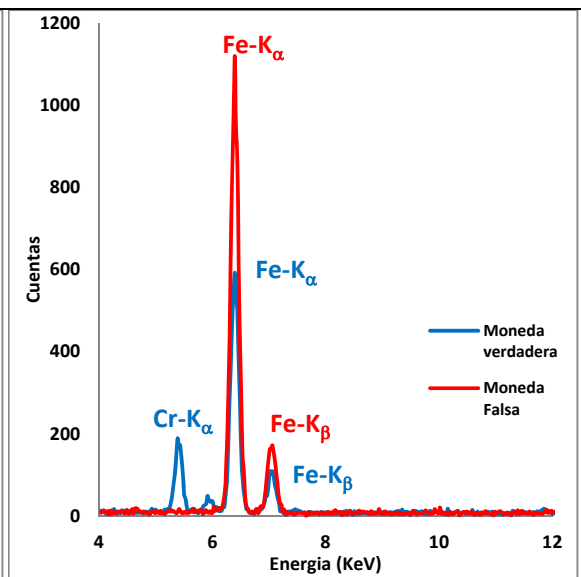
Nº medición	Áreas bajo el pico + Desviación		
	Ni	Cu	Zn
1	14672 ± 129	87563 ± 298	25916 ± 164
2	15043 ± 129	86984 ± 297	25630 ± 164
3	15287 ± 131	87969 ± 298	25551 ± 163
4	15022 ± 129	87703 ± 298	25460 ± 163
5	15077 ± 130	87279 ± 297	25788 ± 163
6	15181 ± 130	87449 ± 297	25721 ± 163
7	15038 ± 130	87764 ± 298	25668 ± 163
8	14970 ± 129	87440 ± 297	25327 ± 162
9	15284 ± 131	87582 ± 298	25578 ± 163
10	14979 ± 129	87358 ± 297	25545 ± 163
11	15021 ± 130	86922 ± 297	25737 ± 163
12	15156 ± 130	87539 ± 298	25250 ± 162
13	15088 ± 130	87188 ± 298	25595 ± 164
14	15054 ± 130	87287 ± 297	25508 ± 163
15	14968 ± 129	86983 ± 297	25718 ± 164
16	14765 ± 129	87679 ± 298	25926 ± 164
17	15157 ± 130	87983 ± 298	25610 ± 163
18	15032 ± 130	87574 ± 298	25360 ± 163
19	14917 ± 129	87275 ± 297	25473 ± 162
20	15162 ± 130	87702 ± 297	25709 ± 163
21	15156 ± 130	88218 ± 298	25510 ± 162
22	14960 ± 128	87422 ± 297	25688 ± 163
23	15455 ± 131	89508 ± 300	26052 ± 164
24	15145 ± 130	87499 ± 297	25889 ± 164
25	14947 ± 128	87584 ± 297	25454 ± 163
Promedio	15061±130	87578±298	25627±163
Desv. std.	162	508	196
CV(%)	1.1	0.6	0.8

De acuerdo con los objetivos de este trabajo se analizó una moneda falsa de 5 Nuevos Soles, de cuyos espectros se observa a simple vista las diferencias tanto de la parte central (Figura 2) como del material del borde de la

moneda (Figura 3). En estas figuras se observa que la moneda falsa tiene zinc en lugar de níquel en la parte central y no tiene cromo en la parte del borde. Esto es entendible pues el costo del zinc es 8 veces menor que el del níquel [6].

Tabla 4. Concentraciones, expresadas en %, de cada uno de los componentes de las diferentes monedas analizadas, excepto (*) para el Cu y Zn de la moneda de 5 céntimos que se expresan en mg/kg.

Moneda	Al	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	Mo
5 céntimos	99.5 ± 0.2	0.3 ± 0.0	0.2 ± 0		174* ± 27	123* ± 15	
10 céntimos			0.5 ± 0.1		86.8 ± 1.3	12.7 ± 1.3	
20 céntimos			0.5 ± 0.2		87.2 ± 0.8	12.3 ± 0.7	
50 céntimos			0.6 ± 0.3	14.1 ± 0.6	64.3 ± 1.1	20.9 ± 1.3	
Un Nuevo Sol			0.5 ± 0.2	14.5 ± 1.0	64.6 ± 1.1	20.3 ± 1.5	
2 NS centro				2.7 ± 0.4	97.3 ± 0.4		
2 NS borde		25.5 ± 1.1	74.5 ± 1.1				0.1 ± 0.01
5 NS centro			0.9 ± 0.1	2.7 ± 0.2	97.3 ± 0.2		
5 NS borde		25.9 ± 1.1	74.1 ± 1.2				0.1 ± 0.01

**Figura 2.** Espectro de la parte central de dos monedas de 5 Nuevos Soles uno verdadero y el otro falso.**Figura 3.** Espectro del borde de dos monedas de 5 Nuevos Soles uno verdadero y el otro falso.

En el anillo del contorno de la moneda falsa se observa la presencia de óxido (Figura 4), debido a la ausencia del cromo, ya que cuando en una aleación el cromo está presente no se oxida, de ahí que se denomina acero inoxidable. En el caso de la moneda falsa se tiene un acero simple que es una aleación de hierro con carbono en un 0.04-2.25 %, el carbono no se detecta mediante la técnica de Fluorescencia de Rayos X, por tratarse de un elemento liviano [3], cuyo $Z_C < 11$ y no es sensible a la técnica.

**Figura 4.** Es visible la oxidación que presenta la superficie de la moneda falsa de 5 Nuevos Soles.

4. Conclusiones

La moneda falsa se identifica por que en lugar de níquel tiene zinc (Figura 2) y no tiene cromo en su contorno (Figura 3), lo que se comprueba visualmente en pocos segundos de irradiación-medición de la moneda dudosa

en un sistema de espectroscopía de Fluorescencia de Rayos X.

5. Bibliografía

- [1] Constantinescu B, Bugoi R, Oberlander-Tarnoveanu E, Parvan K. Medieval silver coins analyses by Pixe and ED-XRF Techniques. *Romanian Journal of Physics*. 2009; 54(5-6):481-490.
- [2] Nguyen The Quynh, Truong Thi An, Tran Duc Thiep, Nguyen Dinh Chien, Dao Tran Cao, Nguyen Quang Lielm. Elemental analysis of the ancient bronze coins by X-ray fluorescence technique using simultaneously radioisotope source and X-ray tube. *Communications in Physics*. 2004; 14(1):50-56.
- [3] Van Grieken R, Markowicz A. *Handbook of X-Ray Spectrometry*. 2nd ed.; 2002.
- [4] Banco Central de Reserva del Perú. Billetes y monedas. Disponible en:

<http://www.bcrp.gob.pe/billetes-y-monedas.html>

- [5] Muñiz B. Metales empleados en las monedas. Diciembre 2009; [serie en Internet]. Disponible en: <http://www.bencoins.com>
- [6] Portal Minero. Bolsa de metales. [serie en Internet]. Disponible en: <http://www.portalminero.com/display/bols/Bolsa+de+Metales>
- [7] PANalytical. Principles of X Ray Fluorescence. 2002; [serie en Internet]. Disponible en: <http://www.panalytical.com/Profile/About-us.htm>
- [8] International Atomic Energy Agency. Quantitative X Ray Analysis System User's Manual and Guide to X Ray Fluorescence Technique. Version 2.0 (2005).