



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**ESTUDIO SOBRE LA VERIFICACIÓN DE CONDICIONES AMBIENTALES SEGURAS EN EL
MANEJO DE CONCENTRACIONES ALTAS DE PLOMO EN LA PRUEBA DE ENSAYO AL
FUEGO PARA LA DETERMINACIÓN DE ORO Y PLATA**

Hugo Eligio Argueta Juárez

Asesorado por el Ing. Byron Obed Rosales Salguero

Guatemala, mayo de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO SOBRE LA VERIFICACIÓN DE CONDICIONES AMBIENTALES SEGURAS EN EL
MANEJO DE CONCENTRACIONES ALTAS DE PLOMO EN LA PRUEBA DE ENSAYO AL
FUEGO PARA LA DETERMINACIÓN DE ORO Y PLATA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

HUGO ELIGIO ARGUETA JUÁREZ

ASESORADO POR EL ING. BYRON OBED ROSALES SALGUERO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, MAYO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADORA	Inga. Rosa María Girón Ruíz
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
EXAMINADOR	Ing. Federico Guillermo Salazar Rodríguez
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ESTUDIO SOBRE LA VERIFICACIÓN DE CONDICIONES AMBIENTALES SEGURAS
EN EL MANEJO DE CONCENTRACIONES ALTAS DE PLOMO EN LA PRUEBA DE
ENSAYO AL FUEGO PARA LA DETERMINACIÓN DE ORO Y PLATA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha noviembre de 2013.


Hugo Eligio Argueta Juárez

Guatemala, 18 de Marzo 2014

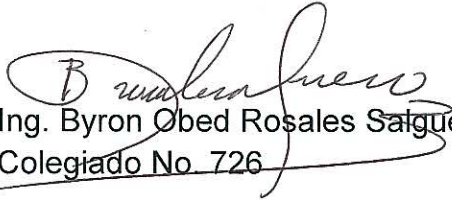
Ingeniero Químico
Víctor Manuel Monzón Valdés
Director de la Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
USAC

Ingeniero Monzón:

Por medio de la presente se le informa que estoy asesorando el trabajo de graduación del estudiante **Hugo Eligio Argueta Juárez**, carné número 93-13038, titulado **“ESTUDIO SOBRE LA VERIFICACIÓN DE CONDICIONES AMBIENTALES SEGURAS EN EL MANEJO DE CONCENTRACIONES ALTAS DE PLOMO EN LA PRUEBA DE ENSAYO AL FUEGO PARA LA DETERMINACIÓN DE ORO Y PLATA”**, quien desea presentarlo en este semestre. Hago constar que el estudiante estuvo trabajando conjuntamente conmigo y por lo tanto apruebo el Informe final de su trabajo de graduación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades,

Atentamente


Ing. Byron Obed Rosales Salguero
Colegiado No. 726

BYRON O. ROSALES SALGUERO
INGENIERO QUIMICO
COLEGIADO No. 726



Guatemala, 27 de noviembre de 2013
Ref. EI.Q.TG-DI.129.2013

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-180-2013-DI le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Hugo Eligio Argueta Juárez**.

Identificado con número de carné: **1993-13038**.

Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

ESTUDIO SOBRE LA VERIFICACIÓN DE CONDICIONES AMBIENTALES SEGURAS EN EL MANEJO DE CONCENTRACIONES ALTAS DE PLOMO EN LA PRUEBA DE ENSAYO AL FUEGO PARA LA DETERMINACIÓN DE ORO Y PLATA

El Trabajo de Graduación es asesorado por el Ingeniero Químico: **Byron Obed Rosales Salguero**.

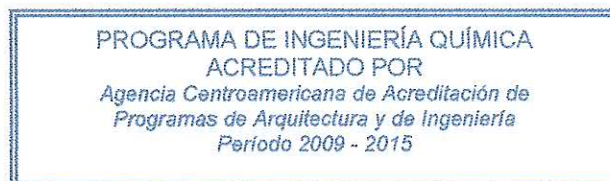
Se autoriza al estudiante, proceder con la fase de ejecución del proyecto de investigación, del trabajo de graduación de acuerdo al cronograma aprobado.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

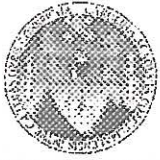


C.c.: archivo



ACAAI

Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería



Ref.EIQ.TG.067.2014

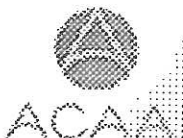
El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **HUGO ELIGIO ARGUETA JUÁREZ** titulado: "ESTUDIO SOBRE LA VERIFICACIÓN DE CONDICIONES AMBIENTALES SEGURAS EN EL MANEJO DE CONCENTRACIONES ALTAS DE PLOMO EN LA PRUEBA DE ENSAYO AL FUEGO PARA LA DETERMINACIÓN DE ORO Y PLATA". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, mayo 2014

Cc: Archivo
VMMV/ale





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO SOBRE LA VERIFICACIÓN DE CONDICIONES AMBIENTALES SEGURAS EN EL MANEJO DE CONCENTRACIONES ALTAS DE PLOMO EN LA PRUEBA DE ENSAYO AL FUEGO PARA LA DETERMINACIÓN DE ORO Y PLATA**, presentado por el estudiante universitario **Hugo Eligio Argueta Juárez** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, mayo de 2014



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por estar siempre conmigo y permitirme alcanzar esta meta.
- Mis padres** Hugo Ezequiel Argueta y Vidalia Juárez de Argueta, por apoyarme siempre a pesar de circunstancias adversas.
- Mi esposa** Gillian Eunice Paz de Argueta, por su amor y abnegación brindados.
- Mis hijos** Ligia, Eduardo y Esteban, por ser la fuente de inspiración para seguir adelante.
- Mis abuelos** Tránsito López Afre (q.e.p.d.), Rodolfo Argueta (q.e.p.d.) y Ana Natareno, por guardar de ellos recuerdos inolvidables en mi vida.
- Mis hermanos** Ana Elisa, Heber y David Argueta Juárez, por su apoyo brindado.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por guiarme cada día a conducirme por el buen camino.
Ing. Byron Rosales	Por la asesoría brindada, enseñanzas, consejos y por su apoyo incondicional para realizar este estudio.
Compañeros del Ministerio de Energía y Minas	Por su apoyo incondicional para la realización de este proyecto.
Ministerio de Energía y Minas	Por su apoyo y ayuda en la realización de este proyecto.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por prepararme como profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
Hipótesis	XVI
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 Plomo	3
2.1.1. Propiedades químicas y físicas	3
2.1.2. Límites de exposición	4
2.1.3. Plomo en el medio ambiente	6
2.1.4. Toxicología	7
2.1.5. Síntomas clínicos.....	8
2.1.6. Plomo en la sangre.....	9
2.1.7. Tratamiento.....	9
2.1.8. Efectos sobre la salud	11
2.2. Método de ensayo al fuego	11
2.2.1. Propósito.....	11
2.2.2. Alcance.....	12
2.2.3. Desarrollo	12
2.2.3.1. Principio.....	12

2.2.3.2.	Fusión de la muestra que contenga minerales neutros u oxidados.....	12
2.2.3.3.	Fusión de la muestra que contenga minerales reductores (sulfuros)	13
2.2.3.4.	Copelación	14
2.2.3.4.1.	Pérdidas en la copelación	16
2.2.3.5.	Apartado del oro de la plata	17
2.2.3.6.	Valores bajos de oro para leerse por absorción atómica	18
2.3.	Procedimiento para el manejo del equipo de absorción atómica.....	18
2.3.1.	Resumen del procedimiento.....	18
2.3.2.	Procedimiento	19
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	21
3.1.	Variable	21
3.1.1.	Concentración de plomo en el dispositivo de seguridad del laboratorio (lavador de gases).....	21
3.1.2.	Concentración de plomo en el ambiente de trabajo	22
3.1.3.	Verificación de concentración de plomo en los residuos sólidos	24
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	24
3.3.	Recursos humanos disponibles	27
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	27
3.4.1.	Reactivos.....	27
3.4.2.	Instrumentos.....	29

3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa	30
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	30
3.6.1.	Concentración de plomo en el dispositivo de seguridad que se tiene en el laboratorio	30
3.6.2.	Concentración de plomo en el ambiente de trabajo.....	32
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	33
3.7.1.	Concentración de plomo en el dispositivo de seguridad que se tiene en el laboratorio	33
3.7.2.	Concentración de plomo en el ambiente de trabajo.....	34
3.8.	Análisis estadístico	34
3.8.1.	Varianza	35
3.8.2.	Desviación estándar	35
3.8.3.	En el lavador de gases	35
3.8.4.	En el ambiente de trabajo	36
4.	RESULTADOS	41
4.1.	Resultados en el lavador de gases.....	41
4.1.1.	Proceso de fundición	41
4.1.2.	Proceso de copelación	44
4.1.3.	Balance de masa en el lavador de gases	47
4.2.	Resultados en el ambiente interno de trabajo	48
4.3.	Verificación de concentración de plomo en los residuos sólidos	52
4.4.	Balance de plomo como pérdidas al medio ambiente	54
4.4.1.	En el proceso de fundición.....	54
4.4.2.	En el proceso de copelación.....	58

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	61
CONCLUSIONES.....	65
RECOMENDACIONES	67
BIBLIOGRAFÍA.....	69
APÉNDICE	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Plano del Ministerio de Energía y Minas	25
2.	Plano de los laboratorios	26
3.	Lavador de gases	31
4.	Distribución de filtros en el ambiente de trabajo	32
5.	Concentración de plomo en el reservorio de aspersion del lavador de gases por el proceso de fundición	42
6.	Concentración de plomo en el tanque de agua del lavador de gases por el proceso de fundición	43
7.	Concentración de plomo en el reservorio de aspersion del lavador de gases por el proceso de copelación.	45
8.	Concentración de plomo en el tanque de agua del lavador de gases por el proceso de copelación	46
9.	Balance de masa en el lavador de gases por el proceso de copelación	48
10.	Balance de plomo en el método de ensayo al fuego	53
11.	Concentración de plomo por metro cúbico en el proceso de fundición	55
12.	Temperaturas en el ducto de salida del horno hacia el lavador de gases por el proceso de fundición	56
13.	Balance de Pb como pérdidas en el ambiente por el proceso de fundición	57
14.	Concentración de plomo por metro cúbico en el proceso de copelación	58

15.	Temperaturas en el ducto de salida del horno hacia el lavador de gases por el proceso de copelación	59
16.	Balance de Pb como pérdidas en el medio ambiente por el proceso de copelación	60

TABLAS

I.	Principales síntomas de intoxicación con plomo.....	8
II.	Variables en el lavador de gases	22
III.	Variables en el ambiente de trabajo	23
IV.	Reactivos para el método de ensayo al fuego	28
V.	Concentración de plomo en el lavador de gases	32
VI.	Datos a recolectar en el lavador de gases.....	34
VII.	Datos a recolectar en los filtros colocados en el área ambiente interno de trabajo.	34
VIII.	Disposición de los datos para análisis de varianza entre filas de la concentración de plomo en los filtros del ambiente de trabajo	37
IX.	Disposición de los datos para análisis de varianza entre columnas de la concentración de plomo en los filtros del ambiente de trabajo	37
X.	Análisis de varianza para el experimento de bloque aleatorio	39
XI.	Concentración de plomo en el ducto de salida de los gases por el proceso de fundición.....	41
XII.	Concentración de plomo en el reservorio de aspersion por el proceso de fundición.....	42
XIII.	Concentración de plomo en el tanque de agua por el proceso de fundición	43

XIV.	Concentración de plomo en la chimenea de salida del lavador de gases por el proceso de fundición.....	44
XV.	Concentración de plomo en el ducto de salida de los gases por el proceso de copelación.....	44
XVI.	Concentración de plomo en el reservorio de aspersion por el proceso de copelación	45
XVII.	Concentración de plomo en el tanque de agua por el proceso de copelación	46
XVIII.	Concentración de plomo en la chimenea de salida del lavador de gases por el proceso de copelación	47
XIX.	Concentración de plomo por filas en el ambiente interno de trabajo por el proceso de fundición	48
XX.	Análisis de varianza de la concentración de plomo por filas en el ambiente interno de trabajo por el proceso de fundición	49
XXI.	Concentración de plomo por columnas en el ambiente interno de trabajo por el proceso de fundición	49
XXII.	Análisis de varianza de la concentración de plomo por columnas en el ambiente interno de trabajo por el proceso de fundición.....	50
XXIII.	Concentración de plomo por filas en el ambiente interno de trabajo por el proceso de copelación	50
XXIV.	Análisis de varianza de la concentración de plomo por filas en el ambiente interno de trabajo por el proceso de copelación	51
XXV.	Concentración de plomo por columnas en el ambiente interno de trabajo por el proceso de copelación	51
XXVI.	Análisis de varianza de la concentración de plomo por columnas en el ambiente interno de trabajo por el proceso de copelación	52

XXVII.	Porcentaje de plomo en cada parte del proceso de análisis de oro y plata porel método de ensayo al fuego.....	53
XXVIII.	Balance de Pb como pérdidas en el ambiente por el proceso de fundición	57
XXIX.	Balance de Pb como pérdidas al ambiente por el proceso de copelación	60

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
AA	Absorción Atómica
cm	Centímetro
r	Coefficiente de regresión lineal
Ley de oro	Concentración de oro en kilogramos por tonelada
°C	Grados Celsius
g	Gramos
kg/t	Kilogramos por tonelada
L	Litro
m	Metro
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cúbico
mg	Miligramos
mL	Mililitro
ppm	Partes por millón
%	Porcentaje
F	Prueba F de Fisher

GLOSARIO

Botón	Mezcla de una aleación de oro y plata.
Carga	Grupo de 2 a 6 muestras que se ingresan al horno para ser fundidas o copeladas.
Copela	Recipiente poroso y absorbente hecho de óxido de magnesio, o ceniza de hueso o cemento portland.
Copelación	Fusión oxidante de una mezcla de plomo, oro y plata en un recipiente llamado copela el cual absorbe el plomo dejando la aleación de oro y plata en la superficie.
Doré	Aleación de oro y plata que queda como resultado de la copelación.
Ebullición	Proceso físico en el que la materia pasa de estado líquido al estado gaseoso.
Ensayo al fuego	Rama del análisis químico cuantitativo en el que se determinan metales y minerales con ayuda de calor y reactivos secos.
Escoria	También recibe el nombre de ganga; es un residuo sólido vidrioso del proceso de fundición.

Fusión	Proceso físico en el cual la materia pasa del estado sólido al estado líquido.
Mufla	Horno que se utiliza para el análisis de oro y plata por el método de ensayo al fuego.
Regulo	Aleación de plomo, oro y plata que queda como resultado de la fundición de una muestra mineral.
Tiro forzado	Permite que los gases de combustión sean expulsados mediante la aspiración de un ventilador especial, resistente a las temperaturas y a las agresiones de los humos, e impulsados a la chimenea.
Vaso de fundición	Vasos de óxido de magnesio o de ceniza de hueso que se utilizan para fundir las muestras con el fundente.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación consistió en determinar la contaminación de plomo generado en el análisis de oro y plata por el método de ensayo al fuego.

Su objetivo principal fue determinar la concentración de plomo en los puntos susceptibles a contaminación como lo son: el ambiente externo de trabajo, el ambiente interno de trabajo y el sistema de seguridad que el laboratorio del Ministerio de Energía y Minas tiene para evitar la contaminación.

