

Artículo Original

Evaluación de contaminantes de polvo de perforación en frente minero de la mina Castrovirreyna Compañía S.A. unidad San Genaro- Perú mediante el espectrofotómetro de absorción atómica

EVALUATION OF DRILLING DUST CONTAMINANTS IN THE MINING FRONT OF THE CASTROVIRREYNA MINE S.A. SAN GENARO-PERU UNIT USING THE ATOMIC ABSORPTION SPECTROPHOTOMETER

LUZ MARINA ACHARTE LUME§*, AMADEO ENRIQUEZ DONAIRES§, LUIS QUISPEALAYA ARMAS§, DANIEL LOVERA£*

Recibido: 15 septiembre de 2018 / Aceptado: 07 noviembre de 2018

§*Universidad Nacional de Huancavelica*
£*Universidad Nacional Mayor de San Marcos*

Resumen

En todo proceso de extracción minera, una de las actividades unitarias es la perforación, con el uso de equipos, como se apertura agujeros o taladros en los frentes de avance y tajeos de explotación, estas actividades generan polvos respirables que pueden dañar a los trabajadores mineros, el objetivo del presente estudio es investigar la presencia de los metales en el polvo respirable y evaluar los niveles de contaminación de los polvos de perforación de la mina Castrovirreyna Compañía S.A. unidad San Genaro-Perú. La metodología para determinar las concentraciones de los metales fue con el uso del espectrofotómetro de Absorción Atómica de flama para 10 muestras recolectadas en frentes de perforación. El promedio de concentración de los metales medidas en mg/l fueron, Silicio (Si) con 0.0137 mg/m³, cobre (Cu) con 0.002 mg/m³, manganeso (Mn) con 0.00247 mg/m³, plomo (Pb) con 0.00243 mg/m³, selenio (Se) con 0.001 mg/m³ y antimonio (Sb) con 0.001mg/m³ y metaloide arsénico (As) con 0.001 mg/m³, cuyas concentraciones se encuentran debajo de los límites máximos permisibles de acuerdo con la D.S. 024-2017-EM, concluyendo no son causantes de enfermedades ocupacionales.

Palabras clave: Espectrofotometría, digestión, estándar, curva de calibración, análisis de muestras

Abstract

In any mining extraction process, one of the unit activities is drilling, with the use of equipment, such as opening holes or drills in the fronts of advancement and logging operations, these activities generate respirable dust that can harm mining workers, the objective of the present study is to investigate the presence of metals in the respirable dust and to evaluate the levels of contamination of the drilling powders of the Castrovirreyna Compañía SA mine. San Genaro-Peru unit. The methodology to determine the concentrations of the metals was with the use of the Atomic Absorption Flame spectrophotometer for 10 samples collected in drilling fronts. The average concentration of metals measured in mg / l were, Silicon (Si) with 0.0137 mg / m³, copper (Cu) with 0.002 mg / m³, manganese (Mn) with 0.00247 mg / m³, lead (Pb) with 0.00243 mg / m³, selenium (Se) with 0.001 mg / m³ and antimony (Sb) with 0.001mg / m³ and metalloide arsenic (As) with 0.001 mg / m³, whose concentrations are below the maximum permissible limits according to the DS 024-2017-EM, concluding they are not causing occupational diseases.

Key words: Spectrophotometry, digestion, standard, calibration curve, sample analysis

*Correspondencia de autor: luzacharte@yahoo.com; dloverad@unmsm.edu.pe

INTRODUCCIÓN

Uno de los agentes ambientales de gran importancia en un ambiente laboral de perforación minera subterránea, es el contaminante polvo y se transforma en un agente irritante del sistema respiratorio que causan enfermedades ocupacionales serias, como es la silicosis, que dependen de la composición química, tamaño de las partículas respirables, la cantidad de polvo que se esté respirando y tiempo de exposición. (Blanco, 2012), (Martínez *et al.*, 2001)

Terradellas *et al.* (2012) señalan que el polvo mineral atmosférico desempeña un papel muy importante en la atmósfera por su interacción con el balance radiactivo y con la microfísica de nubes. África Septentrional es la mayor fuente de polvo mineral en el mundo. Sin embargo, carece de sistemas de observación desde tierra adecuados y la información desde satélite es muy limitada debido a la alta reflectividad del suelo.

