

ALTERNATIVA DE OBTENCIÓN DE PROBETAS DESDE MUESTRAS TESTIGOS EN ESTUDIOS DE DORÉ



ALTERNATIVE OF OBTAINING TEST BARS OF BULLION FROM DUPLICATE SAMPLES

<http://opn.to/a/a05WK>

Isora María Arcia Rivero¹, Idalberto García Fernández¹, Carlos Serafín Cruz Gómez¹, Miladys Aróstegui Aguirre¹, Antonio Águila¹, Giselle Valdivia García¹, Malvis Jarrosay Cando¹, Hilda Geidy Viat Bernal¹, Lierli Oconnor Montero²

RESUMEN: Para cumplir la solicitud una de las plantas productoras de oro del país relacionada con la necesidad de realizar una mejor caracterización de su producto final (doré), se obtuvieron probetas con los siguientes contenidos específicos: Au 10-75%, Ag 4-50 %, Cu 3-55%, Pb 3-25 % y Zn 0.01-0.25 %. Para ello se seleccionaron las muestras testigos a emplear para la confección de las probetas, que fueron obtenidas por fundición de dichas muestras. Para realizar este trabajo fue necesario construir lingoteras apropiadas para el vaciado del material fundido, lo que requirió el diseño de plantillas, el desarrollo de modelos de cálculo de volúmenes, la selección de los materiales más apropiado (en este caso chapas de acero inoxidable). Las lingoteras construidas en correspondencia con volúmenes predeterminados, fueron utilizadas para el vaciado de material fundido a temperatura de 1070° centígrados en un horno de fusión; con lo que finalmente se obtuvieron 7 pequeñas probetas, que fueron pulidos y barrenados según NC 1071:2015 Doré-Muestreo para la posterior caracterización del material. La evaluación de los contenidos de oro y plata se obtuvieron por la aplicación de la Norma Cubana NC 1069:2015 DORÉ — Determinación de oro y plata por copelación (Ensayo al fuego), mientras que el resto de los elementos acompañantes se determinaron por el procedimiento DCM-PT-05-005: Determinación de Au, Ag, Al, Be, Cu, Ni, Pb y Zn en aleaciones de Au/Ag que emplea la Espectroscopia de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES), correspondiéndose los resultados obtenidos con las expectativas de la planta productora.

Palabras clave: Probetas de doré, caracterización química.

ABSTRACT: To fulfill the request of one of the gold producing plants of the country related to the need to perform a better characterization of its final product (gold bullion), a few test bars were obtained with the following specific contents: Au 10-75%, Ag 4-50%, Cu 3-55%, Pb 3-25% and Zn 0.01-0.25%. To this purpose, the control samples to be used for the preparation of the test bars were selected, and the bars were obtained by casting those samples. In order to carry out this work, it was necessary to construct appropriate molds for the casting of the molten material, which required the design of templates, the development of volume calculation models, the selection of the most appropriate materials (in this case, stainless steel plates). The molds constructed in correspondence with predetermined volumes, were used to pour of molten material at a temperature of 1070° centigrade in a melting furnace, finally getting 7 small test bars, that were polished and drilled according to NC1071: 2015 Gold bullion-Sampling for the subsequent characterization of the material. The evaluation of the gold and silver contents was obtained by the application of the Cuban Standard NC 1069: 2015 Gold bullion — Determination of gold and silver by cupellation (Fire assay), while the rest of the accompanying elements were determined by the procedure DCM-PT-05-005: Determination of Au, Ag, Al, Be, Cu, Ni, Pb and Zn in Au / Ag alloys using the Optical Emission Spectroscopy with Inductively Coupled Plasma (ICP-OES), corresponding the results obtained with the expectations of the production plant.

Key Words: Gold bullion test bars, chemical characterization.