La metodología que continuó consistió en hacer correr el método ensayo al fuego y durante el análisis monitorear el lavador de gases en cuatro puntos específicos: el ducto que sale de la mufla, el reservorio de aspersion de agua, el tanque de agua y la chimenea de salida; además se controló durante el análisis por medio de filtros para aire la contaminación que hubo en el ambiente de trabajo.

Después de una serie de análisis se proponen alternativas de seguridad para que el ambiente de análisis sea seguro y los analistas puedan trabajar sin ningún problema.

Por último se realizó un análisis de datos y se hizo un balance de materia para determinar la cantidad de plomo que queda en cada parte del análisis.

OBJETIVOS

General

Determinar la concentración de plomo en el proceso de análisis de oro y plata por el método de ensayo al fuego en los puntos susceptibles a contaminación ambiental.

Específicos

1. Evaluar el lavador de gases del laboratorio para evitar la contaminación de plomo al ambiente exterior.
2. Determinar la concentración de plomo en el ambiente de trabajo donde se realiza el análisis de oro y plata por el método de ensayo al fuego.
3. Proponer alternativas de seguridad para el trabajo seguro en el análisis de oro y plata por el método de ensayo al fuego.

Hipótesis

Hipótesis nula:

1. El lavador de gases instalado en el laboratorio es eficiente y no permite que vapores de plomo sean enviados al ambiente exterior del laboratorio.
2. Cuando se realiza el análisis de oro y plata en el laboratorio, no se pasan los límites de exposición de plomo en el trabajo, según las normas internacionales.
3. El laboratorio del Ministerio de Energía y Minas realiza el análisis de oro y plata por el método de ensayo al fuego contando con la seguridad necesaria para no contaminar el medio ambiente.

Hipótesis alternativa:

1. El lavador de gases instalado en el laboratorio no es eficiente y permite que vapores de plomo sean enviados al ambiente exterior del laboratorio.
2. Cuando se realiza el análisis de oro y plata en el laboratorio, sí se pasan los límites de exposición de plomo en el trabajo, según las normas internacionales.
3. El laboratorio del Ministerio de Energía y Minas realiza el análisis de oro y plata por el método de ensayo al fuego no contando con la seguridad necesaria para no contaminar el medio ambiente.

INTRODUCCIÓN

El análisis de oro y plata, por el método de ensayo al fuego, es uno de los métodos más usados a nivel mundial para la cuantificación de oro y plata por la exactitud de sus resultados, existe mucha bibliografía acerca de este método, pero poco respecto a la contaminación que genera.

En Guatemala existe un laboratorio en la mina Marlín que realiza este análisis y el Ministerio de Energía y Minas que lo está implementando en su laboratorio.

El presente trabajo de investigación es una continuación del trabajo presentado por el ingeniero Marvin Eduardo Mérida Cano quien ya realizó el estudio acerca del balance de materia de concentración de plomo en el análisis de oro y plata por el método de ensayo al fuego. Tomando como base los resultados a los que él llegó y las recomendaciones hechas, se investigó la contaminación ambiental que se genera en dicho método tanto interna como externa al laboratorio.

Se dice que se deben tener cuidados, especialmente con el plomo y es responsabilidad del analista tomar las precauciones necesarias, pero nadie ha publicado hasta que punto existe esta contaminación y como podrían tratarse los residuos.

Existen laboratorios en muchos países que realizan este análisis y quizás hayan hecho este estudio pero solo enfocado a su laboratorio y no a nivel general lo cual serviría para utilizar un equipo de seguridad estándar.

Este trabajo pretende conocer la contaminación ambiental que genera este análisis y publicarlo para que otros laboratorios consideren la seguridad que se debe tener.

El laboratorio del Ministerio de Energía y Minas durante años ha realizado el análisis de plomo por medio de espectrometría de absorción atómica y cuenta con este equipo el cual tiene un límite de detección de 0,04 miligramos por litro y un límite de cuantificación de 0,14 miligramos por litro para la determinación de plomo, lo cual permitió determinar las concentraciones de plomo en nuestro estudio.

El laboratorio cuenta con un lavador de gases y este se monitoreó para ver la eficiencia que tiene y si hay que hacerle mejoras; además, por seguridad de los analistas se controló la contaminación de plomo en el ambiente de trabajo con el objeto que pueda ser más seguro.

1. ANTECEDENTES

Históricamente, el análisis de oro y plata en minerales por el método de ensayo al fuego es uno de los más aceptados por los laboratorios de todo el mundo por sus resultados que son confiables.

Actualmente en el territorio de Guatemala se están explotando metales preciosos los cuales necesitan ser fiscalizados y es función del Ministerio de Energía y Minas cumplir con esta fiscalización.

Para ello se está implementando en el laboratorio del Ministerio de Energía y Minas el análisis de oro y plata por el método de ensayo al fuego donde ya existe el equipo necesario y los reactivos correspondientes para realizar este análisis.

Existe información acerca de este método de análisis y toda la bibliografía concuerda que el mayor cuidado que se debe tener es que el análisis por este método genera vapores de plomo los cuales son nocivos para la salud y para el medio ambiente.

El plomo tiene un punto de ebullición de 1 750 grados Celsius pero empieza a generar vapores a los 500 grados Celsius, lo que hace peligroso el análisis de oro y plata por el método de ensayo al fuego, ya que se trabaja con temperaturas de 850 grados Celsius, 900 grados Celsius y 950 grados Celsius.

Tomando como base el estudio realizado por el ingeniero Marvin Eduardo Mérida Cano en su trabajo de graduación donde hizo un balance de masa de

PbO, él obtuvo resultados que indican una pérdida del 4 por ciento en la etapa de fundición y una pérdida del 2 por ciento en la etapa de copelación, teniendo una pérdida total del 6 por ciento, asumiendo que las copelas y los vasos de fundición son de buena calidad.

Tomando como base esta pérdida del 6 por ciento y asumiendo que en la mufla se trabaja con una carga 6 muestras simultáneas y que a cada muestra se le agregan en promedio 39 gramos de Pb, se estarían trabajando 234 gramos de plomo por carga y en cada carga hay una pérdida del 6 por ciento, la pérdida que se va al ambiente exterior y al ambiente de trabajo será de 14 gramos de plomo elemental.

Las dimensiones del laboratorio donde se realiza el análisis de oro en el Ministerio de Energía y Minas son 6 metros de largo, 5,25 metros de ancho y 3,5 metros de alto conteniendo un volumen de aire de 110,25 metros cúbicos asumiendo que todo el plomo quede en este volumen. Se tendrá una concentración como vapores de plomo en el ambiente de trabajo de 0,13 gramos de plomo por metro cúbico por carga de trabajo y esto aumentaría en cada carga de trabajo.

Se asume que todo el plomo se va hacia el ambiente exterior en unas 10 cargas de trabajo se estarán liberando 140 gramos de plomo al ambiente exterior.

La mufla donde se realiza el análisis tiene en la parte de atrás una chimenea con tiro forzado que extrae los vapores de plomo y los envía al lavador de gases que se encuentra en la terraza del laboratorio, y se espera que por diferencia de temperatura el plomo precipite en el agua y no salga al ambiente como contaminación de plomo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Plomo

El plomo es un metal que existe formando parte de ciertos minerales en la corteza terrestre. Las personas lo han diseminado a través del medio ambiente de muchas maneras.

Industrialmente, sus compuestos más importantes son los óxidos de plomo y el tetraetilo de plomo. El plomo forma aleaciones con muchos metales y, en general, se emplea en esta forma en la mayor parte de sus aplicaciones.

Todas las aleaciones formadas con estaño, cobre, arsénico, antimonio, bismuto, cadmio y sodio tienen importancia industrial.

El uso más amplio del plomo, como tal, se encuentra en la fabricación de acumuladores. Otras aplicaciones importantes son la fabricación de tetraetilplomo, forros para cables, elementos de construcción, pigmentos, soldadura suave y municiones.

2.1.1. Propiedades químicas y físicas

Las propiedades químicas y físicas del plomo ayudan a comprender el comportamiento que tiene en determinadas condiciones de trabajo, es por ello que se listan a continuación.

•	Número atómico	82
•	Valencia	2,4
•	Estado de oxidación	+2
•	Electronegatividad	1,9
•	Radio covalente (Å)	1,47
•	Radio iónico (Å)	1,20
•	Radio atómico (Å)	1,75
•	Configuración electrónica	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²
•	Primer potencial de ionización (eV)	7,46
•	Masa atómica (g/mol)	207,19
•	Densidad (g/ml)	11,4
•	Punto de ebullición (°C)	1725
•	Punto de fusión (°C)	327,4
•	Presión de vapor a 327 °C (Pa) ¹	4.21 x 10 ⁻⁷
•	Presión de vapor a 0 °C (Pa) ²	0

2.1.2. Límites de exposición

Todos concuerdan que un límite de exposición al plomo, para un trabajador durante ocho horas diarias sin que tenga problemas complicados de salud debe ser según las normas internacionales de:

¹ <http://www.ecured.cu/index.php/Plomo>. Consulta: 11 de febrero de 2014.

² Hoja informativa sobre sustancias peligrosas p. 6
<http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1096sp.pdf>. Consulta: febrero de 2014.

- Según la OSHA el PEL es de 0,05 mg/m³
- Según la NIOSH el REL es de 0,05 mg/m³
- Según la ACGIH el TLV es de 0,05 mg/m³

Donde:

OSHA = “Occupational Safety and Health Administration (Administración de salud y seguridad en el trabajo), es la agencia federal responsable de la adopción de normas de salud y seguridad y el cumplimiento de las mismas”.³

PEL = “Permissible exposure limit (límite de exposición permisible), es un límite en el aire que está determinado por la OSHA y es legalmente exigible.”⁴

NIOSH = “National Institute for occupational Safety and Health (Instituto nacional para la salud y seguridad en el trabajo), es un organismo que realiza evaluaciones de equipos de respiración y la certificación de los mismos, estudios de peligros laborales, ensayos de equipos laborales y también propone normas a la OSHA.”⁵

REL = “Recommended exposure limit (límite de exposición recomendado), es establecido por la NIOSH para los niveles de sustancia en el aire. Puede ser un promedio ponderado en

³ Hoja informativa sobre sustancias peligrosas p. 5
<http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1096sp.pdf>. Consulta: noviembre del 2013.

⁴ Ibíd.

⁵ Ibíd.

el tiempo, límite de exposición a corto plazo o límite en el tiempo.”⁶

ACGIH = “American conference of Governmental Industrial Hygienists (Conferencia Estadounidense de Higienistas Industriales Gubernamentales), publica recomendaciones sobre los límites d exposición laboral a las sustancias químicas (Valores límites umbral; ver TLV.”⁷

TLV= “threshold limit value (valor límite umbral), es el límite de exposición laboral recomendada por la ACGIH”⁸

2.1.3. Plomo en el medio ambiente

El plomo puede entrar al ambiente a través de liberaciones desde minas de plomo y otros metales, desde fábricas que lo manufacturan, por aleaciones o compuestos de plomo. Este es liberado al aire cuando se quema carbón, petróleo o desechos.

Entre las fuentes de plomo en el polvo y la tierra se incluyen al que cae al suelo desde el aire y el desgaste y desprendimiento de pedazos de pintura con plomo desde edificios, puentes y otras estructuras. Los vertederos pueden contener desechos de minerales de plomo proveniente de las municiones o de otras actividades industriales como por ejemplo la manufactura de baterías.

⁶ Hoja informativa sobre sustancias peligrosas p. 5
<http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1096sp.pdf>. Consulta: noviembre del 2013.

⁷ Op.Cit. p.4

⁸ Op.Cit. p.5

Entre las fuentes de plomo en el agua de superficie o en sedimentos están la deposición de polvo que contiene plomo desde la atmósfera, el agua residual de industrias que manejan plomo (principalmente las industrias de hierro y acero y las que manufacturan plomo), agua de escorrentía en centros urbanos y apilamientos de minerales.

Algunos compuestos de plomo son transformados a otras formas de plomo por la luz solar, el aire y el agua. Sin embargo, el plomo elemental no puede ser degradado.

2.1.4. Toxicología

“El plomo puede ser inhalado y absorbido a través del sistema respiratorio o ingerido y absorbido por el tracto gastrointestinal; la absorción percutánea del plomo inorgánico es mínima, pero el plomo orgánico si se absorbe bien por esta vía. Después de la ingestión de plomo, éste se absorbe activamente, dependiendo de la forma, tamaño, tránsito gastrointestinal, estado nutricional y la edad; hay mayor absorción de plomo si la partícula es pequeña, si hay deficiencia de hierro y/o calcio, si hay gran ingesta de grasa o inadecuada ingesta de calorías, si el estómago está vacío y si se es niño, ya que en ellos la absorción de plomo es de 30 a 50 por ciento mientras que en el adulto es de 10por ciento.”⁹

Luego de su absorción el plomo se distribuye en compartimentos, en primer lugar circula en sangre, luego se distribuye a los tejidos blandos como hígado, riñón, médula ósea y sistema nervioso central que son los órganos blanco de toxicidad, luego de 1 a 2 meses el plomo difunde a los huesos donde

⁹Intoxicación por plomo, Melinda M. Valdivia infantas
<http://www.scielo.org.pe/pdf/rspm/v18n1/a05v18n1.pdf>.
Consulta: el 6 de noviembre de 2013.

es inerte y no tóxico. El metal puede mobilizarse del hueso en situaciones como inmovilidad, embarazo, hipertiroidismo, medicaciones y edad.

“El plomo cruza la placenta y la barrera hematoencefálica. Finalmente se excretará por orina en un 90por ciento, y en menor cantidad en la bilis, piel, cabello, uñas, sudor y leche materna. Hay que recordar que en el hueso está depositado el 90por ciento del plomo y que una disminución de la plumbemia sin quelación indica esta distribución a tejido blando y hueso.”¹⁰

2.1.5. Síntomas clínicos

Los síntomas de intoxicación por plomo, generalmente se manifiestan por trabajar en lugares donde se superan concentraciones de plomo en relación a los permitidos por las normas internacionales.

Tabla I. Principales síntomas de intoxicación con plomo

Sistema Nervioso Central	Fatiga, malestar, irritabilidad, ánimo deprimido, disminución de la libido, alteración de la función neuropsicológica, cefalea, encefalopatía (delirio, ataxia, convulsión, estupor, coma.)
Sistema Nervioso Periférico	Debilidad motora
Gastrointestinal	Anorexia, náusea, constipación, pérdida de peso, dolor abdominal
Sangre	Anemia, (hipocrónica, microcítica o normocítica)
Renal	Insuficiencia renal crónica, nefritis intersticial, proteinuria leve
Reumatológico	Mialgias, artralgias, gota
Cardiovascular	Hipertensión
Reproductivo	Oligospemia

Fuente: elaboración propia.

¹⁰ Intoxicación por plomo, Melinda M. Valdivia infantas
<http://www.scielo.org.pe/pdf/rspmi/v18n1/a05v18n1.pdf>.
 Consultado: el 6 de noviembre de 2013.