Torres (2015) menciona que el polvo que ocurre en las minas es un material sólido finamente dividido, el cual, dependiendo del tamaño de sus partículas, de su concentración y su composición, puede constituir un peligro tanto para la salud del personal como para la seguridad de la operación en lo que se refiere a visibilidad, en aquellas operaciones en las que inevitablemente se produce polvo, deberá hacerse todo lo posible por mantener la concentración de este en el aire lo más baja posible, procurando evitar que entre en suspensión; cuando esto último no sea posible, deberá impedirse que el polvo en suspensión sea inhalado por el personal o por lo menos, reducir el mínimo tiempo de exposición del trabajador al aire contaminado.

Escobar (2017) menciona que los polvos generados en los procesos mineros vulneran la salud de los trabajadores.

Mediante la presente se pretende orientar en la toma de decisiones sobre las medidas preventivas para no afectar la salud de los trabajadores, así mismo identificar los procesos donde se encuentran con mayor nivel de concentración de los polvos respirables.

El equipo de espectrofotometría de Absorción Atómica recientemente adquirido para la Facultad de Ingeniería de Minas-Civil-Ambiental de la Universidad Nacional de Huancavelica, fue utilizado por los investigadores para evaluar los contaminantes metales (Cu, Si, Mn, Pb, Sb, Se y As), que se encuentran en el polvo de perforación minera de la Mina Castrovirreyna Compañía S.A.- Unidad de San Genaro.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el análisis respectivo con el equipo de Absorción Atómica fue necesario la preparación de soluciones estándar de los metales y metaloides entre ellos cobre (Cu), Silicio (Si), Manganeso (Mn), plomo (Pb), antimonio (Sb), selenio (Se) y arsénico (As), a fin de realizar la curva de calibración y garantizar la correcta lectura de las muestras de polvo de perforación y la identificación acertada de concentraciones de los elementos químicos.

MODELO INTEGRAL DE EVALUACIÓN DE POLVOS DE PERFORACIÓN MINERA

Existen modelos de evaluación estándares para la calidad del aire en distintos escenarios industriales, aquí hacemos una propuesta de un Modelo basado en el análisis de todas las variables involucradas en la calidad del aire en la perforación minera, las cuales están agrupadas en los factores externos a la mina, el impacto a los trabajadores perforistas, los contaminantes en los polvos y el procesamiento de datos monitoreados (Acharte *et al.*, 2018), Ver Tabla 1.

En el presente artículo mostramos los pasos dados para encontrar el análisis químico de los polvos de perforación recolectados con los equipos muestreadores que llevan los perforistas mineros durante su actividad laboral.

Tabla 1: Modelo Integral de Evaluación de polvos de Perforación Minera (Fuente propia)

I Factores Externos	II Impacto a los trabajadores Perforistas	III Contaminantes en los polvos	IV Procesamiento de datos Monitoreados
1. Geología regional y local	5. Proceso de perforación	9. Análisis mineralógico	13. Análisis de resultados
2. Yacimiento minero	6. Proceso de ventilación	10. Análisis químico	14. Nivel de exposición de polvos
3. Extracción minera	7. Proceso de seguridad	11. Análisis de rayos x	15. Estadísticas de resultados
4. Producción minera	8. Monitoreo de la contaminación ambiental	12. Análisis con microscopía electrónica	16. Resultados comparados con límites permisibles

Análisis por Espectroscopia de Absorción Atómica

Toma de muestra del frente de Perforación: se procede a desarrollar los protocolos que disponen el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) con la finalidad de contribuir al desarrollo efectivo de las acciones de fiscalización ambiental, en sentido amplio, orientadas a verificar el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), aplicables a los componentes ambientales como aire, agua y suelo. Para ello, es necesario conocer el equipamiento técnico y las normas básicas que permiten llevar a cabo la fiscalización ambiental, de conformidad con lo dispuesto por el Régimen Común de la Fiscalización Ambiental, aprobado por Resolución Ministerial N° 247-2013-MINAM, el cual busca garantizar que toda Entidad de Fiscalización Ambiental (EFA) cumpla con el ejercicio de sus funciones de manera homogénea, integrada y armónica (OEFA, 2015)

Se garantizó las condiciones ambientales de temperatura que fue de $14^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y humedad controlada 75% con variación de $\pm 5\%$ durante el periodo de equilibrio, del área de pesaje, (Acharte *et al.*, 2018), luego se verificó la balanza marca según IT-01 Instructivo de balanza analítica marca: AND modelo: GH-202, que debe estar en 0.0000 g antes de pesar.