Recibido: 19/05/2018

Aprobado en su forma original: 11/10/2018

¹Centro Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica, CIPIMM, Carretera Varona No.12028, km 1½, Boyeros, La Habana, Cuba, CP 10800, isora@cipimm.minem.cu

²Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echevarría, Unidad Docente de Metalurgia. Marianao. La Habana, Cuba

INTRODUCCIÓN

Por orientación de la Dirección Técnica del Grupo Geominsal, se le solicitó al Centro de Investigación para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM) elaborar 7 piezas de Doré de la planta, a partir de las muestras testigos que se conservan en la División de Caracterización de Materiales del CIPIMM. Para darle cumplimiento a esta tarea se comenzó con la selección de las muestras en dependencia de niveles respectivos de concentración y asociado a satisfacer necesidad de resolver el problema de obtener probetas con características específicas en contenido de Au 10-75%, Ag 4-50 %, Cu 3-55%, Pb 3-25 % y Zn 0.01-0.25 % según las características físico-químicas de los productos existentes como muestras testigos.

La realización del trabajo requería diseñar y construir pequeñas cápsulas de acero inoxidable en correspondencia a volúmenes predeterminados en el orden de 50mm³ y 35mm³ respectivamente, volúmenes dados por experiencias anteriormente acumuladas por investigadores del centro. La atención de los autores estuvo enfocada hacia la obtención de pequeños lingotes obtenidos con el metal fundido y vertido en las cápsulas, y que posteriormente debían ser sometidos a respectivos trabajos de pulido y barrenado para la caracterización del material según NC 1071:2015 Doré-Muestreo.

Los resultados de la caracterización del material en oro y plata, indicados según doré-determinación de oro y plata por copelación (ensayo al fuego - NC 1069:2015) y la determinación de impurezas por ICP, se corresponden con expectativas de la planta productora. El colectivo de autores tuvo la capacidad de realizar la necesaria distribución de las tareas, lo que comenzó con la concepción del proyecto, selección de muestras, desarrollo de procedimientos de cálculo de los volúmenes de las cápsulas, diseño de plantillas, realización de procesos de fundición, vaciado y desmoldeo, realización de pulido, barrenado y determinación

de contenido de elementos químicos pre establecidos en los pequeños lingotes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de los procedimientos se emplearon los siguientes equipos y materiales:

- Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES) modelo Spectroflame de la firma SPECTRO de Alemania, que posee un sistema óptico con transmisión de la luz mediante fibra óptica.
- Espectrometría de Absorción Atómica con Llama (EAA), modelo.
- Horno de copelación, modelo. Temperatura máxima 1200 °C.
- Micro balanzas analítica.
- Balanza analítica, modelo
- Copelas, hechas de óxido de magnesio de capacidad 50 g de plomo fundido. Como se recomienda en el ensayo al fuego.
- Cristalería de laboratorio certificada.
- Laminador de joyería

Reactivos

- Agua desionizada (conductividad menor a 0.1 µS/cm).
- Ácido clorhídrico 37% (d= 1,18 g/cm³).
- Ácido clorhídrico 5M
- Ácido clorhídrico 1:10.
- Ácido nítrico (HNO₃) 65 % (d= 1,42 g/cm³).
- Ácido nítrico 5M
- Ácido nítrico 1:10
- Agua regia ENT#091;HCL (d=1,18 g/cm³) + HNO₃ (d= 1,42 g/cm³)ENT#093;
- Plomo en láminas, 99,99 % Pb.
- Plata metálica, 99,9 % Ag, (máximo 0,001 % Au)
- Cobre metálico, 99,9 % Cu.
- Copela de magnesita o ceniza de hueso
- Solución estándar de Oro de 1000 mg/L, Merck.
- Solución estándar de Plata de 1000 mg/L, Merck.