2.1.6. Plomo en la sangre

“El plomo en sangre correlaciona directamente con las manifestaciones clínicas, la encefalopatía plúmbica ocurre con plombemias mayores de 80 miligramos por decilitro, el deterioro cognitivo con 50 miligramos por decilitro, la nefropatía con 40 miligramos por decilitro, la neuropatía periférica con 20 miligramos por decilitro, y la anemia se ha reportado con valores tan bajos como 10 miligramos por decilitro y hasta tan altos como 40 miligramos por decilitro. Se ha reportado deterioro intelectual en niños y retardo de la pubertad en niñas con valores debajo de 10 miligramos por decilitro e hipertensión e insuficiencia renal en adultos 15-16 con valores tan bajos de entre 4 a 6 miligramos por decilitro.

El Centro de Prevención y Control de Enfermedades de Estados Unidos recomienda intervención médica con niveles mayores de 10 miligramos por decilitro y 25 miligramos por decilitro en niños y adultos respectivamente. Según la Occupational Safety and Health(OSHA) con valores mayores a 40 miligramos por decilitro un adulto debe alejarse del trabajo.”¹¹

2.1.7. Tratamiento

Las siguientes son recomendaciones de la Organización Internacional del Trabajo para la prevención en trabajadores expuestos, las cuales deben seguirse para evitar la intoxicación por plomo:

- Dentro de lo posible reemplazar el plomo por sustancias menos tóxicas.

¹¹ Intoxicación por plomo, Melinda M. Valdivia infantas
<http://www.scielo.org.pe/pdf/rspmi/v18n1/a05v18n1.pdf>.
Consulta: el 6 de Noviembre de 2013.

- Los trabajadores deben contar con un Equipo de Protección Individual (EPI) adecuado como son máscaras con filtros especiales para plomo y ropa protectora, que debe lavarse o cambiarse regularmente.
- La ropa protectora de determinadas fibras sintéticas retiene menos polvo que los de algodón y debe utilizarse siempre que las condiciones de trabajo lo permitan.
- Evitar la ropa con vueltas, pliegues y bolsillos en los que se pueda acumular el polvo.
- No llevar la ropa de trabajo a la casa.
- Se ha de dar a los trabajadores el tiempo necesario para lavarse antes de comer y debe estar prohibido comer y fumar en las proximidades de las áreas en que se procesa el plomo. Deberán existir zonas adecuadas para comer.
- La limpieza de las salas y el edificio en que se procesa el plomo debe realizarse continuamente ya sea por un proceso en húmedo o con aspiradores. Cuando, a pesar de estas precauciones, los trabajadores sigan estando expuestos al plomo, deberán contar con un equipo de protección respiratoria adecuadamente mantenido. Dicho equipo deberá revisarse para garantizar su limpieza y eficacia; también se vigilará que se utilice en caso necesario.

2.1.8. Efectos sobre la salud

Los síntomas por estar en contacto con plomo, sin la debida protección y sobrepasando las concentraciones establecidas por las normas internacionales, son los siguientes:

- Ojos: irritación.
- Piel: no hay información.
- Agudo: dolor de cabeza, irritabilidad, malestar estomacal, y debilidad.
- Crónico: el plomo podría causar cáncer de pulmón, cerebro, estómago, y riñón en humanos. Sabor metálico, cólicos, calambres musculares.

2.2. Método de ensayo al fuego

El principio de este método consiste en que el oro y la plata de una muestra mineral son colectados mediante el uso de un fundente, obteniéndose un botón de plomo llamado régulo. Este es oxidado mediante un proceso de copelación obteniéndose el doré, el mismo que es atacado por digestión ácida (partición) para su posterior lectura por absorción atómica.

2.2.1. Propósito

Este procedimiento establece el método gravimétrico (ensayo al fuego) para la determinación de oro y plata en minerales, rocas, suelos, sedimentos, productos metalúrgicos entre otros.

2.2.2. Alcance

El método es aplicable a muestras con contenidos de oro que se encuentre entre 0,5 gramos por tonelada y 50 kilogramos por tonelada y plata entre 20 gramos por tonelada y 50 kilogramos por tonelada en los materiales antes descritos.

2.2.3. Desarrollo

Para el análisis de oro y plata por este método es necesario determinar el contenido de la muestra y dependiendo de ello se aplicará un método diferente de análisis, si la muestra contiene minerales neutros se trabaja de una forma y si contiene sulfuros la muestra se trabaja de forma diferente, las formas de trabajar las muestras se describen a continuación.

2.2.3.1. Principio

El método se basa en la propiedad que tiene el plomo fundido para colectar el oro y la plata con la subsecuente copelación y cuantificación gravimétrica.

2.2.3.2. Fusión de la muestra que contenga minerales neutros u oxidados

Poner 60 a 65 gramos de fundente. En un crisol de barro o arcilla; agregar 20 o 30 gramos de muestra a analizar, mezclar perfectamente la muestra, el fundente y el reductor con una espátula. Cubrir con 20 gramos de fundente y 5 a 10 gramos de bórax para proteger la fusión y evitar proyecciones del material.

Nota: en ambos casos, minerales neutros y oxidados, se utilizan 20 a 30 gramos de muestra, sin embargo esta cantidad se puede incrementar o disminuir dependiendo de las características del mineral y el contenido de oro y/o plata que se persiga. Es conveniente que se ajusten las cargas de acuerdo a lo anterior.

2.2.3.3. Fusión de la muestra que contenga minerales reductores (sulfuros)

Poner 60 a 65 gramos de fundente en un crisol de barro o arcilla; agregar la 10 gramos de la muestra a analizar, agregar de 1 a 4 gramos de nitrato de potasio, dependiendo de la cantidad de sulfuros y 5 a 10 gramos de SiO_2 considerando el contenido de SiO_2 que presenten las muestras.

Mezclar perfectamente la muestra, el fundente y otros compuestos con una espátula. Introducir 1 o 2 clavos de 3 pulgadas o nitrato de potasio como desulfurante, cubrir con 10 a 20 gramos de fundente y 5 a 10 gramos de bórax, para proteger la fusión y evitar proyecciones del material.

En cualesquiera de los dos casos anteriores o en ambos, introducir el (los) crisol (es) en el horno-mufla de 850 ± 50 grados Celsius y calentar de 20 a 25 minutos, evitar calentamiento brusco para evitar pérdidas por proyecciones.

Incrementar el calentamiento hasta alcanzar de 950 ± 50 grados Celsius y conservarla durante 25 a 30 minutos. Terminada la fusión, tomar con pinzas el crisol y mezclar moviendo en círculos y posteriormente golpear ligeramente para asentar el plomo fundido y vaciar poco a poco en una payonera previamente calentada de 70 ± 10 grados Celsius y dejar enfriar.

Se separa la escoria del plomo con un martillo y se golpea hasta obtener un cubo libre de escoria.

2.2.3.4. Copelación

Introducir las copelas en el horno-mufla cuando éste se encuentre de 850 ± 50 grados Celsius. Es importante que la temperatura de la copela esté por arriba del punto de fusión del litargirio ($884 \text{ }^{\circ}\text{C}$), cerrar la puerta para que se calienten 15 a 20 minutos.

Colocar los cubos de plomo sobre las copelas y cerrar la puerta, en este punto los botones de plomo se funden y cubren con una espuma oscura que desaparece en 1 a 3 minutos; el plomo se hace brillante lo que indica que se han descubierto los ensayos y que el plomo ha empezado a oxidarse.

Se abre la puerta de la mufla para que entre suficiente aire, la superficie del plomo se vuelve de forma convexa y pasan de abajo pajitas de litargirio fundido que al estar sobre la superficie del plomo le dan una apariencia lustrosa. Entonces se dice que los ensayos se están moviendo.

La temperatura del horno debe estar entre 820 a 850 grados Celsius (el color rojo claro da una indicación de la temperatura). A esta temperatura los humos se desprenden lentamente y cristalizan en los bordes de las copelas cristales de litargirio.

NOTA: esta temperatura es importante pues si se eleva hay pérdidas y si se baja no se volatiliza todo el plomo y existe la posibilidad de que se congelen los botones, esto último es más probable si hay antimonio, cobalto, níquel, entre otros. Hacia el final del proceso se cierra la puerta del Horno-Mufla para elevar

la temperatura de 900 ± 100 grados Celsius y expulsar los últimos restos de plomo.

Enfriar gradualmente y procurar que los botones grandes de plata no se enfríen bruscamente ya que puede haber proyecciones (galleo) y por lo tanto pérdidas de plata.

Se desprende el botón de oro y plata (doré) con las pinzas de punta, en este momento hacer presión para eliminar restos de la copela y cepillar el área de contacto del botón con la copela.

Se coloca el botón en un yunque pequeño o placa de metal y martillar para obtener una lámina y facilitar la disolución de la plata en el apartado. El botón se coloca en un crisol de porcelana y se pesa en la balanza microanalítica con sensibilidad de los 0,001 miligramos. Considerar este peso (P1) como peso del dore (oro + plata).

Conservar las copelas para recuperar valores de oro y/o plata absorbidos.

- Observaciones
 - Cuando se hacen varias copelaciones al mismo tiempo deben meterse primero los botones más grandes para que tengan el mismo tiempo de proceso.
 - Las copelas no deben moverse después de que se les ha colocado el plomo. La temperatura se puede regular con el tiro, enfriadores, puerta de la mufla, control automático, y otros.

- Después de la copelación, la copela se deja en la mufla unos minutos según el tamaño del botón.
- Cuando la temperatura final es baja, el botón se solidifica sin brillantez reteniendo plomo.
- Si el botón es de oro se necesita una temperatura final mucho más alta que cuando es de plata.
- Además de oro y plata, el botón también puede presentar un contenido de platino, paladio, rodio, iridio, rutenio y osmio.
- Si el botón aparece opaco en la superficie superior hay indicación de presencia de telurio o algún elemento del grupo del platino.
- Los botones que contienen gran cantidad de platino aparecen aplastados y no relampaguean. Son de color gris acero y de superficie opaca.

2.2.3.4.1. Pérdidas en la copelación

Siempre hay pérdidas en el proceso de copelación, sobre todo porque aquí se ingresa plomo en estado elemental al horno a una temperatura de 950 grados Celsius, pero los principales factores por los que hay pérdidas son:

- La naturaleza y forma de la copela
- La temperatura de copelación
- La proporción del plomo a la plata

- La cantidad y carácter de impurezas
- El tiro a través de la mufla

Las pérdidas pueden ser debidas a:

- Proyecciones durante el enfriamiento (galleo)
- Absorción del plomo (bullion) por la copela
- Oxidación y absorción de la plata con el litargirio
- Volatilización de la plata ya sea sola o acompañada con otros metales

2.2.3.5. Apartado del oro de la plata

Calentar el ácido nítrico sin llegar a ebullición, vaciar de 7 a 8 mililitros en el crisol de porcelana y calentar, sin llegar a ebullición, hasta la completa disolución de la plata.

Decantar la solución cuidadosamente y agregar de 7 a 8 mililitros de ácido nítrico, calentar durante unos 10 minutos (15 minutos si el contenido de oro es alto).

Decantar la solución y lavar tres veces con agua destilada y una con NH_4OH . Calentar el crisol a baja temperatura para secar el botón; calcinar el oro en mechero o en mufla eléctrica hasta que el fondo del crisol esté al rojo brillante.

Enfriar y pesar el botón de oro en una balanza microanalítica con sensibilidad de 0,001 miligramos considerar este peso (P2) como peso de oro.

2.2.3.6. Valores bajos de oro para leerse por absorción atómica

Para botones muy pequeños que son difíciles de manejar con pinzas, se hace digestión y se lee por Espectrometría de Absorción Atómica (EAA).

Se disuelve el botón de oro con agua regia (3:1) preparada en el crisol del apartado agregando una gota de ácido nítrico y tres gotas de HCl. Calentar de 60 a 70 grados Celsius hasta disolución completa y evaporar casi a sequedad. Enfriar y diluir a 2 mililitros con 5 por ciento de ácido clorhídrico concentrado y leer en espectrofotómetro de absorción atómica.

2.3. Procedimiento para el manejo del equipo de absorción atómica

El equipo de absorción atómica con que cuenta el laboratorio, cuantifica la concentración de plomo en miligramos por litro y es necesario que lo que se va a medir se encuentre en solución.

2.3.1. Resumen del procedimiento

La determinación de elementos químicos en diferentes tipos de muestras, se realiza bajo la técnica de absorción atómica, siempre y cuando la muestra sea preparada basándose en su origen y composición.

El método de absorción atómica se basa en la aspiración de una muestra líquida previamente preparada, la cual es atomizada y sometida a una excitación de átomos por contacto directo con una llama producida de la combustión de acetileno-aire o acetileno-óxido nitroso, utilizando un haz de luz emitido por una lámpara de cátodo hueco a una longitud de onda establecida,

estas condiciones se encuentran establecidas en el manual del equipo y son específicas para cada elemento.

Las intensidades del haz de luz se miden y cuantifican para la determinar la concentración del elemento en particular. Cada elemento utilizará su respectiva lámpara y condiciones específicas.

La ciencia de la espectroscopia atómica ha desarrollado tres técnicas para uso analítico, la emisión, la absorción y la fluorescencia atómicas. El laboratorio consta de un equipo de absorción atómica marca Perkin Elmer, modelo 3110, con el cual se aplica generalmente la técnica de llama o absorción.

2.3.2. Procedimiento

El laboratorio del Ministerio de Energía y Minas cuenta con un equipo de absorción atómica marca Perkin Elmer modelo 3110 y dentro del manual interno de trabajo se especifica el siguiente procedimiento:

- Conectar el extractor del equipo
- Activar el compresor de aire y esperar que la presión llegue a 65 Libras por pulgada cuadrada.

Nota importante: es importante que se chequeen las líneas, válvulas y manómetro del cilindro del gas, para evitar posibles fugas.

Nota precaución: mantener una presión de salida del cilindro del acetileno entre 12 a 14,5 libras por pulgada cuadrada y nunca permita que esta presión exceda los 15 libras por pulgada cuadrada ya que el acetileno puede descomponerse y provocar explosión. Esta presión la indica el manómetro en la línea.

- Encender el regulador de voltaje
- Encender el equipo
- Buscar en el manual del equipo, las condiciones de operación para el elemento a determinar.

Nota: en el manual del usuario se encuentran todas las condiciones de operación que el equipo requiere para la determinación de cada uno de los elementos.

- Fijar las condiciones en el equipo según el elemento que se vaya a analizar.
- Realizar la calibración del equipo
- Realizar las lecturas de las muestras

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Las variables de operación que se analizarán tomando en cuenta los objetivos del presente trabajo, van enfocadas a tres puntos específicos, los cuales son los siguientes:

- Concentración de plomo en el dispositivo de seguridad que se tienen en el laboratorio. (Lavador de gases)
- Concentración de plomo en el ambiente de trabajo
- Verificación de concentración de plomo en los residuos sólidos

3.1.1. Concentración de plomo en el dispositivo de seguridad del laboratorio (lavador de gases)

El laboratorio del Ministerio de Energía y Minas cuenta con un lavador de gases, al cual se le evaluó su eficiencia en relación a la cantidad de plomo que queda atrapada en él durante el análisis de oro y plata por el método de ensayo al fuego, y las variables analizadas son las siguientes:

Tabla II. **Variables en el lavador de gases**

Nombre	Dimensional	Constante	Variable	Característica	Descripción
Área del filtro en el ducto	m ²	X		Controlable	Área del ducto de la mufla
Área del filtro de la chimenea de salida	m ²	X		Controlable	Área de la chimenea de salida
Volumen del tanque de agua	m ³	X		Controlable	Volumen del tanque de agua
Volumen del reservorio de aspersión	m ³	X		Controlable	Volumen del reservorio de aspersión
Concentración de plomo	mg/L		X	No controlable	Plomo en el lavador de gases

Fuente elaboración propia.