Con la ayuda de una pinza de acero inoxidable se transportó el filtro a la balanza, colocando el filtro dentro de la balanza, y esperando que estabilice para su respectivo pesado y se registró en un cuaderno de apuntes, luego dejando se equilibre durante una hora.

Se observaron que las diferencias entre los pesos fueron iguales a 0.0005 g, resultados que son aceptables.

Luego procedió a proteger el filtro con sus respectivas tapas previamente codificadas, el cual este último es identificado con el código de filtro, fecha de pesado, para su respectivo muestreo (Figura 1).

Se calculó la diferencia másica de material particulado PM10 con la siguiente formula:

$$\Delta MP = (W_f - W_i) \times 10^6$$

Donde:

ΔMP = Diferencia másica de material articulado.

W_f = Peso final promedio del filtro expuesto en g.

W_i = Peso inicial promedio del filtro limpio en g.

10^6 = conversión de g a μg .

Remplazando datos en la ecuación se tiene

$$\Delta MP = (W_f - W_i) = 15,8723 - 15,8718 = 0.0005 \text{ g}$$

En los casetes de poliestireno de 2 cuerpos de 37 mm de diámetro se colocó el filtro sobre el soporte de celulosa, luego se coloca en el ciclón de nylon de 10 mm.

El polvo total fue captado con las bombas GILIAN PLUS calibrado a 2.000 cc/min durante una hora en cada muestreo, colocados convenientemente a los trabajadores mineros (Figura 1).



Figura 1. Área de pesaje donde se encuentra la balanza (izquierda), colocación del equipo muestreador de polvo en los trabajadores mineros (derecha)

PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA EL PROCESO DE DIGESTIÓN

Las muestras recolectadas en los frentes de perforación de la mina Castrovirreyna Compañía Minera S.A. Unidad San Genaro, fueron en filtros expuestos a muestreo, los cuales regresan al laboratorio de química de la Facultad de Ingeniería de Minas –Civil – Ambiental de la Universidad Nacional de Huancavelica, con la orden de trabajo y con sus respectivos códigos internos de laboratorio y fue almacenado en una cabina donde la temperatura y la humedad relativa están en promedio de 14°C y 75% tal como se observa en la Figura 2.

Se retiró los filtros de celulosa Zefon Internacional de 37 mm de diámetro, 5.0 de μm de porosidad, de los casetes que contienen las muestras para realizar el proceso de digestión, colocándolo en tubos digestores de una capacidad de 50 ml de material polietileno (Figuras 3).



Figura 2. Casetes portadores de muestras (izquierda), casetes que contienen los filtros con muestras (centro) y filtros dentro de los casetes (derecha)



Figura 3. Retiro del filtro que contiene la muestra de polvo del casete (izquierda) y Ubicación del filtro dentro del tubo digestor (derecha)

PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN ESTÁNDAR

Para los análisis se prepararon las soluciones estándar como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Concentraciones y volúmenes para solución estándar

