

**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PST, PLOMO, BARIO Y  
ANTIMONIO PRESENTES EN LA NUBE DE HUMOS GENERADA POR  
DISPARO DE ARMAS DE FUEGO EN RECINTOS CERRADOS.**

**MARIO FABER CUARTAS RANGEL  
NANCY YESENIA ORTIZ CÁCERES**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE QUÍMICA  
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA**

**2010**

**CONCENTRACIÓN DE PST, PLOMO, BARIO Y ANTIMONIO PRESENTES EN  
LA NUBE DE HUMOS GENERADA POR DISPARO DE ARMAS DE FUEGO EN  
RECINTOS CERRADOS.**

**MARIO FABER CUARTAS RANGEL  
NANCY YESENIA ORTIZ CÁCERES**

Monografía presentada como requisito para optar al título de  
**ESPECIALISTA EN QUÍMICA AMBIENTAL**

**DIRECTORA  
MARIANNY YAJAIRA COMBARIZA  
Química, Ph. D.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE QUÍMICA  
ESPECIALIZACIÓN QUÍMICA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA**

**2010**

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	17
1. ANTECEDENTES	18
2. CONTEXTUALIZACIÓN BÁSICA	20
2.1. LUGAR DE MUESTREO	20
2.2. MEDIDAS DE SEGURIDAD EN EL CUARTO RECUPERADOR DE PROYECTILES	22
2.2.1. Documentos Informativos	22
2.2.2. Elementos De Protección Personal	23
2.2.3. Elementos De Reacción	24
3. FUNDAMENTACIÓN DE LAS MEDICIONES	26
3.1. SELECCIÓN DE ARMAS DE FUEGO	26
3.1.1. Arma De Fuego Numero Uno	27
3.1.2. Arma De Fuego Numero Dos	28
3.2. SELECCIÓN DE LA MUNICIÓN	28
3.2.1. Munición Para El Revolver	29
3.2.2. Munición Para La Pistola	30
3.3. DETERMINACIÓN DE LOS CONTAMINANTES A MEDIR	32
3.3.1. Contaminantes Generados Por Las Detonaciones	32
3.4. DETERMINACIÓN DEL MÉTODO PARA REALIZAR LAS MEDICIONES	34
3.4.1. Partículas Suspendidas Totales (PST)	34
3.4.2. Metales: Plomo, Bario Y Antimonio	36

3.4.3. Mediciones De Ruido	37
3.4.4 Mediciones De Luz	38
3.4.5. Medición De Temperatura Y Humedad	39
4. MEDICIÓN DE LOS CONTAMINANTES	40
4.1. UBICACIÓN DEL MUESTREADOR HI-VOL	40
4.2. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS	41
4.2.1. Preparación De Los Filtros	41
4.2.2. Toma De Muestras	42
4.2.3. Extracción De Los Metales De La Muestra Colectada	45
5. VALORES LIMITE AMBIENTALES (VLA)	49
5.1. VALORES DE REFERENCIA AMBIENTALES EN EL MUNDO	49
5.2. VALORES DE REFERENCIA AMBIENTALES EN COLOMBIA	51
6. RESULTADOS	53
6.1. RESULTADOS IN SITU	53
6.2. RESULTADOS MEDIDOS EN LABORATORIO	54
6.3. CALCULO DE LOS RESULTADOS	55
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS	56
CONCLUSIONES	62
BIBLIOGRAFÍA	63

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Tanque recuperador de proyectiles	21
Figura 2. Documentos informativos de seguridad	22
Figura 3. Elementos de protección personal	24
Figura 4. Elementos de reacción	25
Figura 5. Vistas lateral y superior del Revolver	27
Figura 6. Vistas lateral y superior de la Pistola	28
Figura 7. Munición Calibre 38 Especial (Largo)	29
Figura 8. Munición Calibre 9mm	31
Figura 9. Constitución de un cartucho	33
Figura 10. Muestreador de aire de alto volumen HI-VOL	35
Figura 11. ICP- MS Hewlett Packard 4500 series 300	36
Figura 12. Sonómetro	37
Figura 13. Luxómetro	38
Figura 14. Termo higrómetro digital	39
Figura 15. Ubicación del Muestreador HI-VOL en el cuarto recuperador de proyectiles	40
Figura 16. Muestreador HI-VOL a 0.44 m respecto a la boca de fuego del arma	41
Figura 17. Pesado del filtro	42
Figura 18. Ubicación del Filtro	42
Figura 19. Preparación arma de fuego	43
Figura 20. Realización de los disparos	43
Figura 21. Medición de las condiciones ambientales y el ruido.	44
Figura 22. Retiro del Filtro	44
Figura 23. Picado del Filtro	45