3.1.2. **Concentración de plomo en el ambiente de trabajo**

El laboratorio para el análisis tiene las siguientes dimensiones: 6 metros de largo, 5,25 metros de ancho y 3,5 metros de alto conteniendo un volumen de aire de 110,25 metros cúbicos.

Por muestra de trabajo se agregan 70 gramos de fundente del cual el 60 por ciento es óxido de plomo, o sea que se agregan 42 gramos de óxido de plomo y haciendo el cálculo estequiométrico esto equivale a 39 gramos de plomo por muestra.

Suponiendo que se trabaja con 6 muestras, se tiene una carga de 234 gramos de plomo de estos 234 gramos de plomo se desea analizar cuantos gramos de plomo se van al ambiente de trabajo en forma de vapor de plomo ya que se empiezan a formar vapores de plomo a temperaturas de 500 grados Celsius y el horno trabaja en el análisis a una temperatura de 900 grados Celsius, el mayor peligro se genera especialmente cuando se abre el horno.

Se coloca filtros a diferentes distancias de la mufla y las variables en esta parte de la investigación serán:

Tabla III. **Variables en el ambiente de trabajo**

Nombre	Dimensional	Constante	Variable	Característica	Descripción
Área del filtro utilizado	m ²	X		Controlable	Área de los filtros en el ambiente de trabajo
Ubicación de los filtros	m	X		Controlable	Distancia a partir de la mufla
Concentración de plomo	mg/L		X	No controlable	Plomo en el lavador de gases

Fuente elaboración propia.

Según los datos anteriores se hace un análisis para determinar las medidas de seguridad necesarias para el ambiente de trabajo y para el ambiente exterior del laboratorio.

3.1.3. Verificación de concentración de plomo en los residuos sólidos

Se verificará un análisis de los datos que se conocen acerca de la huella que deja el plomo en cada parte del proceso para ello se determinará la concentración de plomo que hay en:

- Fase fundición
 - Vaso de fundición
 - Escoria

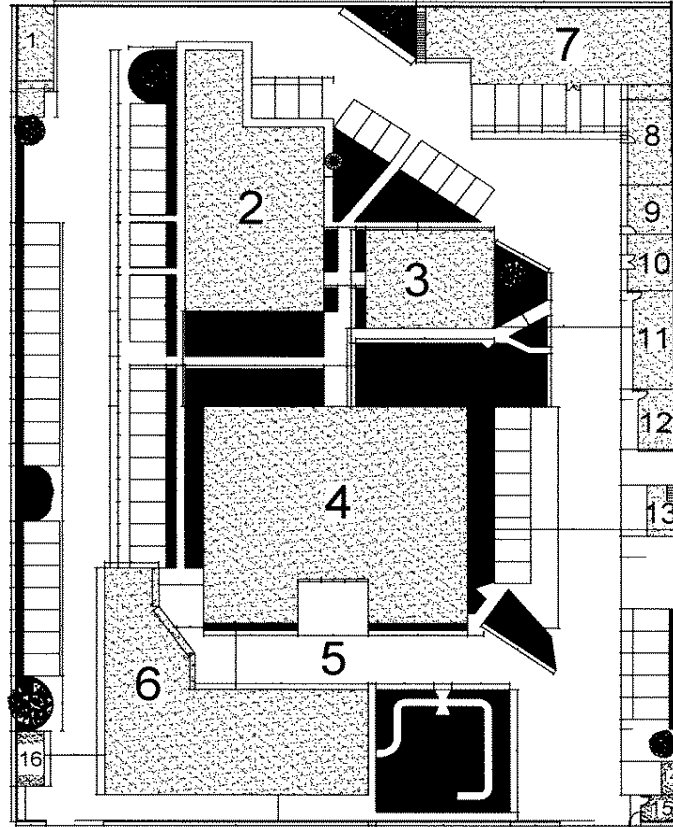
- Fase de copelación
 - Copela

Para la determinación de plomo en la copela también se colocará una muestra testigo en la cual se determinará si una copela al aplicarle el mismo tratamiento no sufre ningún cambio en el peso.

3.2. Delimitación del campo de estudio

El Ministerio de Energía y Minas cuenta con un área de trabajo, donde hay diferentes departamentos, áreas de mantenimiento, cafetería, clínica médica y otros, los cuales se pueden observar en la figura 1. Pero el área de estudio se identifica con el número 3 donde se encuentra el laboratorio de minerales en la figura 1.

Figura 1. Plano del Ministerio de Energía y Minas



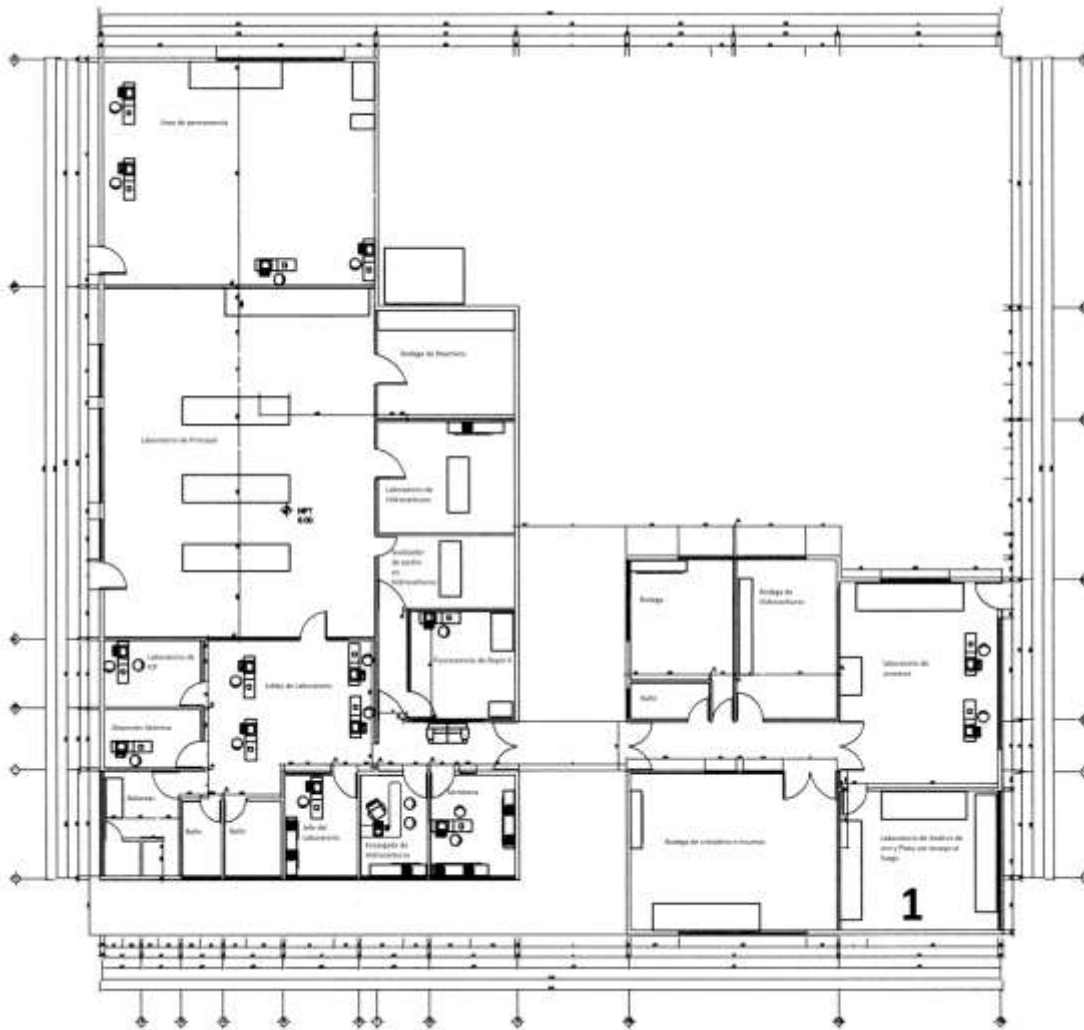
1	SERVICIOS VARIOS
2	LABORATORIO DE PETRÓLEO
3	LABORATORIO DE MINERALES
4	DIRECCIONES GENERALES DE MINERÍA
5	ENTRADA PRINCIPAL
6	DIRECCIONES SUPERIORES
7	CAFETERIA / TALLER
8	TRANSPORTES
9	BODEGA
10	SINDICATO
11	ARCHIVO TÉCNICO DE HIDROCARBUROS
12	CLÍNICA
13	BARRERO GENERAL
14	GUARDIANA
15	SARITA
16	ASESORES

PLANO	PLANO DE UBICACION MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS
UBICACION	DIAGONAL 17-29-78, ZONA 11 COLONIA LAS CHARAS, GUATEMALA, GUATEMALA
DEPARTAMENTO	DEPARTAMENTO DE SERVICIOS VARIOS
ESCALA	1:500
DIBUJO	LEADY YULIANA ORDÓÑEZ MACKLER
FECHA	GUATEMALA SEPTIEMBRE 20 DE 2013

Fuente: servicios varios, Ministerio de Energía y Minas.

El plano de los laboratorios de minerales de la figura 1, se muestra más detallado en la figura 2 y el área específica de estudio será la mostrada con el número 1 en la figura 2 y tiene un volumen de 110,25 metros cúbicos.

Figura 2. **Plano de los laboratorios**



Fuente: servicios varios, Ministerio de Energía y Minas.

Esta área es donde se está implementando el análisis de oro y plata por el método de ensayo al fuego, se hará el estudio del plomo que se genera en forma de vapor y que puede ser enviado al ambiente como contaminante o que puede quedar dentro de esta área, lo cual representa un peligro para el analista.

3.3. Recursos humanos disponibles

Para el presente trabajo son la persona que realiza el estudio: Hugo Eligio Argueta Juárez, Asesor: Ingeniero Químico Byron Obed Rosales Salguero colegiado No. 726 y Fredy Girón colaborador.

3.4. Recursos materiales disponibles

El laboratorio del Ministerio de Energía y Minas, cuenta con todos los reactivos y materiales necesarios para el análisis de oro y plata por el método de ensayo al fuego.

3.4.1. Reactivos

Los reactivos necesarios para el estudio a realizar tanto en el proceso de fundición como para el proceso de copelación y en el análisis por absorción atómica están descritos en la tabla IV:

Tabla IV. **Reactivos para el método de ensayo al fuego**

Litargirio (PbO), grado ensayo	$Au \leq 0.02 \text{ g/t}$, $Ag \leq 0.4 \text{ g/t}$.
Carbonato de sodio anhidro (Na_2CO_3)	Grado industrial.
Tetraborato de sodio anhidro ($Na_2B_4O_7$)	Grado industrial
Azúcar, comercial (común y corriente)	Agente reductor
Nitrato de potasio (KNO_3)	Agente desulfurante
Limadura de hierro ó clavos de 3-4"	Grado industrial
Sílice (SiO_2) pureza $\geq 95\%$	Tamaño de grano $150 \mu\text{m}$ (100 mallas)
Vidrio ($X Na_2O-CaO-SiO_2$)	Incoloro y con tamaño de (35 mallas)
Ácido nítrico	1,4 g/mL.
Ácido nítrico	(1+7) 12,5 %
Ácido nítrico	(1+3) 25 %
Hidróxido de amonio	(1+9) 10 %
Ácido clorhídrico	$\rho = 1,16 \text{ g/mL}$. a $1,19 \text{ g/mL}$.
Agua tipo I	De acuerdo con la norma ASTM D1193-06 Resistividad mínima de $18 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$ a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ Conductividad máxima de $0,056 \mu\text{S/cm}$ a $25 \text{ }^\circ\text{C}$
Estándar de Oro de 3 y 5 ppm	Son preparadas a partir de una solución patrón de 1000 mg/L (ppm) con la ecuación $C_1V_1 = C_2V_2$. Va a depender de la concentración que se necesita (C_2), así como del volumen a preparar V_2 .
Fundente	60 % en peso de monóxido de plomo, 27 % en peso de carbonato de sodio, 13 % de tetra borato de sodio

Fuente: elaboración propia.

3.4.2. Instrumentos

Los instrumentos utilizados en el análisis de oro y plata por el método de ensayo al fuego fueron proporcionados por el Ministerio de Energía y Minas, y se mencionan a continuación.

- Se requiere equipo ordinario de laboratorio incluyendo pipetas y matraces volumétricos, pipetas serológicas y probetas graduadas cuando no se requiera exactitud en el volumen.
- Accesorios para manipulación de botones de dore, oro y plata; tales como pinzas, cepillo, yunque, martillo, y otros.
- Plancha de calentamiento con capacidad de 40 a 100 grados Celsius.
- Balanza microanalítica para ensayo con sensibilidad de 0,001 miligramos.
- Balanza analítica con sensibilidad de 0,001 gramos
- Mufla con capacidad de operar de 600 a 1200 grados Celsius.
- Crisoles de barro ó arcilla con capacidad de 20 a30 gramos de muestra.
- Copelas.
- Crisol de porcelana No. 0.

- Payoneras, pinzas para crisoles de barro, arcilla, martillos y equipo ordinario para ensayo (fusión).

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

La técnica que se utilizará en la presente investigación es la técnica cuantitativa ya que se determinará la cantidad de plomo en el ambiente exterior al laboratorio y también en el ambiente interior del laboratorio. El equipo a utilizar es un absorción atómica marca Perkin Elmer Modelo 3110 cuyo límite de detección para el plomo es 0,04 miligramos por litro y el límite de cuantificación para el plomo es de 0,14 miligramos por litro.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

La información será recolectada en cada una de las etapas de análisis de estudio y ordenada en dos partes; la primera toda la información acerca de la contaminación que el análisis genera hacia el ambiente exterior y luego toda la información acerca de la contaminación de plomo en el ambiente interno de trabajo.

3.6.1. Concentración de plomo en el dispositivo de seguridad que se tiene en el laboratorio

El laboratorio cuenta con un lavador de gases para impedir que el plomo sea enviado al medio ambiente se tomará muestra cada vez que se realice un análisis de fundición de muestras o de copelación y se monitoreará la cantidad de plomo retenida por el lavador de gases.

Se monitoreará el lavador de gases durante 4 análisis seguidos de oro y plata, y en cada uno de ellos se tomará muestra para determinar la cantidad de plomo retenido. Los puntos donde se tomará muestra son los siguientes:

Figura 3. Lavador de gases



Fuente: Ministerio de Energía y Minas.

Se tomará muestra de estos cuatro puntos para 4 análisis de oro y plata teniéndose 16 análisis en total los cuales se identificarán de la siguiente manera.