- Solución estándar de Cobre de 1000 mg/L, Merck.
- Solución estándar de Plomo de 1000 mg/L, Merck.
- Solución estándar de Zinc de 1000 mg/L, Merck.
- Solución estándar de Níquel de 1000 mg/L, Merck
- Solución estándar de Berilio de 1000 mg/L, Merck
- Solución estándar de Aluminio de 1000 mg/L, Merck
- Solución de referencia certificada
- Solución de partida para curvas de calibración para contenidos de Ag < 20% (400 µg/ml de Au y Cu, 50 µg/ml de Al, Be y Ni y 200 µg/ml de Ag, Pb y Zn).- En volumétrico de 100 ml añadida 30 ml de HCl 2.1 y a continuación añadida 40 ml de la solución estándar primario (1 ml =1 mg) de Au y Cu, 20 mL de la solución estándar primario (1 ml=1 mg) de Ag, Pb y Zn y 5 ml de la solución estándar primario (1 ml=1 mg) Al 2.13, Be 2.14 y Ni 2.16. Llevará la marca con agua destilada.
- Solución de partida para curvas de calibración para contenidos de Ag > 20%(400 µg/ml de Au y Cu, 50 µg/ml de Al, Be y Ni y 200 µg/ml de Pb y Zn).- En volumétrico de 100 ml añadida 5 ml de HCl 2.1 y a continuación añadida 40 ml de la solución estándar primario (1 ml=1 mg) de Au y Cu, 20 ml de la solución estándar primario (1 ml=1 mg) de Pb y Zn y 5 ml de la solución estándar primario (1 ml=1 mg) Al 2.13, Be 2.14 y Ni 2.16. Llevará la marca con agua destilada.

Condiciones instrumentales: En Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES) las condiciones instrumentales fueron de acuerdo a

las recomendaciones del fabricante para garantizar la mejor relación señal/ruido. Seleccionándose finalmente la descrita.

- Potencia -1200w
- Flujo de nebulización -1,2 L/min Ar
- Presión de nebulización-3,8 bar.
- Flujo auxiliar-1,2 L/min Ar
- Flujo de enfriamiento -18,8 L/min Ar
- Altura de observación 15 mm por encima de la bobina.

Las soluciones de partidas de calibración ICP-OES se prepararon como se muestra en la [Tabla 1](#) siguiente:

Blanco de calibración

Método A: En volumétrico de 200 ml añadida 60 ml de HCl, enrase con agua desionizada y homogenice.

Método B: En volumétrico de 200 ml añadida 10 ml de HCl, enrase con agua desionizada y homogenice.

Selección de líneas analíticas: Teniendo en cuenta los contenidos de los elementos a determinar se seleccionaron las líneas analíticas en [Tabla 2](#) según lo siguiente:

Tabla 2. Longitudes de ondas ICP-OES.

| Elemento | Longitud de onda (nm) |
|----------|-----------------------|
| Ag | 328.068 |
| Al | 396.152 |
| Au | 242.795 |
| Be | 313.042 |
| Cu | 324.754 |
| Fe | 259.940 |
| Ni | 352.454 |
| Pb | 168.220 |
| Zn | 213.856 |

Se realizaron varias selecciones de muestras testigos con el objetivo de confeccionar las piezas de doré, las que se codificaron como **Muestra#**

Tabla 1. Preparación de las soluciones de calibración ICP-OES.

| Elemento | Contenidos (µg/ml) | | | | |
|--------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-----------------------------|
| | I | II | III | IV | V |
| Au, Cu | 40,00 | 30,00 | 20,00 | 10,00 | 0,40 |
| Ag, Pb, Zn | 20,00 | 15,00 | 10,00 | 5,00 | 0,20 |
| Al, Be, Ni | 5,00 | 3,75 | 2,50 | 1,25 | 0,05 |
| solución de partida (ml) | 10 | 7,5 | 5 | 2,5 | 0,1 o 1 mL de la solución I |

1, Muestra# 3, Muestra# 4, Muestra# 5, Muestra# 6, Muestra# 7 y Muestra# 8. En la [Tabla 3](#) se muestra la relación de las muestras seleccionadas.

Según el contenido en gramos de las muestras testigo y el % de Au, Ag, Cu, Pb y Zn, se calculó el contenido en gramo, el contenido ponderado y con las densidades Au 19.32 g/ cm³; Ag 10.50 g/ cm³; Cu 8.96 g/ cm³; Pb 11.35 g/ cm³; Zn 7.133

Tabla 3. Relación de muestras y pesos para la conformación de las piezas.