Figura 24. Extracción de los metales del filtro	45
Figura 25. Filtración	46
Figura 26. Compresión del filtro	47
Figura 27. Análisis Instrumental con ICP-MS	47
Figura 28. Gráfica de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de SST en pistola y revolver a dos distancias	56
Figura 29. Gráfica de contaminantes en Pistola a dos distancias	57
Figura 30. Porcentaje de los contaminantes presentes en el aire al disparar con pistola	57
Figura 31. Gráfica de contaminantes en revolver a dos distancias	58
Figura 32. Porcentaje de los contaminantes presentes en el aire al disparar con revolver.	59
Figura 33. Gráfica de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de Antimonio en pistola y revolver a dos distancias	59
Figura 34. Gráfica de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de Bario en pistola y revolver a dos distancias	60
Figura 35. Gráfica de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de Plomo en pistola y revolver a dos distancias	61

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Armas de fuego disparadas en el tanque recuperador de proyectiles	26
Tabla 2. Características generales de la munición para revólver	30
Tabla 3. Características generales de la munición para pistola	32
Tabla 4. Valores de referencia ambientales considerados en el mundo	49
Tabla 5. Valores de referencia ambientales de ACGIH	51
Tabla 6. Valores límites permisibles para la exposición ocupacional al ruido	52
Tabla 7. Parámetros medidos in situ	53
Tabla 8. Parámetros medidos en el laboratorio	54
Tabla 9. Resultados Finales	55

## GLOSARIO

**ARMA DE FUEGO:** Es la que utiliza la energía mecánica de los gases producidos por la deflagración de las pólvoras, para lanzar un proyectil a distancia.

**BALÍSTICA FORENSE:** es la rama de la Criminalística que se encarga del estudio de las armas de fuego, de los fenómenos en el momento del disparo, de los casquillos percutidos, de los proyectiles disparados, su trayectoria y los efectos que producen.

**CARTUCHO:** Es el contenedor que en forma conjuntiva, lo integran, el casquillo, el proyectil, propelente y fulminante.

**CASQUILLO O VAINILLA:** Es el envase metálico que permite trabajar a altas presiones y después de percutido, es de fácil extracción.

**DECIBEL (dB):** es la unidad de nivel de presión de sonido que expresa la relación entre la presión de un sonido cualquiera y un sonido de referencia en escala logarítmica.

**EMP-EF:** Elemento físico material probatorio y evidencia física

**FULMINANTE:** Sustancia que contiene el cartucho encargada de comenzar la ignición. Consiste en una mezcla química altamente explosiva, que produce una deflagración al ser golpeada. Esta pequeña explosión provoca una llamarada que comunica el fuego a la carga de pólvora iniciando una reacción química que la convierte en gas y la expansión de los gases produce un aumento de volumen que se traduce en presión que impulsará el proyectil.

**NIVEL DE ILUMINACIÓN (E):** Es la relación de flujo luminoso incidente en una superficie por unidad de área, expresada en lux. De esta magnitud depende la mayor o menor claridad con que vemos los objetos.

**NIVEL DE PRESIÓN SONORA:** es la característica que permite oír un sonido a mayor o menor distancia e indica la cantidad de energía que transporta el sonido para su propagación. A mayor nivel de presión sonora, mayor es la probabilidad del daño auditivo.

**PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST).** Son partículas menores a 100 µm son colectadas a una velocidad de flujo de 1.13-1.70 m<sup>3</sup>/min (40-60 ft<sup>3</sup>/min) usando convencionalmente un muestreador de alto volumen.