Tabla V. **Concentración de plomo en el lavador de gases**

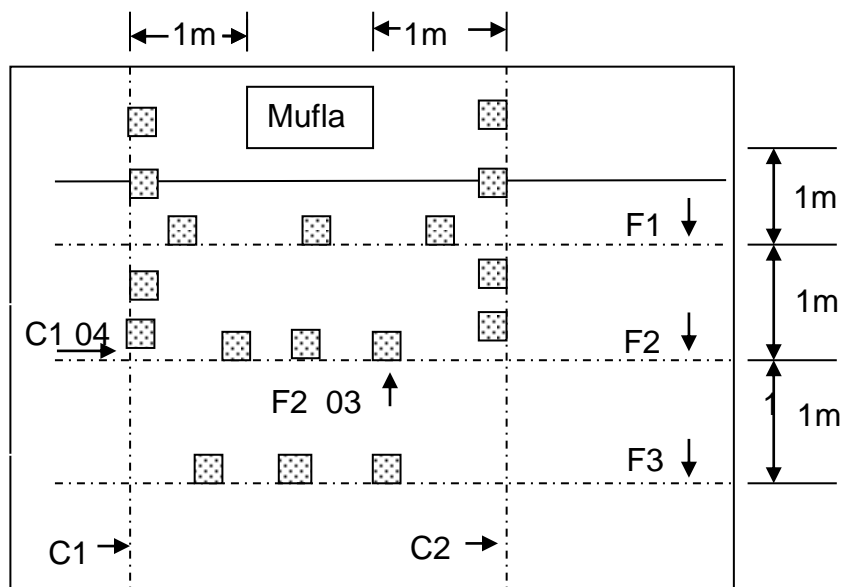
Ducto de la mufla	D1.....D4
Reservorio de aspersión	R1.....R4
Chimenea de salida	C1.....C4
Tanque de Agua	T1T4

Fuente: elaboración propia.

3.6.2. Concentración de plomo en el ambiente de trabajo

Para ello se colocarán filtros en diferentes partes del ambiente de trabajo. A distancias de 1, 2 y 3 metros en frente de la mufla y 1 metro de cada lado de de la mufla en el momento de la fundición y en el momento de la copelación de las muestras.

Figura 4. **Distribución de filtros en el ambiente de trabajo**



Fuente: elaboración propia.

Se realiza el análisis de fundición de muestra, se quitan los filtros y se analiza la cantidad de plomo que cada filtro recolecta.

De igual forma se colocan filtros en las mismas posiciones para el análisis de copelación, se quitan los filtros y se analiza la cantidad de plomo que cada filtro recolecta.

Los filtros se ordenan con el siguiente código

F1 01 = F1 que corresponde a la fila no. 1 frente a la mufla y al primer filtro comenzando de derecha a izquierda

C2 04 = C2 corresponde a la columna no. 2 y el filtro no. 4 iniciando el conteo de arriba hacia abajo

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

El presente estudio de análisis de oro y plata por el método de ensayo al fuego se divide en tres partes específicas, de cada una se obtendrán los siguientes datos.

3.7.1. Concentración de plomo en el dispositivo de seguridad que se tiene en el laboratorio

Para cada análisis en cada uno de los dos procesos (fundición y copelación) se tomó muestras de cada parte del lavador de gases que se encuentra en la terraza del laboratorio y se le hicieron los análisis de plomo.

Tabla VI. **Datos a recolectar en el lavador de gases**

Identificación de muestra	Concentración de plomo (ppm)

Fuente: elaboración propia.

3.7.2. **Concentración de plomo en el ambiente de trabajo**

Los datos que se tabularán en el ambiente de trabajo por medio de filtros que se colocarán dentro del laboratorio y que luego se analizarán por el equipo de absorción atómica es parte de la investigación son:

Tabla VII. **Datos a recolectar en los filtros colocados en el área del ambiente de trabajo**

Identificación del filtro	Distancia de la mufla	Área del filtro aplicado	Tiempo de exposición	Concentración de plomo

Fuente: elaboración propia.

3.8. **Análisis estadístico**

El análisis estadístico de los datos obtenidos de la concentración de plomo en cada etapa, se llevó a cabo por medio de un análisis de la variabilidad en los resultados por medio de varianza utilizando un diseño de bloques aleatorios con la distribución de Fisher, esto debido a que se tratan más de dos niveles.

3.8.1. Varianza

Se desea determinar cuál es la variación de la concentración de plomo, tanto en el ambiente interno de trabajo como en el ambiente externo de trabajo por lo tanto la varianza es “la media de las desviaciones (x) al cuadrado respecto a la media aritmética (x_p) de una distribución estadística.”¹²

$$S^2 = \frac{\sum(x - x_p)^2}{n - 1}$$

3.8.2. Desviación estándar

“La desviación estándar es la raíz cuadrada positiva de la varianza. Es decir, la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de las puntuaciones de desviación.”¹³

$$S = \sqrt{S^2}$$

3.8.3. En el lavador de gases

En el lavador de gases se realizará un análisis de regresión lineal para ver el comportamiento de la concentración de plomo conforme se van realizando los análisis de oro y plata por el método de ensayo al fuego.

Se realizará la gráfica de concentración de plomo respecto de los análisis realizados y se determinará la ecuación de esta relación y su coeficiente de correlación lineal.

¹²JOHNSON, Robert. Estadística elemental. p. 67.

¹³Ibíd.

La exactitud de la línea calculada por la función estimación lineal depende del grado de dispersión de los datos. Cuanto más lineales sean los datos, más exacto será el modelo de la estimación lineal. Este método utiliza el método de los mínimos cuadrados para determinar el mejor ajuste para los datos. Si sólo tiene una variable X independiente, los cálculos para m y b se basan en las fórmulas siguientes:

$$m = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum(x - \bar{x})^2}$$

$$b = \bar{y} - m\bar{x}$$

Donde:

m = es la pendiente de la recta

b = punto de intersección de la línea con el eje x

x = valor conocido concentración de plomo

y = valor conocido número análisis

\bar{y} = es el promedio de los valores de y

\bar{x} = es el promedio de los valores de x

3.8.4. En el ambiente de trabajo

Para el análisis de la concentración de plomo, en el ambiente de trabajo, se realizará un análisis de varianza entre filas y columnas de los filtros colocados dentro del laboratorio por un análisis estadístico ANOVA. Para esto se analizarán las variaciones entre los datos obtenidos de las tres filas y las dos columnas.

Los datos se arreglarán como sigue:

Tabla VIII. **Disposición de los datos para análisis de varianza entre filas de la concentración de plomo en los filtros del ambiente de trabajo**

	Tratamientos			
Filas	01	02	03	Promedio
F1	F1,01	F1,02	F1,03	F1 prom.
F2	F2,01	F2,02	F2,03	F2 prom.
F3	F3,01	F3,02	F3,03	F3 prom.
Promedio	01 prom.	02 prom.	03 prom.	Y

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Disposición de los datos para análisis de varianza entre columnas de la concentración de plomo en los filtros del ambiente de trabajo**

	Columnas		
Tratamientos	Columna 1	Columna 2	Promedio
1	C1,1	C1,2	01 prom.
2	C2,1	C2,2	02 prom.
3	C3,1	C3,2	03 prom.
4	C4,1	C4,2	04 prom.
Promedio	C1 prom.	C2 prom.	Y

Fuente: elaboración propia

Donde:

$F_{i,j}$ y C_{ij} = total de las concentraciones de plomo bajo el i,j -ésimo tratamiento

y = promedio total de las concentraciones de plomo bajo el i,j -ésimo tratamiento

$Y_{a,b}$ = datos obtenidos para cada concentración de plomo bajo cada tratamiento

Generalmente el procedimiento para un diseño de bloque aleatorio consiste en seleccionar b bloques y en ejecutar una repetición completa del experimento en cada bloque, con un solo factor con a niveles. Las observaciones pueden representarse por medio de un modelo estadístico lineal.

$$i = 1, 2, \dots, a$$

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

$$j = 1, 2, \dots, b$$

Donde:

y_{ij} = observación

μ = media general

τ_i = efecto del tratamiento i -ésimo

β_j = efecto del bloque j -ésimo

ε_{ij} = error aleatorio

Los efectos de bloque y tratamiento se definen como desviaciones respecto a la media general. Como el interés es probar la igualdad de los efectos del tratamiento, siendo:

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$$

$$H_1: \tau_i \neq 0 \text{ al menos una } i$$

Las operaciones para el análisis de varianza se resumen en la siguiente tabla, así como las fórmulas para el cálculo de suma de cuadrados.

Tabla X. **Análisis de varianza para el experimento de bloque aleatorio**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F calculada
Tratamientos	SSA	k-1	$S_1^2 = \frac{SSA}{k-1}$	$F_1 = \frac{S_1^2}{S^2}$
Bloques	SSB	b-1	$S_1^2 = \frac{SSA}{b-1}$	
Error	SSE	(k-1)(b-1)	$S^2 = \frac{SSE}{(b-1)k-1}$	
Total	SST	bk-1		

Fuente: WALPOLE, Ronald E. Probabilidad y estadística para ingenieros. p.493.

La hipótesis nula de ningún efecto de tratamiento se prueba mediante la razón de Fisher, que se define como: $F = \frac{MS_{\text{Tratamientos}}}{MS_E}$ donde $MS_{\text{Tratamientos}}$ es la media cuadrática de los tratamientos y MS_E es la media cuadrática del error.

Para el análisis de plomo luego del tratamiento de las muestras estas se leen en el equipo de absorción atómica, donde se realiza primero una curva de calibración utilizando estándares de plomo conocidos para esta curva de calibración se determina el coeficiente de correlación lineal.

4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos para alcanzar los objetivos planteados se muestran a continuación tomando en cuenta el diseño metodológico y el orden de los objetivos de estudio.

4.1. Resultados en el lavador de gases

Se realizó el análisis al lavador de gases que tiene el laboratorio en dos procesos diferentes, el proceso de fundición y el proceso de copelación de donde se obtuvieron los siguientes resultados.

4.1.1. Proceso de fundición

En el proceso de fundición, no se detectó contaminación de plomo al ambiente externo del laboratorio en ninguna de las áreas evaluadas, como se puede observar en las siguientes tablas.

Tabla XI. **Concentración de plomo en el ducto de salida de los gases por el proceso de fundición**

Identificación de la muestra	Concentración de plomo (ppm)
D1	ND
D2	ND
Promedio	ND

Fuente: elaboración propia.

Donde:

ND = no detectable

Tabla XII. **Concentración de plomo en el reservorio de aspersión por el proceso de fundición**

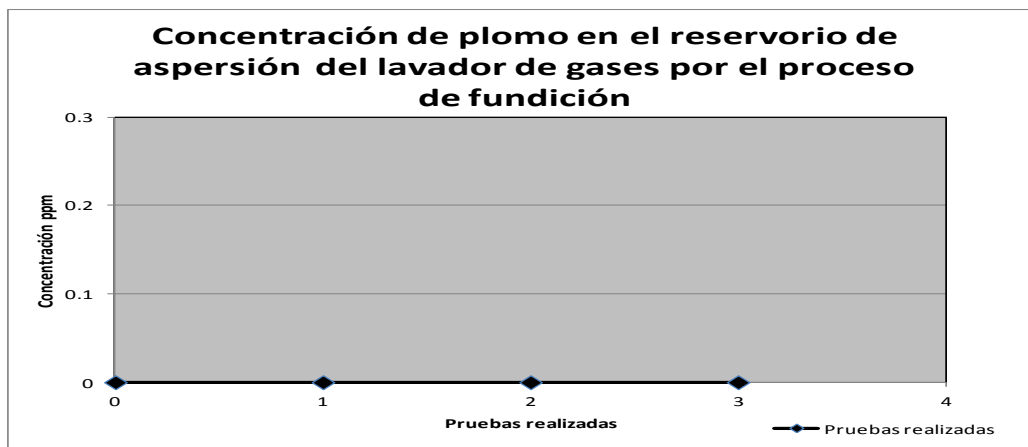
Identificación de la muestra	Concentración de plomo (ppm)
R0	ND
R1	ND
R2	ND
R3	ND

Fuente: elaboración propia.

Donde:

ND = No Detectable

Figura 5. **Concentración de plomo en el reservorio de aspersión del lavador de gases por el proceso de fundición**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Concentración de plomo en el tanque de agua por el proceso de fundición**

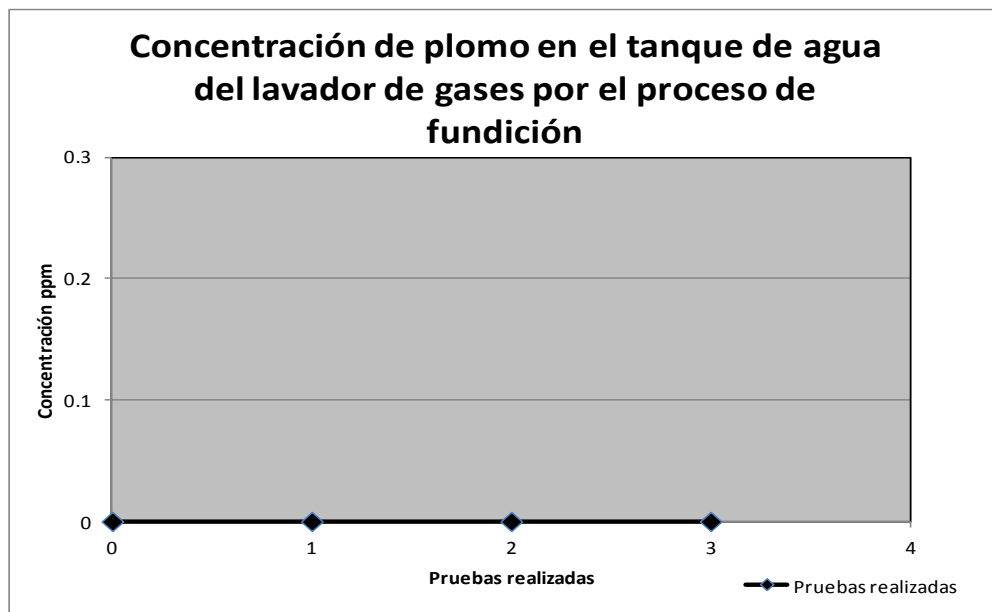
Identificación de la muestra	Concentración de plomo (ppm)
R0	ND
R1	ND
R2	ND
R3	ND

Fuente: elaboración propia.

Donde:

ND = No Detectable

Figura 6. **Concentración de plomo en el tanque de agua del lavador de gases por el proceso de fundición**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Concentración de plomo en la chimenea de salida del lavador de gases por el proceso de fundición**

Identificación de la muestra	Concentración de plomo (ppm)
C1	ND
C2	ND
C3	ND

Fuente: elaboración propia.

Donde:

ND = No Detectable

4.1.2. Proceso de copelación

En el proceso de copelación, la contaminación de plomo al ambiente externo del laboratorio, fue mayor que la contaminación de plomo por el proceso de fundición como se puede observar en las siguientes tablas.