Elemento	Concentración (ppm)	Volumen (ml)
Cobre		
Estándar 1	0.05	0.025
Estándar 2	0.2	0.1
Estándar 3	0.5	0.25
Estándar 4	1	0.5
Estándar 5	1.5	0.75
Arsenico		
Estándar 1	5	0.25
Estándar 2	1	0.5
Estándar 3	1.5	0.75
Estándar 4	2	1
Estándar 5	2.5	1.25
Silicio		
Estándar 1	2.5	1.25
Estándar 2	5	2.5
Estándar 3	10	5
Estándar 4	20	10
Estándar 5	40	20
Manganeso		
Estándar 1	0.04	0.02
Estándar 2	0.1	0.05
Estándar 3	0.2	0.1
Estándar 4	0.5	0.25
Estándar 5	1	0.5
Plomo		
Estándar 1	0.1	0.05
Estándar 2	0.2	0.1
Estándar 3	0.5	0.25
Estándar 4	1	0.5
Estándar 5	2	1
Antimonio		
Estándar 1	0.5	0.25
Estándar 2	1	0.5
Estándar 3	2	1
Estándar 4	4	2
Estándar 5	10	5
Selenio		
Estándar 1	0.5	0.25
Estándar 2	1	0.5
Estándar 3	2	1
Estándar 4	4	2
Estándar 5	10	5

ANÁLISIS DE LA MUESTRA POLVO DIGESTADA CON EL EQUIPO DE ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Condiciones instrumentales de operación

- Flujo de gas:	
- Acetileno	: 0.9 – 1.2 l/min.
- Quemador	: 5 cm
- Slit	: 0.5 nm
- Concentración característica	: 0.033 mg/l
- Medida de señal	: absorbancia
- Señal de ruido	: 1.0
- Chequeo de la Sensibilidad	: 5 mg/l
- Absorbancia del estándar de 5 mg/l	: ≥ 0.800
- Punto menor de la curva patrón	: 0.05 mg/l
- Punto mayor de la curva patrón	: 1.5 mg/l
- Lineal hacia (recomendado)	: 5 mg/l
- Tipo de lámpara	: lámpara de cátodo hueco
- Corriente de operación de la lámpara	: 4 mA
- Tipo de nebulizador	: bastón de vidrio

Análisis de muestras

- Tomar 1 filtro de muestra en un tubo de 50 ml.
- Adicionar 15 ml de solución (1.3). Homogenizar.
- Digestar en el Hotblock hasta reducir volumen aproximado de 5 ml.
- Dejar enfriar, luego transvasar la solución a una fiola de 25 ml enjuagando las paredes del tubo con (AU).
- Homogenizar la solución y enrasar con (AU).
- Realizar la lectura de las muestras en el equipo de absorción atómica haciendo uso de los estándares de calibración preparados en Tabla 3.

Proceso de Digestión

El proceso de digestión se realizó con el equipo Digestor de bloques de marca DIGIPREP MS, una vez colocados los filtros de celulosa, en los tubos digestores, se adiciona 25 ml de solución extracción (HNO_3 5.55% v/v y HCl 16.75% v/v), seguidamente se llevó las muestras en una gradilla al equipo digestor de bloques, que debe estar dentro de una campana extractora, durante 3 horas a una temperatura de 85°C , al término de este tiempo, se dejó enfriar hasta temperatura ambiente, para luego retirar el filtro y aforar a un volumen de 25 ml con agua ultra pura, agitar y tener listo para el análisis en el equipo Espectroscopia de Absorción Atómica (Figura 4).



Figura 4. Vertimiento de la solución de extracción (HNO_3 y HCl) al tubo digestor que contiene el filtro con la muestra (izquierda) y muestras digestadas (derecha).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis químico fue realizado en el Laboratorio de Química de la Facultad de Ingeniería de Minas-Civil-Ambiental de la Universidad Nacional de Huancavelica, con el equipo de espectroscopia de Absorción Atómica Marca Thermocientific.

Las muestras para el análisis fueron obtenidas en filtros de celulosa de 37 mm de diámetro, de porosidad 5 μm , con la ayuda bomba GILIAN PLUS, graduado a un caudal de 2000 cc/ min, durante una hora.

Curva de calibración con los estándares de cada elemento químico

La curva de calibración se realizó para estandarizar el equipo de espectroscopia de Absorción Atómica y determinar la concentración de los elementos objeto de estudio, haciendo que la variabilidad sea mínima y el intervalo lineal suficiente, como se observa en la Anexos las Figuras A, B, C, D, E, F y G.

Análisis Químico

Los resultados obtenidos del análisis por espectrofotometría de Absorción Atómica de los elementos fueron Arsénico (As), Silicio (Si), cobre (Cu), manganeso (Mn), plomo (Pb), selenio (Se) y antimonio (Sb) que están dentro de los límites permisibles de acuerdo al decreto supremo N° 024-2016-EM, de acuerdo a la Tabla 3 y Figura 5.