**PÓLVORA:** Es el propelente o carga propulsora del cartucho, cuya misión es impulsar el proyectil, facilitándole el empuje necesario para que esta recorra su trayectoria.

**PROYECTIL:** Bala u ojiva lanzado por un arma de fuego, que utiliza la fuerza de los gases producidos por la combustión de la pólvora de un cartucho para alcanzar gran velocidad.

**PST:** partículas suspendidas totales

**RUIDO:** Es un sonido no deseado que por sus características es susceptible a producir daño en la salud y al bienestar humano.

**RUIDO DE IMPACTO:** Son de corta duración, con niveles de alta intensidad que aumentan y decaen rápidamente en menos de 1 segundo, presenta diferencias mayores a 35dB(A) entre los valores máximos y mínimos

**TANQUE RECUPERADOR DE PROYECTILES:** Tanque que contiene agua con el objeto de disipar la energía cinética de los proyectiles disparados con un arma de fuego.

## RESUMEN

**TITULO:** DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACION DE PST, PLOMO, BARIO Y ANTIMONIO PRESENTES EN LA NUBE DE HUMOS GENERADA POR ARMAS DE FUEGO – EN RECINTOS CERRADOS\* .

**AUTORES:** CUARTAS RANGEL Mario Faber, ORTIZ CÁCERES Nancy Yesenia.\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Armas de fuego, contaminantes atmosféricos, metales pesados, calidad del aire “*in door*”.

### DESCRIPCIÓN

En Colombia no existe definida una metodología para la medición de contaminantes presentes en el aire en recintos cerrados. En el presente estudio se establece el grado de contaminación química y sonora producida por el disparo de armas de fuego en un recinto cerrado. Esta actividad se ejecuta rutinariamente por los balísticos de la Fiscalía general de la Nación como apoyo a la investigación criminal.

Inicialmente se identificaron los principales contaminantes presentes en el aire generados por emisión de gases calientes al momento de disparar un arma de fuego (revolver y pistola) y para su recolección se usó un muestreador de aire de alto volumen, el cual se ubicó a dos diferentes distancias con respecto a la boca de fuego de las armas utilizadas para el estudio (0.5 m y 1.65m).

Los sólidos suspendidos totales se determinaron gravimétricamente por diferencia de peso, para la cuantificación de los metales Bario, Plomo y Antimonio se empleo la técnica analítica Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo ICP-MS.

La contaminación acústica se determinó mediante un sonómetro digital y para medición de las condiciones ambientales asociadas a mismo ejercicio, humedad, Temperatura y luz se uso un Hidrómetro y Luxómetro respectivamente.

Posteriormente se compararon los resultados obtenidos de las mediciones con las normas internacionales con el fin de diagnosticar el impacto sobre el personal.

---

\* Proyecto De Grado

\*\* UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, Escuela de QUÍMICA, Especialización en QUÍMICA AMBIENTAL, Directora: COMBARIZA, Marianny Yajaira.

## ABSTRACT

TITLE: DETERMINATION OF THE CONCENTRATION OF SPT, LEAD, BARIUM AND ANTIMONY IN THE CLOUD OF SMOKE GENERATED BY FIRING OF FIREARMS- INDOORS. \*

AUTHORS: CUARTAS RANGEL, Mario Faber and ORTIZ CÁCERES, Nancy Yesenia\*\*

KEY WORDS: Firearms, atmospheric pollutants, heavy metals, air quality, in door.

### SUMMARY

There is defined a methodology in Colombia, for the measurement of contaminants in indoor air, in the present study measured the chemical and noise pollution due to fire in an enclosed area, an activity that is developed by the ballistic the General Prosecutor of the Nation to support the criminal investigation.

Initially identified the main pollutants in the air generated by hot gas emission when firing a firearm (revolver and pistol) and was used for collecting an air sampler, high volume, which was located 0.5 m of the muzzle of the gun and 1.65 meters from it.

Total suspended solids were determined gravimetrically by difference in weight, for quantification of the metals barium, lead and antimony use the analytical technique Mass Spectrometry Source Inductively Coupled Plasma ICP-MS.

Noise pollution was determined by a digital sound level meter and measuring conditions environments associated with the same exercise, humidity, Temperature and light and use a Hydrometer Light meter respectively.