Tabla XV. **Concentración de plomo en el ducto de salida de los gases por el proceso de copelación**

Identificación de la muestra	Concentración de plomo (ppm)
D3	5,25
D4	4,20
Promedio	4,72

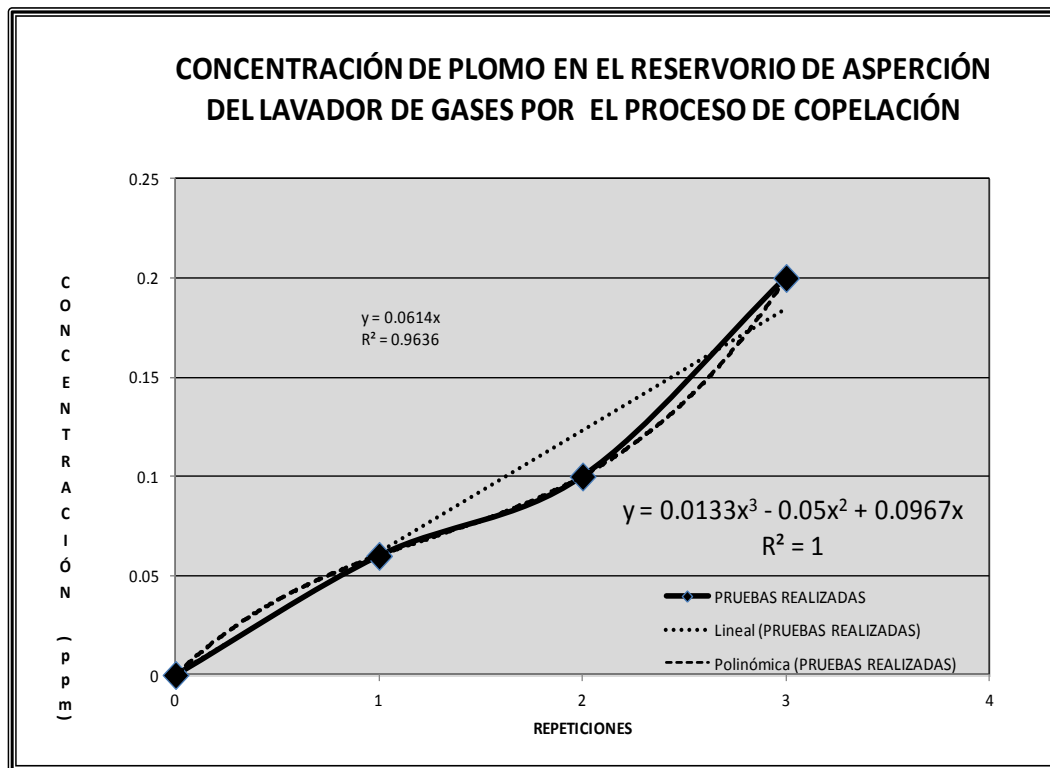
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Concentración de plomo en el reservorio de aspersión por el proceso de copelación**

Identificación de la muestra	Concentración de plomo (ppm)
R0	0,00
R1	0,06
R2	0,10
R3	0,20

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Concentración de plomo en el reservorio de aspersión del lavador de gases por el proceso de copelación**



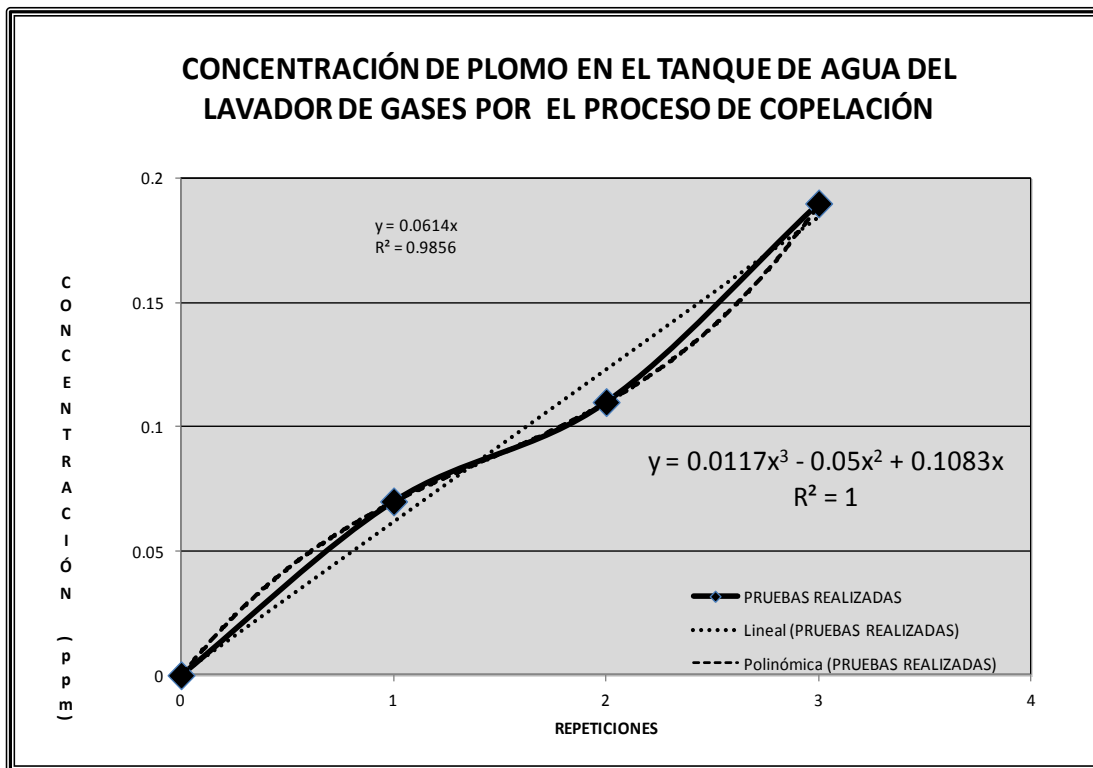
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Concentración de plomo en el tanque de agua por el proceso de copelación**

Identificación de la muestra	Concentración de plomo (ppm)
R0	0,00
R1	0,07
R2	0,11
R3	0,19

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Concentración de plomo en el tanque de agua del lavador de gases por el proceso de copelación**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Concentración de plomo en la chimenea de salida del lavador de gases por el proceso de copelación**

Identificación de la muestra	Concentración de plomo (ppm)
C1	0,30
C2	0,42
C3	0,36
Promedio	0,36

Fuente: elaboración propia.

4.1.3. **Balance de masa en el lavador de gases**

Durante el proceso de fundición la cantidad de plomo que sale del ducto de la chimenea es despreciable, en el tanque de agua y el reservorio de aspersión no se detectó plomo, mientras que para el proceso de copelación se realiza el siguiente balance de masa.

El lavador de gases tiene un volumen de 66,72 litros.

En cada carga de 6 muestras que se realiza en la prueba de ensayo al fuego la concentración del agua aumenta 0,06 miligramos por litro de plomo.

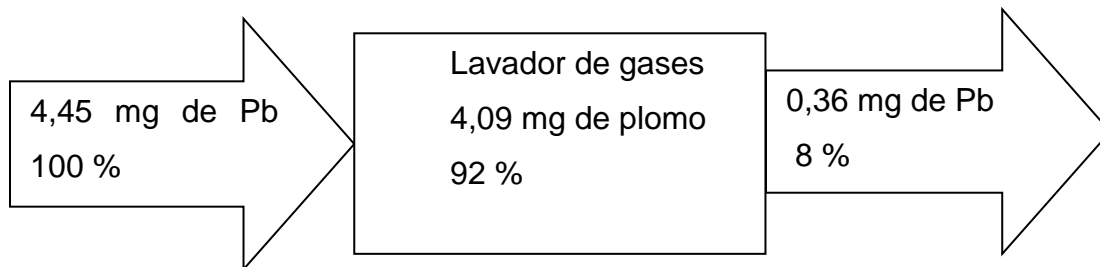
Se puede decir que en el tanque quedan por cada carga:

0,06 miligramos por litro* 66,72 litros = 4,09 miligramos de plomo = 92 %

En la chimenea salen 0,36 miligramos de plomo = 8 %

Total = 4,45 mg de plomo = 100 %

Figura 9. **Balance de masa en el lavador de gases por el proceso de copelación**



Fuente: elaboración propia.

4.2. Resultados en el ambiente interno de trabajo

Se realizó los análisis en el ambiente interno de trabajo del laboratorio en dos procesos diferentes, el proceso de fundición y el proceso de copelación de donde se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla XIX. **Concentración de plomo por filas en el ambiente interno de trabajo por el proceso de fundición**

Filas	Tratamientos (concentración de plomo en ppm)			Promedio
	01	02	03	
F1	0,02	0,04	0,01	0,023
F2	0,06	0,08	0,12	0,087
F3	0,06	0,03	0,05	0,047
Promedio	0,047	0,050	0,060	0,052

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Análisis de varianza de la concentración de plomo por filas en el ambiente interno de trabajo por el proceso de fundición**

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	0,0061556	2	0,003078	4,9027	0,083951	6,94427
Columnas	0,0002889	2	0,000144	0,2301	0,804296	6,94427
Error	0,0025111	4	0,000628			
Total	0,0089556	8				

Fuente: análisis estadístico.

Tabla XXI. **Concentración de plomo por columnas en el ambiente interno de trabajo por el proceso de fundición**

Columnas (Plomo en ppm)			
Tratamientos	Columna 1	Columna 2	Promedio
1	0,50	0,15	0,325
2	0,19	0,07	0,130
3	0,09	0,07	0,080
4	0,18	0,13	0,155
Promedio	0,24	0,10	0,173

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Análisis de varianza de la concentración de plomo por columnas en el ambiente interno de trabajo por el proceso de fundición**

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	0,06785	3	0,022617	2,028	0,288043	9,2766
Columnas	0,03645	1	0,036450	3,269	0,168318	10,1280
Error	0,03345	3	0,011150			
Total	0,13775	7				

Fuente: Análisis estadístico.

Tabla XXIII. **Concentración de plomo por filas en el ambiente interno de trabajo por el proceso de copelación**

Filas	Tratamientos (concentración de plomo en ppm)			Promedio
	01	02	03	
F1	0,23	0,28	0,34	0,283
F2	0,37	0,44	0,34	0,383
F3	0,27	0,93	0,18	0,460
Promedio	0,29	0,55	0,29	0,376

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Análisis de varianza de la concentración de plomo por filas en el ambiente interno de trabajo por el proceso de copelación**

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	0,047089	2	0,023544	0,4489	0,666966	6,94427
Columnas	0,136956	2	0,068478	1,3057	0,366039	6,94427
Error	0,209778	4	0,052444			
Total	0,393822	8				

Fuente: análisis estadístico.

Tabla XXV. **Concentración de plomo por columnas en el ambiente interno de trabajo por el proceso de copelación**

Columnas (Plomo en ppm)			
Tratamientos	Columna 1	Columna 2	Promedio
1	0,50	0,15	0,325
2	0,19	0,07	0,130
3	0,09	0,07	0,080
4	0,18	0,13	0,155
Promedio	0,24	0,11	0,173

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Análisis de varianza de la concentración de plomo por columnas en el ambiente interno de trabajo por el proceso de copelación**

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	0,00485	3	0,001617	0,858	0,548457	9,2766
Columnas	0,04205	1	0,042050	22,327	0,017959	10,1280
Error	0,00565	3	0,001883			
Total	0,05255	7				

Fuente: análisis estadístico.

4.3. Verificación de concentración de plomo en los residuos sólidos

Para esta verificación se colocó una muestra testigo (vaso de fundición y una copela) determinando que el vaso de fundición no cambia de masa al sacarlo del horno de fundición mientras que la copela si pierde humedad, por lo que se procedió antes de hacer las mediciones a quitarle la humedad a todas las copelas.

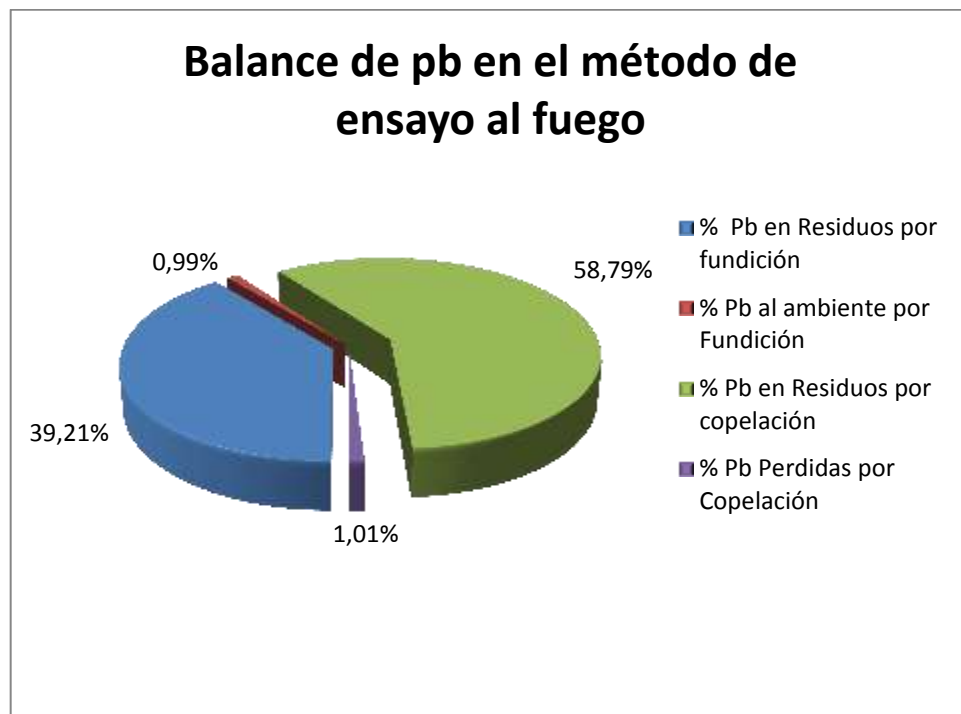
Los porcentajes de la huella de plomo en cada parte del proceso de determinación de oro y plata por el método de ensayo al fuego son los siguientes:

Tabla XXVII. **Porcentaje de plomo en cada parte del proceso de análisis de oro y plata por el método de ensayo al fuego**

% Pb Fundición	% Pb perdidas por Fundición	% Pb Copelación	% Pb Perdidas por Copelación	% Pb Total
39,21	0,99	58,79	1,01	100

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Balance de plomo en el método de ensayo al fuego**



Fuente: elaboración propia.

4.4. Balance de plomo como pérdidas al medio ambiente

Luego de recopilar la información anterior se procede a hacer un balance de pérdidas de plomo en el medio ambiente, tomando en cuenta el ambiente interno de trabajo, el ambiente exterior y el equipo utilizado durante el análisis.

4.4.1. En el proceso de fundición

Por cada carga de 6 análisis se están agregando 234 gramos de plomo, en el proceso de fundición hay una pérdida del 0,99 por ciento que equivale a 2,32 gramos de plomo = 2 320 miligramos de plomo.