Tabla 3. Resultados de análisis por espectrofotometría de Absorción Atómica

Código muestras	As (mg/m ³) Λ=193.7 nm	Si (mg/m ³) Λ=251.6 nm	Cu (mg/m ³) Λ=324.7 nm	Mn (mg/m ³) Λ=279.5 nm	Pb (mg/m ³) Λ=217.0 nm	Sb (mg/m ³) Λ=217.6 nm	Se (mg/m ³) Λ=196.0 nm
BK	<0.001	<0.001	0.002	0.0004	0.0005	<0.001	<0.001
M1	0.001	0.010	0.001	0.001	0.002	<0.001	<0.001
M2	<0.001	0.011	0.003	0.002	0.004	<0.001	<0.001
M3	<0.001	<0.001	0.002	0.002	0.001	<0.001	<0.001
M4	<0.001	0.007	0.003	0.002	0.002	<0.001	<0.001
M5	0.001	0.044	0.001	0.001	0.001	<0.001	<0.001
M6	<0.001	<0.001	0.001	0.002	0.003	0.001	<0.001
M7	0.001	0.034	0.004	0.012	0.006	<0.001	<0.001
M8	0.001	<0.001	0.002	0.002	0.002	<0.001	<0.001
M9	<0.001	0.027	0.001	0.0003	<0.0003	<0.001	<0.001
M10	0.001	<0.001	0.002	0.0004	0.003	<0.001	<0.001

LMP (mg/m ³)	0.010	0.10	1.0	0.20	0.050	0.50	0.20
-----------------------------	-------	------	-----	------	-------	------	------



Figura 5. Análisis de las muestras en el equipo de Absorción Atómica.

CONCLUSIONES

El resultado de los análisis de polvo de los frentes de perforación de la mina Castrovirreyna Compañía S.A. unidad san Genaro-Perú, son metales como: Silicio, (Si), Cobre (Cu), Manganeseo (Mn), Plomo (Pb), Selenio (Se) y Antimonio (Sb) y metaloide arsénico (As) cuyas concentraciones se encuentran debajo de los límites máximos permisibles de acuerdo con la D.S. N° 024-2017-EM, por lo que no afecta a los trabajadores mineros.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Huancavelica, a la Escuela de Minas. Al Fondo del Canon Minero y a los Ingenieros, Docentes y Alumnos que apoyaron al presente proyecto.

Referencias

- Acharte *et al.* (2018). Modelo Integral de Evaluación de Polvos en Perforación Minera. Universidad Nacional de Huancavelica.
- Acharte, L. y col. (2018) Environmental and Health effects of particulate material by perforation in mina CastrovirreynaCompañía S.A. – Unidad San Genaro Perú. IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT) 12.9 (2018): 28-33.
- Blanco Pérez, J. J., Ruíz Rincón, C. y Cerdeira Rodríguez, L. (2012) Inhalación de Sílice y sus efectos en la salud. Revista de la Sociedade Galega de Patoloxía Respiratoria, Pneumoloxía e Cirurxía Torácica. Pneuma 2012, pp. 16-23, Vigo. España.
- Cuadra, I. L. (1974) Curso de Laboreo de minas. Universidad Politécnica de Madrid. ISBN 8460062546. Madrid, España.
- Díaz, M. y Tesoro, A. (2009) Salud y seguridad de trabajos de minería. Editora: Aulas y Andamios, Buenos Aires. Argentina.
- Escobar M. E. (2017), Nivel de concentración de polvos respirables y su relación con la salud ocupacional de los trabajadores de la Compañía Minera Taylor's Sierra Central en las cuencas del Río Huari y Río Mantaro – Yauli 2017, Repositorio Institucional Continental, Universidad Continental.
- Martínez, C., Quero, A., Isidro, I. y Rego G. (2001) Enfermedades pulmonares profesionales por inhalación de polvos inorgánicos. Revista La Medicina Hoy, Servicio de Neumología Ocupacional. Instituto Nacional de Silicosis. Hospital Central de Asturias, Oviedo. España.
- OEFA, (2015). Instrumentos básicos para la Fiscalización Ambiental. Lima – Perú. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=13978
- Piérola O. (2015). Evaluación integral del sistema de ventilación, modelamiento y diseño mediante el uso del software ventsim visual avanzado en la U. M. Animon CÍA. Minera chungar., Arequipa –Perú
- Rosa, J. (2008) Contaminación atmosférica de Material Particulado Provocada por la Extracción Minera. Revista de la sociedad española de mineralogía. Macla. N° 10, noviembre del 2008, p. 85-88. Huelva. España.
- Terradellas, E., Camino, C., Alonso-Pérez, S. Basart, S., Baldasano, J. M. y Cuevas Agulló (2012). Distribución espacial y temporal de polvo mineral atmosférico en el norte de África y Oriente Medio estimada a partir de la visibilidad horizontal. Repositorio AEMET, Barcelona. España.