| Muestra# 1 | | Muestra# 3 | |
|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| Mtras Testigos | Peso muestra (g) | Mtras Testigos | Peso muestra (g) |
| MT-5 | 36 | MT-1 | 56 |
| MT-6 | 15 | MT-8 | 33 |
| MT-15 | 72 | MT-72 | 32 |
| MT-54 | 57 | MT-9 | 60 |
| MT-55 | 49 | MT-12 | 69 |
| MT-58 | 22 | ----- | ----- |
| MT-62 | 48 | ----- | ----- |
| PESO TOTAL | 300 | PESO TOTAL | 250 |
| Muestra# 4 | | Muestra# 5 | |
| Mtras Testigos | Peso muestra (g) | Mtras Testigos | Peso muestra (g) |
| MT-13 | 65 | MT-29 | 38 |
| MT-73a | 33 | MT-30 | 40 |
| MT-16 | 72 | MT-59 | 39 |
| MT-2 | 69 | MT-63 | 55 |
| MT-3 | 38 | MT-64 | 47 |
| ----- | ----- | MT-60 | 11 |
| ----- | ----- | MT-44 | 38 |
| PESO TOTAL | 278 | PESO TOTAL | 268 |
| Muestra# 6 | | Muestra# 7 | |
| Mtras Testigos | Peso muestra (g) | Mtras Testigos | Peso muestra (g) |
| MT-4 | 56 | MT-10 | 63 |
| MT-17 | 33 | MT- 28 | 52 |
| MT-18 | 40 | MT-50 | 64 |
| MT-23 | 50 | MT-73b | 41 |
| MT-24 | 39 | MT -31 | 35 |
| MT-11 | 92 | MT-57 | 52 |
| ----- | ----- | MT- 73c | 41 |
| PESO TOTAL | 310 | PESO TOTAL | 348 |
| Muestra # 8 | | | |
| Mtras Testigos | | Mtras Testigos | |
| MT-56 | | MT-56 | |
| MT-61 | | MT-61 | |
| MT-75 | | MT-75 | |
| MT-49 | | MT-49 | |
| MT - 32 | | MT - 32 | |
| MT-7 | | MT-7 | |
| ----- | | ----- | |
| PESO TOTAL | | PESO TOTAL | |

g/ cm³, se calculó los volúmenes de las mismas como se observan en la [Tabla 4](#).

Elaboración de las capsulas para la fundición

Una vez seleccionadas las muestras testigos así como realizado el trabajo de caracterización según peso y porcentajes de los elementos de la composición química se procedió a construir las capsulas de acero inoxidable. Para ello se pre

establecieron respectivos volúmenes estimados de 50 (mm³) y 35(mm³), y entonces determinar las dimensiones de capsulas, construir las plantillas y conformar los respectivos cuerpos.

Las capsulas se requerían de base rectangular y con determinada conicidad. Para conseguir estas capsulas se diseñaron las dos plantillas mediante el desarrollo de un prisma de base rectangular con dos extensiones en cada una de las caras laterales, todas las extensiones iguales, y de

Tabla 4. Contenido ponderado (pdo) y volumen las muestras.