Se asume que en el ambiente de trabajo por el proceso de fundición hay un promedio de 0,052 miligramos por litro de plomo en las filas entonces:

$0,052 \text{ miligramos por litro} * 0,1 \text{ litros} = 0,0052 \text{ miligramos de plomo.}$

$0,0052 \text{ miligramos de plomo} / 0,03 \text{ metros cuadrados} = 0,173 \text{ miligramos de plomo por metro cuadrado.}$

Donde:

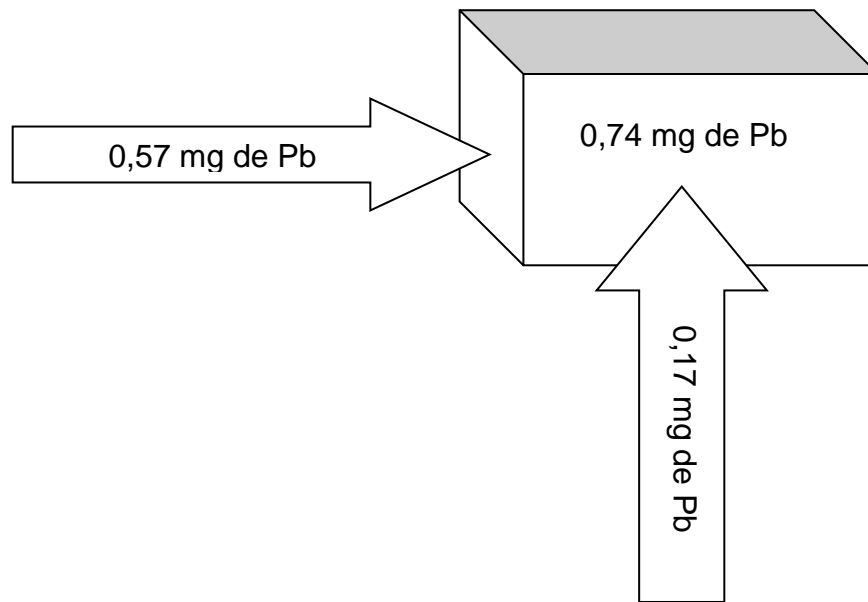
0,03 metros cuadrados es el área del filtro utilizado para capturar el plomo.

Usando el mismo procedimiento en las columnas habría:

0,577 miligramos de plomo por metro cuadrado.

En 1 metro cúbico estaría ingresando $0,17 + 0,57 = 0,74$ miligramos de plomo.

Figura 11. **Concentración de plomo por metro cúbico en el proceso de fundición**



Fuente: elaboración propia.

Si el ambiente de trabajo tiene 110 metros cúbicos se tendría un total de 81,4 miligramos de plomo en el ambiente de trabajo por fundición.

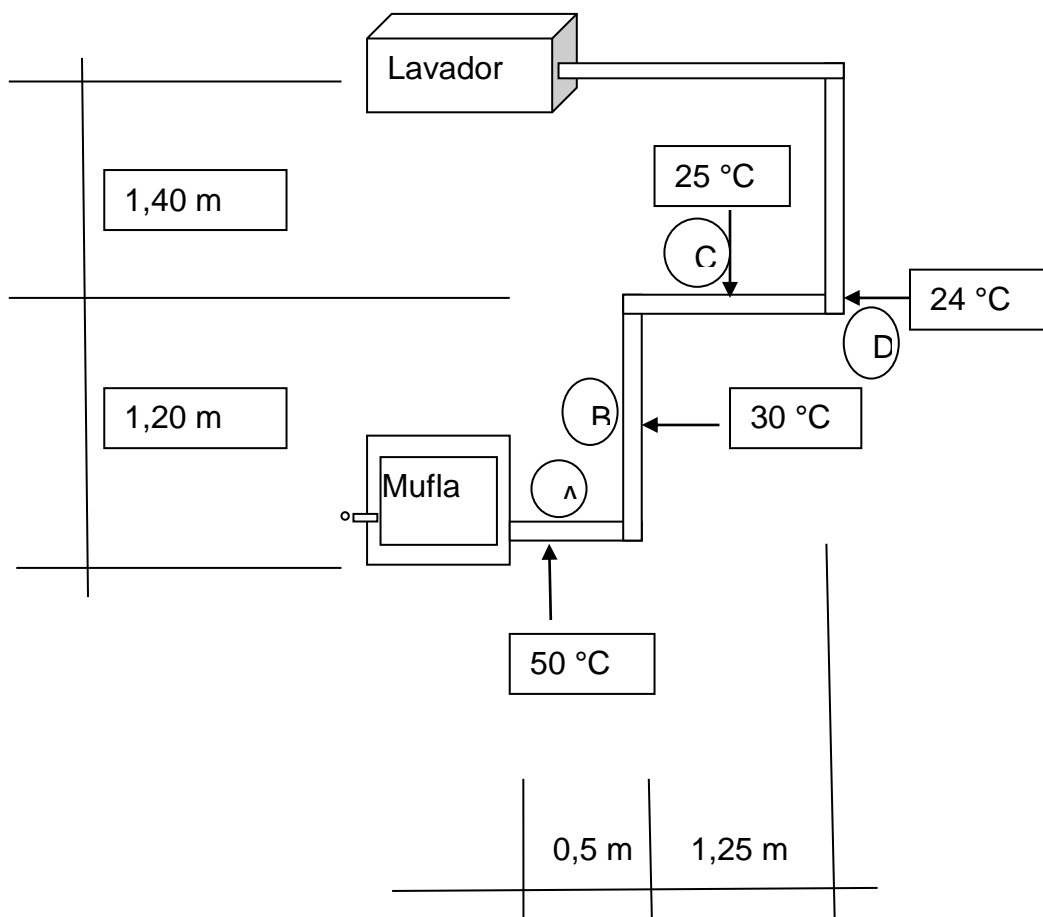
Se van al ambiente exterior 0 miligramos de plomo esto hace un total de 81,4 miligramos de plomo.

Si la pérdida por copelación es de 2 320 miligramos de plomo

Faltan $2\,320 \text{ miligramos} - 81,4 \text{ miligramos} = 2\,238,6 \text{ miligramos}$ de plomo

En vista de lo anterior se procedió a medir las temperaturas en el ducto de salida de gases del horno durante el proceso de fundición dando los siguientes datos:

Figura 12. **Temperaturas en el ducto de salida del horno hacia el lavador de gases por el proceso de fundición**



Fuente: elaboración propia.

Debido a que en el punto C la temperatura disminuye casi igualando la temperatura ambiente es probable que una parte del plomo quede atrapada en esta parte del ducto.

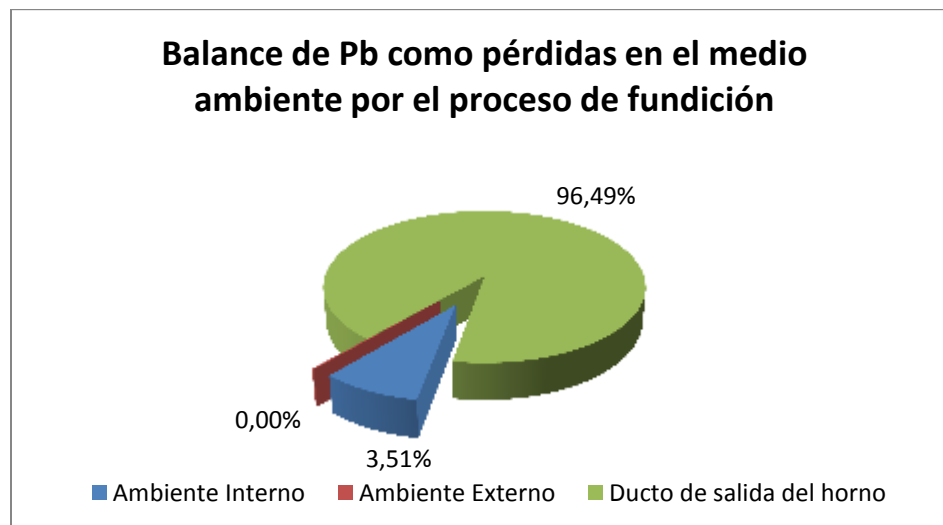
Realizando el balance de pérdidas por fundición finalmente queda:

Tabla XXVIII. **Balance de Pb como pérdidas en el ambiente por el proceso de fundición**

	Ambiente Interno	Ambiente Externo	Ducto del horno	Total
En miligramos	81,4	0	2 238,6	2 320
En porcentaje	3,51	0	96,49	100

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Balance de Pb como pérdidas en el ambiente por el proceso de fundición**

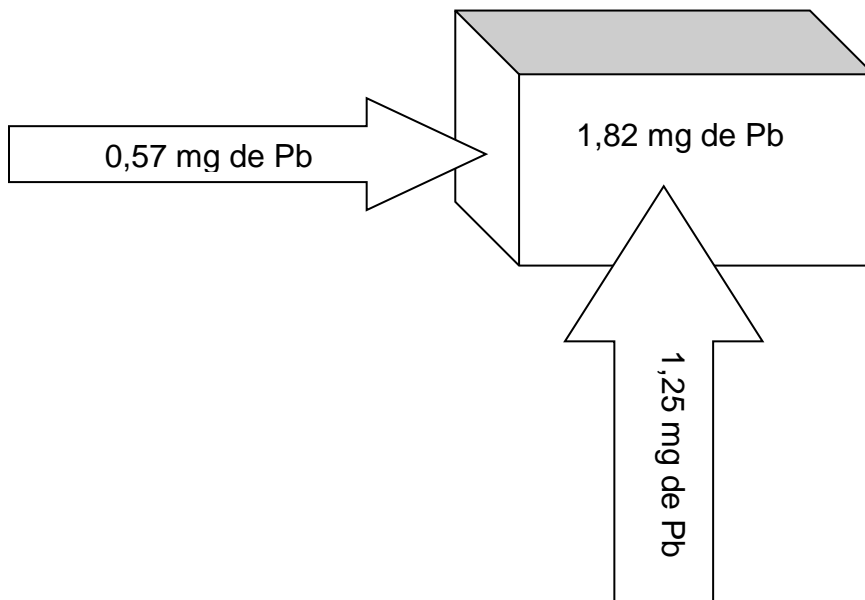


Fuente: elaboración propia.

4.4.2. En el proceso de copelación

Los cálculos realizados en el proceso de copelación son los mismos realizados en el proceso de fundición, en esta etapa se presentan solo las tablas y gráficas de los resultados.

Figura 14. **Concentración de plomo por metro cúbico en el proceso de copelación**



Fuente: elaboración propia.

1,82 miligramos por metro cúbico equivalen a 200,2 miligramos de plomo en el ambiente de trabajo.

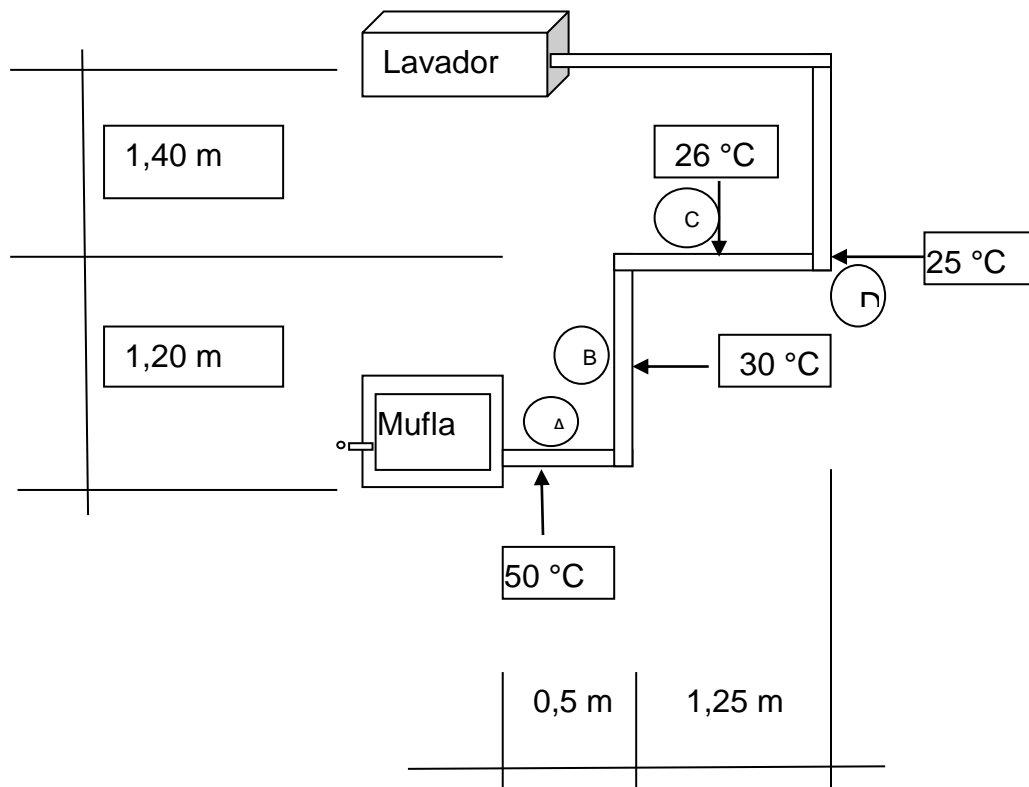
Si se van al ambiente exterior 4,45 miligramos de plomo esto hace un total de 204,65 miligramos de plomo.

Si la pérdida por copelación es de 2 360 miligramos de plomo.

Faltan $2\ 360 - 204,65 = 2\ 155,35$ miligramos de plomo.

También se procedió a medir las temperaturas en el ducto de la mufla en el proceso de copelación dando los siguientes resultados:

Figura 15. **Temperaturas en el ducto de salida del horno hacia el lavador de gases por el proceso de copelación**



Fuente: elaboración propia.

Debido a que en el punto C la temperatura disminuye casi igualando la temperatura ambiente es probable que una parte de óxido de plomo quede atrapada en esta parte del ducto.

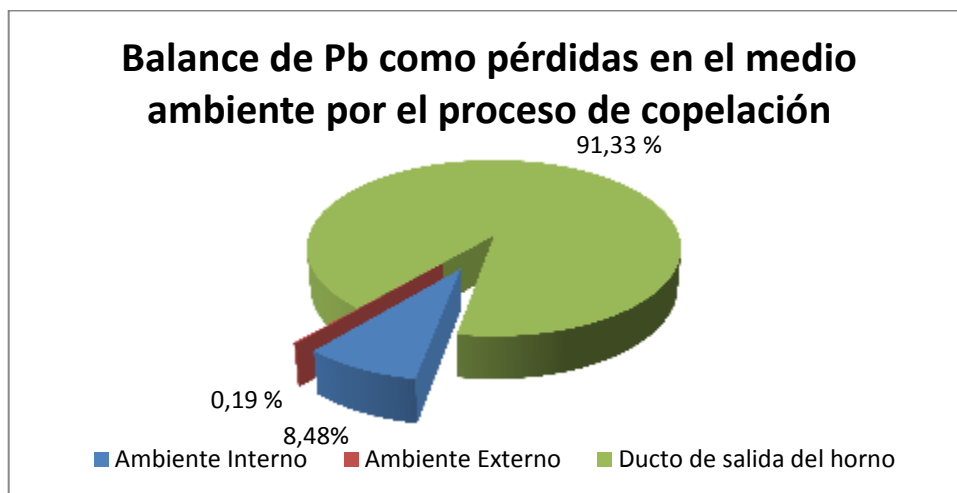
Realizando el balance de pérdidas por copelación finalmente queda:

Tabla XXIX. **Balance de Pb como pérdidas al ambiente por el proceso de copelación**

	Ambiente Interno	Ambiente Externo	Ducto del horno	Total
En miligramos	200,2	4,45	2155,35	2360
En porcentaje	8,48	0,19	91,33	100

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Balance de Pb como pérdidas en el medio ambiente por el proceso de copelación**



Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se tuvo como uno de los objetivos, que evaluar el lavador de gases para evitar la contaminación de plomo al ambiente exterior del laboratorio.

En el balance general del lavador de gases se pudo observar que es muy poca la cantidad de plomo que llega a este, especialmente en el proceso de fundición ya que sus valores no son detectados.