ANEXOS

Curvas de calibración de los elementos analizados

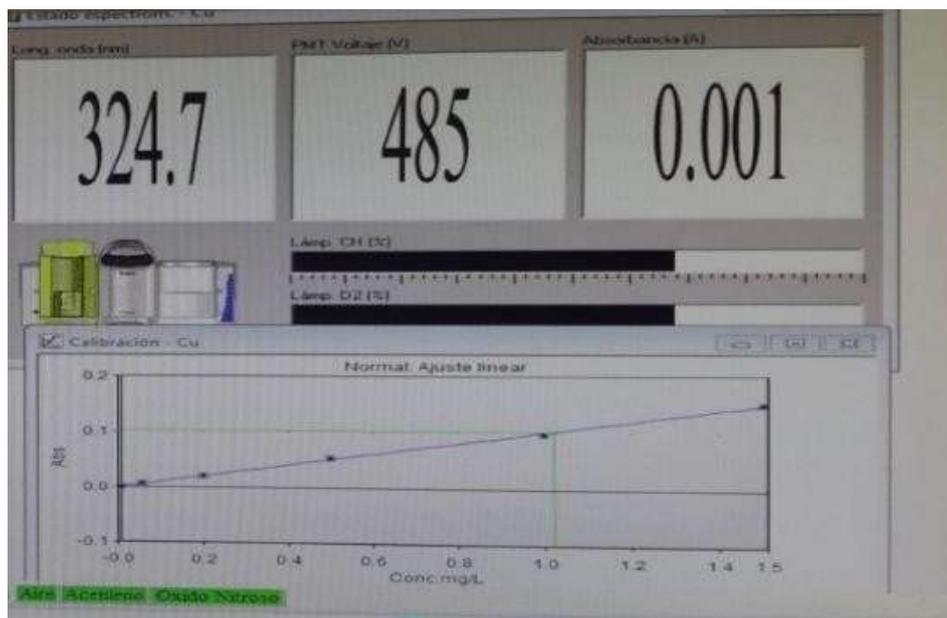


Figura A. Normal ajuste lineal para el elemento cobre (Cu)



Figura B. Normal ajuste lineal para el elemento arsénico (As)



Figura C. Normal ajuste lineal para el elemento silicio (Si)



Figura D. Normal ajuste lineal para el elemento manganeso (Mn)