| Muestra# 1 | | | | | | | Muestra# 3 | | |
|-----------------------------|-------------------|-----------------|----------------------------|--------------------|---------------|----------------------------|-------------------|--|--|
| Elementos | Contenido pdo (%) | Contenido (g) | Volumen (cm ³) | Contenido pdo (%) | Contenido (g) | Volumen (cm ³) | | | |
| Au | 18.7940 | 56.3832 | 2.9184 | 10,7308 | 26.8270 | 1.3886 | | | |
| Ag | 28.4227 | 85.268 | 8.1208 | 11,5823 | 28.9558 | 2.7577 | | | |
| Cu | 38.8972 | 116.6915 | 13.0236 | 45,1306 | 112.8266 | 12.5923 | | | |
| Pb | 13.3722 | 40.1165 | 3.5345 | 25,9755 | 64.9388 | 5.7215 | | | |
| Zn | 0,1959 | 0.58771 | 0.0824 | 0,8761 | 2.19024 | 0.3071 | | | |
| Volumen total de la muestra | | | 27.680 | Volumen de muestra | | 22.767 | | | |
| Muestra# 4 | | | | | | | Muestra# 5 | | |
| Elementos | Contenido pdo (%) | Contenido (g) | Volumen (cm ³) | Contenido pdo (%) | Contenido (g) | Volumen (cm ³) | | | |
| Au | 10,8989 | 30.19 | 1.5626 | 10,8080 | 28.9654 | 1.4992 | | | |
| Ag | 22,8090 | 63.181 | 6.0172 | 21,9669 | 58.8712 | 5.6068 | | | |
| Cu | 37,5797 | 104.0958 | 11.6178 | 47,7548 | 127.9828 | 14.2838 | | | |
| Pb | 29,1880 | 80.8508 | 7.1234 | 19,3565 | 51.8754 | 4.5705 | | | |
| Zn | 0,2411 | 0.66778 | 0.0936 | 0,3220 | 0.86304 | 0.1210 | | | |
| Volumen de muestra | | | 26,4147 | Volumen de muestra | | 26,081 | | | |
| Muestra# 6 | | | | | | | Muestra# 7 | | |
| Elementos | Contenido pdo (%) | Contenido (g) | Volumen (cm ³) | Contenido pdo (%) | Contenido (g) | Volumen (cm ³) | | | |
| Au | 10,6563 | 33.0346 | 1.7099 | 10,3190 | 36.5292 | 1.8907 | | | |
| Ag | 22,8625 | 70.8736 | 6.7499 | 22,3158 | 78.998 | 7.5236 | | | |
| Cu | 35,8619 | 111.1718 | 12.4076 | 45,7560 | 161.9762 | 18.0777 | | | |
| Pb | 25,8962 | 80.2781 | 7.0730 | 16,4688 | 58.2996 | 5.1365 | | | |
| Zn | 0,3611 | 1.1195 | 0.1569 | 0,2954 | 1.0458 | 0.1466 | | | |
| Volumen de muestra | | | 28,097 | Volumen de muestra | | 32,775 | | | |
| Muestra# 8 | | | | | | | | | |
| Elementos | Contenido pdo (%) | Contenido (g) | Volumen (cm ³) | | | Volumen (cm ³) | | | |
| Au | 9,9456 | 27.8478 | 1.4414 | | | 1.4414 | | | |
| Ag | 16,6202 | 46.5366 | 4.4321 | | | 4.4321 | | | |
| Cu | 51,4191 | 143.9736 | 6.0685 | | | 6.0685 | | | |
| Pb | 17,8587 | 50.0044 | 4.4057 | | | 4.4057 | | | |
| Zn | 0,6483 | 1.8151 | 0.2545 | | | 0.2545 | | | |
| Volumen de muestra | | | 26,602 | | | 26,602 | | | |

forma tal que el cálculo del volumen resultara ser una aproximación del pre establecido. El desarrollo geométrico del que resultó la plantilla y el cuerpo es el de la [figura 1](#):

Este cuerpo está formado por un prisma recto de base rectangular, 4 prismas rectos de base triangular que definen las respectivas inclinaciones de las caras y 4 pirámides oblicuas de bases cuadradas. Las vistas se muestran en las [figuras 3](#) son las siguientes:

El modelo físico - matemático desarrollado para el cálculo del volumen es el siguiente:

$$V = xyz + 2V_{\text{prisma1}} + 2V_{\text{prisma2}} + 4V_{\text{pir}}$$

X - altura del prisma

Y,Z - Dimensiones de la base del prisma sin las extensiones.

Δa - Longitud de la extensión de los lados de la base del prisma.

V_{prisma1} - Volumen de prisma de base rectangular que se forma en cada cara por la conicidad concebida.

V_{prisma2} - Volumen de prisma de base rectangular que se forma en cada cara por la conicidad concebida.

V_{pir} - Volumen de la pirámide de base cuadrada que se forma en cada una de las esquinas del prisma.

Se tomó:

$x=y$; $z=2x$; ángulo de inclinación α dado por $\text{Tan } \alpha = b/x$. Para $\alpha = 10^\circ$ se obtiene una extensión de longitud $b=0,45\text{cm}$.

Se muestran en la [figura 3](#) las capsulas de aceros inoxidables.

Todas las muestras testigos seleccionadas fueron homogenizadas y se vertieron en el crisol de chamota, sin adición de bórax, para después introducir las en el horno de copelación. Cada muestra se trabajó bajo las condiciones que se muestran en la [Tabla 5](#).