Esto se vio reflejado cuando se realizaron los análisis de plomo en el tanque de agua, en el reservorio de aspersion y en la chimenea de salida del lavador de gases, ya que no se detectó plomo en estos análisis.

Cuando se realizó el balance de plomo en el lavador de gases por el proceso de copelación la cantidad de plomo que llegó a este fue mayor; sus valores oscilaron entre 4,20 y 5,25 partes por millón valores que son mucho mayores que el límite de cuantificación -0,12 partes por millón- del equipo de absorción atómica.

De estas cantidades que llegan al lavador de gases el 92 por ciento se queda en el agua del lavador y un 8 por ciento sale al ambiente exterior. Se observa durante el análisis que cuando el lavador de gases estaba funcionando salía una pequeña cantidad de niebla de agua por la chimenea de salida del lavador de gases, la cual arrastra plomo que ya ha absorbido el agua y esto podría minimizarse si se cambia el diseño del reservorio de aspersion, ya sea modificando su tamaño y/o colocando deflectores para impedir el arrastre de agua con plomo hacia la chimenea del lavador de gases.

Otro de los objetivos fue determinar la concentración de plomo en el ambiente de trabajo donde se realiza el análisis de oro y plata por el método de ensayo al fuego.

Se observa que por el proceso de fundición la contaminación en el ambiente interno de trabajo es menor que en el proceso de copelación.

En el proceso de fundición los valores de concentración de plomo varían, la concentración de plomo tiende a ser mayor en las columnas que en las filas y al realizar el análisis estadístico entre las filas y entre columnas de los filtros colocados, se comprobó por medio del factor de Fisher que las variaciones son grandes y que estadísticamente se puede tomar este valor como un valor promedio de la concentración de plomo en todo el ambiente de trabajo.

Por las variaciones da la idea de una forma cualitativa de que hay contaminación de plomo en el ambiente de trabajo por el proceso de fundición de un aproximado de 0,74 miligramos de plomo por metro cúbico y en el proceso de copelación de un aproximado de 1,82 miligramos de plomo por metro cúbico y que sobrepasan los límites de exposición establecidos por la OSHA, la NIOSH y la ACGIH que es de 0,05 miligramos por metro cúbico.

Es posible que la contaminación de plomo tienda a irse a los lados del laboratorio por corrientes de aire que arrastran las partículas y las lleva hacia las orillas.

Al analizar el proceso de copelación la contaminación es mayor, la contaminación de plomo tiende a irse al centro del cuarto del laboratorio en este proceso se trabaja con el regulo que es plomo puro mientras que en el

proceso de fundición el plomo va mezclado con otros reactivos que hacen que el plomo sea reducido a su estado elemental.

Al realizar el balance de plomo se asumió que gran parte queda en la tubería del horno debido a que la temperatura en la tubería desciende rápidamente y el plomo puede precipitar en este lugar.

También se realizó una verificación de la huella que deja el plomo durante en todo el proceso de análisis de oro y plata por el método de ensayo al fuego y se comparó con los resultados obtenidos en el trabajo de graduación realizado por el ingeniero Marvin Cano y se observaron diferencias en las pérdidas al ambiente de óxido de plomo, en los resultados del ingeniero Marvin Cano se tuvieron pérdidas del 6 por ciento mientras que en el proceso se tuvieron pérdidas del 2 por ciento aproximadamente, esto se debió a que los procesos y los ambientes de trabajo eran diferentes.

El ingeniero Marvin Cano trabajó con cargas de 36 muestras mientras en el proceso se trabajaron cargas con 6 muestras, en el proceso del ingeniero Marvin Cano se agregaba 94,5 gramos de óxido de plomo por muestra mientras que en el proceso se agregó 42 gramos de óxido de plomo.

Por último al realizar el balance de masa de plomo que se pierde en el ambiente se asume que en el proceso de fundición la mayor parte de plomo queda en la tubería de salida del horno que va al lavador de gases, esto se debe a que los vapores de plomo en la fundición salen lentamente ya que el óxido está mezclado con otros reactivos mientras que en el proceso de copelación el plomo esta elemental en el horno y las concentraciones de plomo son mayores.

CONCLUSIONES

1. El lavador de gases instalado para el método de ensayo al fuego absorbe el 92 por ciento del plomo que pasa por él.
2. El mayor riesgo de contaminación de plomo para una persona se da en el ambiente de trabajo durante el proceso de copelación.
3. La contaminación de plomo en el ambiente de trabajo, sobrepasa los límites permitidos por normas internacionales.
4. El laboratorio del Ministerio de Energía y Minas no cuenta con la seguridad necesaria para el análisis de oro y plata por el método de ensayo al fuego.
5. La contaminación de Pb en el ambiente de trabajo no es homogénea y depende de corrientes de aire que puedan haber en el lugar.

RECOMENDACIONES

1. Mejorar el diseño del lavador de gases agrandando el reservorio de aspersión y/o colocar deflectores para impedir que salga el agua con plomo de la chimenea del lavador de gases.
2. Colocar un extractor de gases sobre el horno que se usa para el análisis de oro y plata por el método de ensayo al fuego lo suficientemente potente, con filtro de carbón activado para que se elimine los vapores de plomo en el ambiente interno de trabajo.
3. Hacer un estudio para la eliminación de desechos –copelas, vasos de fundición y escoria- y que estos no dañen el medio ambiente.
4. Realizar una limpieza periódica con el equipo de seguridad necesario del ducto que sale del horno hacia el lavador de gases para eliminar residuos de plomo que allí queden.
5. Realizar el análisis de oro y plata con el equipo de seguridad necesario overol con manga larga, guantes largos recubiertos de aluminio, mascarilla de gases y careta.

BIBLIOGRAFÍA

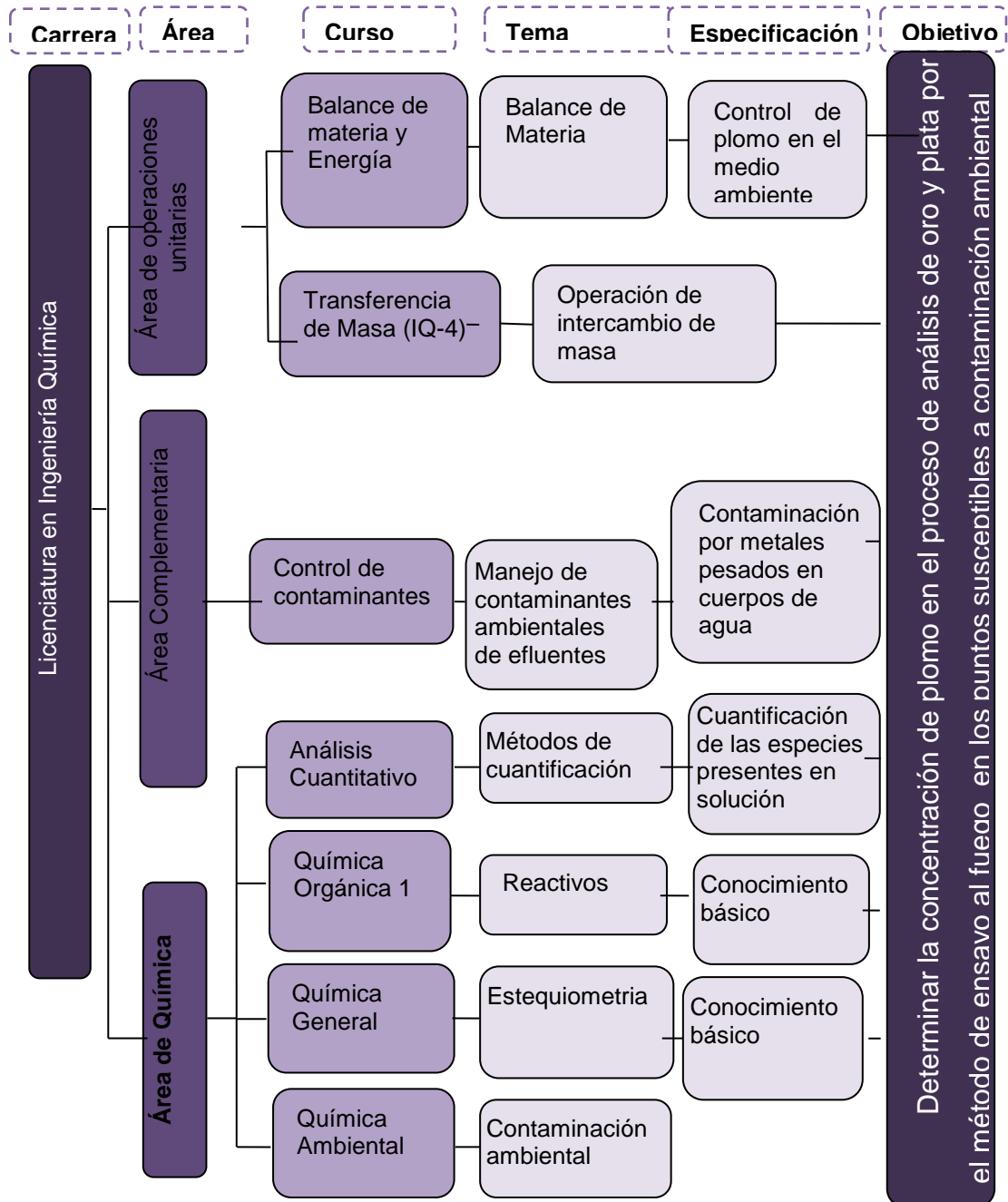
1. ALBIANO, Nelson. *Toxicología laboral*. Buenos Aires, argentina:
Ed. Superintendencia de Riesgos de Trabajo, 2011, 399 p.
2. DICK, J. G. *Química analítica*. Hill de V. Beatriz S. (trad.) México: Ed.
El Manual Moderno, S.A., 1979. 320 p.
3. EDWARD E. Bugbee. *Textbook of fire assaying*. 3a ed. Reno, Nevada:
Publisher Metallurgical Laboratory, 1940. 420 p.
4. HERNANDEZ, Carlos. *Determinación de oro y plata por ensayo al
Fuego*, Servicio Geológico mexicano. México: 10 p.
5. *Hoja informativa de sustancias peligrosas*. NJ health, New Jersey
Department Health [en línea]
[http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents /fs/1096sp-.pdf](http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1096sp-.pdf)
Consulta: 6 de noviembre de 2013
6. JOHNSON, Robert. *Estadística elemental*. 3a ed. México : Thomson,
2004. p. 509. ISBN 970-686-287-0.
7. PERKIN, Elmer. *Analytical methods for absorption Spectrometry*. United
States of America: The perkin elmer corporation, 1994.
300 p.

8. VALDIVIA, Infantas Melinda. *intoxicación por plomo*. [en línea]
<http://www.-scielo.org.pe/pdf/rspmi/v18n1/a05v18n1.pdf>
Consulta:6 de noviembre de 2013

9. WARPOLE, Ronald; MYERS, Raymond; MYERS Sharon. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. Ricardo Cruz (trad.). 6a ed. México: Prentice-Hall, 1999. p. 739. ISBN 970-17-0264-6.

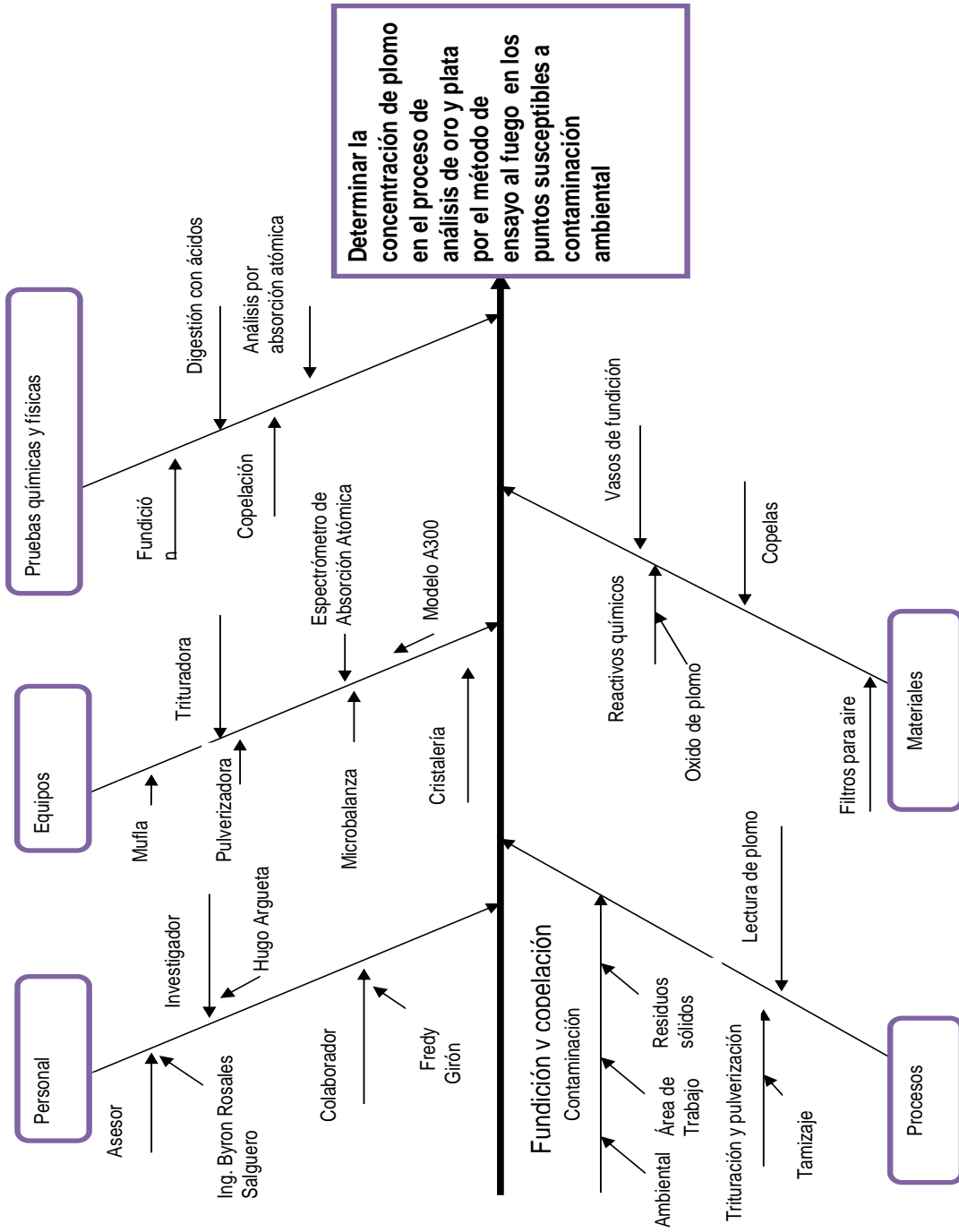
APÉNDICE

Figura 17. **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Figuras de monitoreo de plomo en el medio ambiente

Figura 19. **Monitoreo en el lavador de gases**



Fuente: Ministerio de Energía y Minas

Continuación de la figura 19.



Fuente: Ministerio de Energía y minas

Figura 20. **Monitoreo en el ambiente de trabajo**



Fuente: Ministerio de Energía y Minas.

Continuación de la figura 20.



Fuente: Ministerio de Energía y minas.

Figura 21. **Residuos del análisis de oro por ensayo al fuego**



Fuente: Ministerio de Energía y minas.