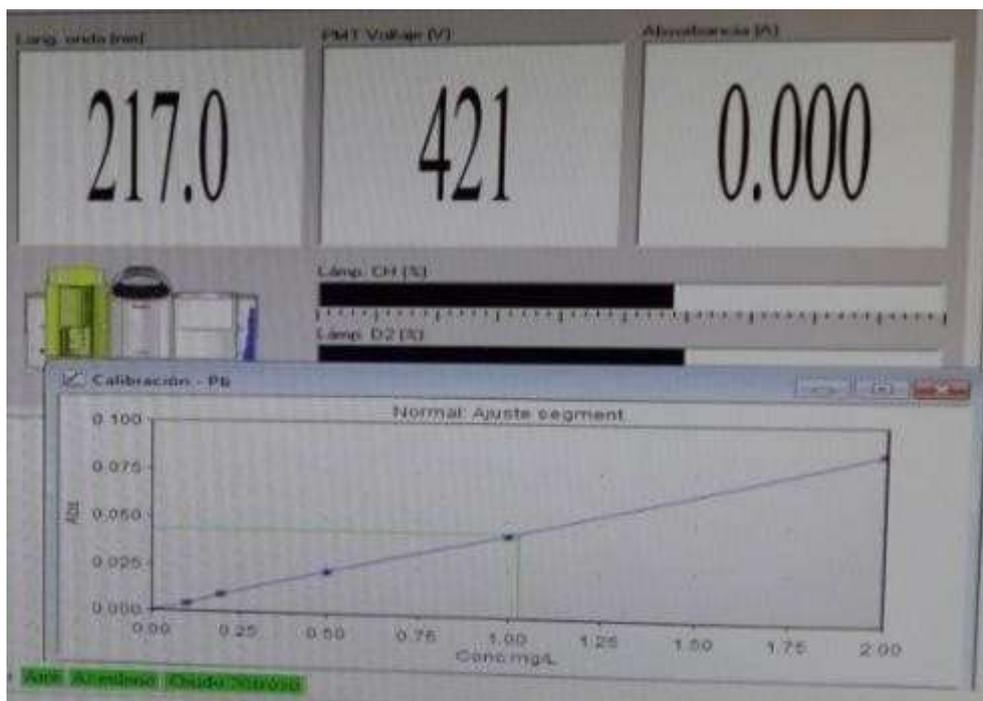


Figura E. Normal ajuste lineal para el elemento plomo (Pb)



Figura F. Normal ajuste lineal para el elemento antimonio (Sb)

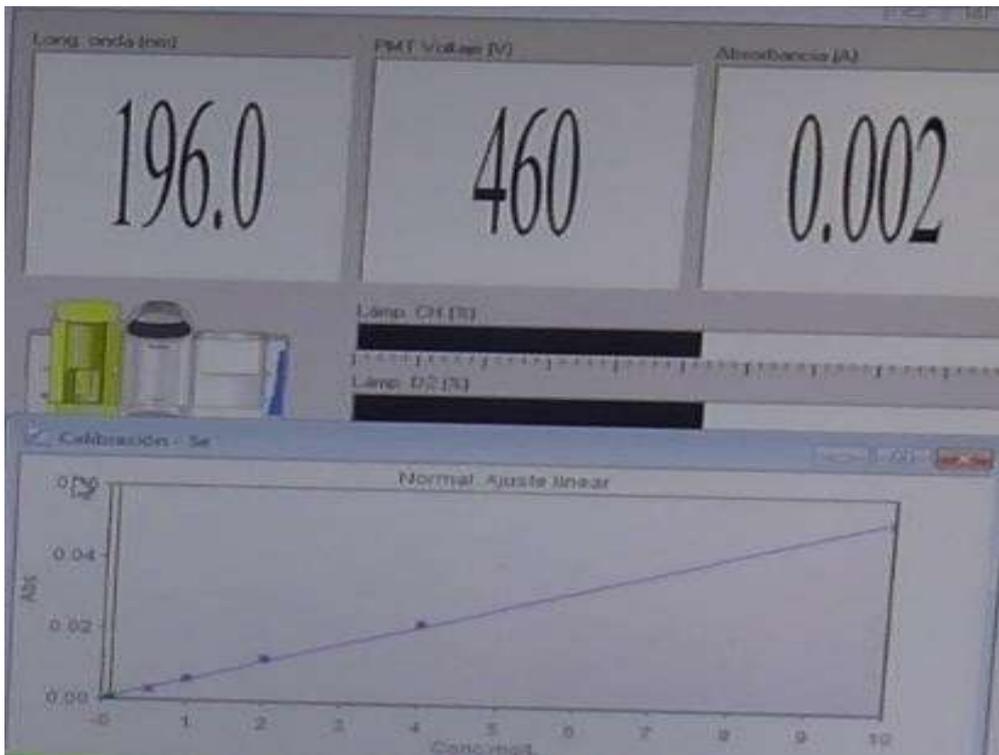


Figura G. Normal ajuste lineal para el elemento selenio (Se)