Una vez obtenidas las 4 primeras piezas, dos de ellas quedaron con dificultades, lo que llevó a la toma de 3 nuevos grupos a partir de las muestras testigos para conformar otras tres piezas entonces de ahí surgen las muestras #6, #7 y #8. Una vez obtenida las piezas después de fundidas, se dejaron enfriar para luego pesarlas, donde los pesos obtenidos son los que se muestran en la [Tabla 6](#).

Especificidades de las piezas obtenidas después de la fundición

- Una de las muestras obtenida se puede apreciar en la [figura 5](#), según los cálculos de los volúmenes de cada una de las muestras cómo fue supuesto.
- La Muestra #3 quedó con algunas deformaciones.

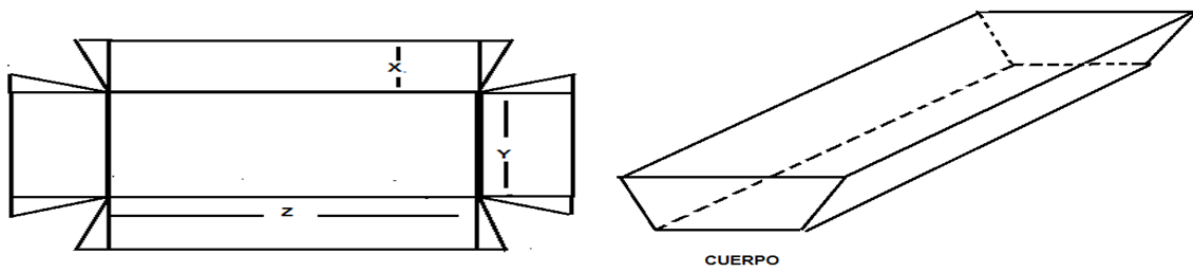
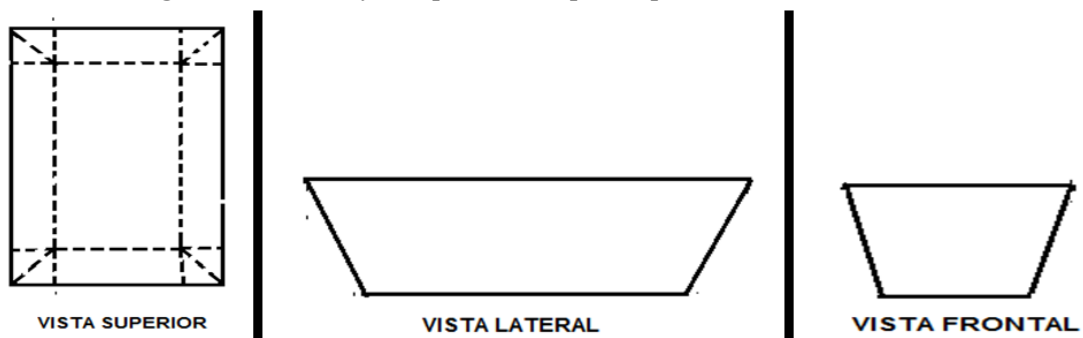


Figura 1. Plantilla y cuerpo de las capsulas para el vaciado del metal.



Figuras 2. Vista superior del cuerpo, vista lateral y vista frontal.



Figura 3. Las capsulas confeccionadas de aceros inoxidables.

Tabla 5. Condiciones en las que se fundieron las muestras.

| | Muestra #1 | Muestra #3 | Muestra #4 | Muestra #5 | Muestra #6 | Muestra #7 | Muestra #8 |
|-------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Crisol de chamota | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Temperatura de fundición | 1180 °C | 1170 °C | 1170 °C | 1170 °C | 1170 °C | 1170 °C | 1170 °C |
| Temperatura de muestra | 1170 °C | 1170 °C | 1170 °C | 1170 °C | 1170 °C | 1170 °C | 1170 °C |
| Temperatura bajo del horno | 1123 °C | 1113 °C | 1124 °C | 1124 °C | 1102 °C | 1102 °C | 1102 °C |
| Hora que llego la temperatura horno | 12:00 p.m. | 1:21 p.m. | 2:25 p.m. | 2:25 p.m. | 12:34 p.m. | 12:34 p.m. | 12:34 p.m. |
| Tiempo de permanencia | 30 min | 30 min | 30 min | 30 min | 30 min | 30 min | 30 min |
| Hora en que se sacó | 12:58 p.m. | 2:00 p.m. | 3:00 p.m. | 3:00 p.m. | 1:00pm | 1:00 p.m. | 1:00 p.m. |

Tabla 6. Pesos de las piezas obtenidas después de la fundición

| Muestras | Muestra #1 | Muestra #3 | Muestra #4 | Muestra #5 | Muestra #6 | Muestra #7 | Muestra #8 |
|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Pesos g | 264 | 197 | 205 | 228 | 230 | 293 | 218 |

- La Muestra #4 se obtuvo con imperfecciones considerables, presentando aglomeraciones aumentadas, lo cual llevó a la determinación de refundirla una vez más.
- El resto de las piezas obtenidas (muestra #1, #5, #6, #7, #8) quedaron sin problemas. Las piezas (muestra #1, #5, #6, #7, #8) se les siguió con todo el proceso de muestro y caracterización química y a las piezas (muestra

#3, #4) están guardadas en la caja fuerte del DCM.

Muestreo: El muestreo de los doré se realizó según NC-1071:2015, acápite 4.3.2 muestro por barrenado se puede mostrar en las figuras los puntos de muestros en los lingotes. Estas son las figuras 6 y 7 de las probetas obtenidas después de fundidas, pulidas y barrenadas.

Dadas las características de las piezas obtenidas después de la fundición se decidió

muestrear solamente las piezas (muestras #1, #5, #6, #7, #8). Después de barrenadas, las piezas quedaron con el peso final que se muestra en la [Tabla 7](#).

Los pesos de las muestras que se tomaron para el análisis químico a partir del barrenado se presentan en la [Tabla 8](#).

Las muestras fueron determinadas por Doré – determinación de oro y plata por copelación (ensayo al fuego). (NC 1069:2015) y la determinación de impurezas por Espectroscopia

de Emisión Atómica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-AES).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estos fueron los resultados obtenidos de los ensayos químicos que dieron según lo esperados en % Au, Ag, Cu, Pb, Zn se muestran en la [Tabla 9](#).

Además de los análisis de rutina que se le hace al doré se le realizó un barrido que se muestra en la [Tabla 10](#).



Figura 4. muestra #1 después de vaciada en la lingotera.



Figura 5. de la Muestra #1, Muestra #5 y Muestra #8. Figura 7 de la Muestra #6, Muestra #7 barrenado de las muestras.

Tabla 7. Peso final de las piezas después de muestreadas

| Muestras | Muestra #1 | Muestra #5 | Muestra #6 | Muestra #7 | Muestra #8 |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Pesos (g) | 252 | 211 | 217 | 282 | 203 |

Tabla 8. Peso de las muestras para el análisis químico.

| Muestras | Muestra #1 | Muestra #5 | Muestra #6 | Muestra #7 | Muestra #8 |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Pesos (g) | 9.8440 | 9.5340 | 9.3904 | 7.3195 | 10.6183 |

Tabla 9. Resultados obtenidos en %

| Código de las muestras | Contenidos en % | | | | | | | |
|------------------------|-----------------|-------|-------|------|-------|--------|----------|----------|
| | Au | Ag | Cu | Pb | Ni | Zn | Be | Al |
| Muestra #1 | 21.20 | 32.37 | 40.26 | 5.48 | 0.005 | ≤ 0.01 | ≤ 0.0025 | ≤ 0.0047 |
| Muestra #5 | 13.03 | 25.71 | 51.95 | 8.07 | 0.014 | ≤ 0.01 | ≤ 0.0025 | ≤ 0.0047 |
| Muestra #6 | 14.00 | 30.69 | 45.32 | 9.91 | 0.020 | ≤ 0.01 | ≤ 0.0025 | ≤ 0.0047 |
| Muestra #7 | 12.15 | 27.18 | 53.36 | 7.07 | 0.011 | ≤ 0.01 | ≤ 0.0025 | ≤ 0.0047 |
| Muestra #8 | 11.88 | 19.88 | 58.94 | 8.88 | 0.013 | ≤ 0.01 | ≤ 0.0025 | ≤ 0.0047 |

Tabla 10. Resultados del Barrido en %

| Código de muestras | Contenidos en % | | | | | | |
|--------------------|-----------------|---------|-------|---------|---------|---------|---------|
| | Mg | Si | P | Ca | Ti | V | Cr |
| Muestra #1 | <0,0005 | 0,0024 | 0,049 | 0,036 | <0,0005 | <0,0005 | <0,0005 |
| Muestra #5 | <0,0005 | 0,0072 | 0,054 | <0,0012 | 0,0006 | 0,0014 | 0,0021 |
| Muestra #6 | <0,0005 | 0,0072 | 0,054 | <0,0012 | 0,0006 | 0,0014 | 0,0021 |
| Muestra #7 | <0,0005 | <0,0005 | 0,050 | <0,0012 | <0,0005 | <0,0005 | <0,0005 |
| Muestra #8 | <0,0005 | 0,0069 | 0,048 | <0,0012 | <0,0005 | <0,0005 | <0,0005 |

| Código de muestras | Contenidos en % | | | | | |
|--------------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | Fe | Co | As | Cd | Sn | Mn |
| Muestra #1 | <0,0012 | <0,0005 | <0,0012 | <0,0005 | <0,0012 | <0,0005 |
| Muestra #5 | 0,0099 | <0,0005 | 0,3096 | <0,0005 | 0,0021 | <0,0005 |
| Muestra #6 | 0,0269 | <0,0005 | 0,0560 | <0,0005 | 0,0017 | <0,0005 |
| Muestra #7 | 0,0129 | <0,0005 | 0,1350 | <0,0005 | 0,0012 | <0,0005 |
| Muestra #8 | 0,0091 | <0,0005 | 0,2566 | <0,0005 | 0,0016 | <0,0005 |

CONCLUSIONES

1. Las muestras testigos que fueron seleccionadas bajo el criterio de sus respectivos contenidos específicos en Au, Ag, Cu, Pb, Zn, fueron calculados los volúmenes respectivos a obtener en cada una de las probetas.
2. Fueron confeccionadas las cápsulas de aceros inoxidable AISI 310, según las plantillas que fueron calculadas a partir de los volúmenes respectivos diseñados previamente según las probetas.
3. Las muestras testigos fueron fundidas y se obtuvieron las probetas en correspondencia a la especificación de la solicitud de la planta.
4. A las probetas se le realizaron los ensayos analíticos Doré- Au y Ag por copelación ensayo al fuego y Doré- Impurezas por Espectroscopia de Emisión Atómica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-AES), lo que permitió obtener los rangos solicitados por la planta

BIBLIOGRAFÍA

- Agua para uso en análisis de laboratorio. Especificación y Métodos de ensayo. NC-ISO 3696:2004.
- Álvarez, A. Miranda, S. Rodríguez, J.E. 2002. Certificación química del producto final de las plantas de oro (doré). Memorias Simposio de

- Metrología 2002, Querétaro, México, 364-368p.
- Determination of gold in gold jewellery alloys. Cupellation method (fire assay). ISO 11426: 1997
- General Guideline for Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometry, ISO/CD 12235 1& 2, December 1996
- La Adecuación al Uso de los Métodos Analíticos. Una Guía de Laboratorio para la Validación de métodos y Temas Relacionados. Eurachem. Segunda Edición Inglesa y primera edición Española. ISBN 978-91-87461-59-0. <http://www.eurachem.org>.
- Lenaham, W.C.; Murray-Smith, R.L. 2001. Assay and Analytical Practice in the South African Mining Industry Johannesburg.
- Lenaham, W.C.; Murray-Smith, R. de L.1986. Assay and Analytical Practice in the South Africa Mining Industry, Monograph Series M6, The Chamber of Mines of South Africa, Cap.6, Johannesburg, 217p.
- Standard Test Methods for Determination of Gold in Bullion by Cupellation. ASTM E 1335-1 2008.
- Harmonised Guidelines for the In-House Validation Methods, IUPAC-ISO-AOAC, Analytical Chemistry Division, 1999.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)