Then compared the results obtained measurements to international standards (The National Institute for Occupational Safety and Health NIOSH, Occupational Safety and Health Administration OSHA, National Institute for Safety and Health at Work INSHT and The American Conference of Governmental industrial Hygienists ACGIH) in order to diagnose the impact on staff.

---

\* Work degree

\*\* UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, Chemical Shool. Environmental Chemical Specialist . Director: COMBARIZA, Marianny Yajaira.

## INTRODUCCIÓN

Dentro de las actividades realizadas por los laboratorios de balística de la fiscalía general de la nación, para determinar si un arma fue usada en la comisión de un delito, están las pruebas que se llevan a cabo en el cuarto recuperador de proyectiles. En este lugar los balísticos realizan disparos en forma repetitiva con la finalidad de comparar las marcas dejadas por el arma en los proyectiles disparados y sus vainillas con los recolectados en el lugar de los hechos o recuperados en necropsia. Estas comparaciones permiten definir la procedencia del disparo.

La importancia que tiene la actividad que se lleva a cabo en el cuarto recuperador de proyectiles es indiscutible, sin embargo es necesario asegurar que la actividad se realiza con el mínimo riesgo a la salud del técnico balístico que la ejecuta. Durante las pruebas de disparo se generan productos como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, plomo, bario, antimonio y cobre y compuestos orgánicos no quemados, que al ser inhalados o penetrar en la piel de los tiradores puede causar serios problemas de salud aún mas cuando las exposiciones, en el caso de los balísticos que trabajan en el cuarto recuperador de proyectiles, han sido sistemáticas y pueden ocasionar contaminación aguda <sup>(32,,33,,34)</sup>. También se producen altos niveles ruido que pueden conducir a la pérdida de audición y otros efectos colaterales. Por estas razones resulta apropiado determinar las condiciones ambientales en el cuarto recuperador de proyectiles de la Fiscalía General de la Nación en Bucaramanga, durante la ejecución de las actividades de disparo, y contrastarlas con las normas ambientales vigentes a nivel nacional o internacional, para este tipo de labor.

## 1. ANTECEDENTES

La mayoría de los estudios sobre la medición de contaminantes en el aire en recintos cerrados está referida al domiciliario y ocupacional (en oficinas, entornos de la construcción). En estos lugares los contaminantes se emiten por máquinas, productos de belleza y limpieza, actividades de construcción, alfombras, muebles, pinturas, etc.

Además del sector de la construcción, a nivel nacional e internacional industrial se han hecho estudios donde se miden los de contaminantes metálicos presentes en el aire, generados en industrias de las imprentas, construcción, metalúrgica, cementeras<sup>(5, 6, 7)</sup>. Pero estudios específico acerca de las emisiones de plomo, bario y antimonio y ruido en campos de tiro en recintos cerrados han sido desarrollados por: el Centro de Salud Ambiental de la Marina de Guerra de los Estados Unidos<sup>(18)</sup>, el Centro de investigación de la policía de Canadá y el Departamento de Salud<sup>(2)</sup> y Servicios Humanos de Estados Unidos en unión con el Instituto Nacional de Higiene y Seguridad Ocupacional (NIOSH)<sup>(8)</sup>, Colombia se carece de investigaciones científicas al respecto.

En cuanto a la legislación en Colombia, si bien existe un marco normativo general en materia de salud y seguridad en el Trabajo, Decreto 2566 de 2009 (Enfermedades profesionales)<sup>(14)</sup>, Decreto 2222 de 1993(Reglamento de Higiene y Seguridad en las Labores Mineras a Cielo Abierto)<sup>(13)</sup>, Resolución 001792 DE 1990(valores límites permisibles para la exposición ocupacional al ruido)<sup>(17)</sup>, Resolución 2400-1979 (Estatuto de Seguridad Industrial en Colombia<sup>(16)</sup>), donde se estipula en el artículo 154, capítulo VIII la aplicación de los criterios de la ACGIH (The American Conference of Governmental industrial Hygienists) de salud para los valores limites permisibles) y una guía emitida por el Ministerio de Protección

Social acerca del Ruido ocupacional, estos documentos marcan aspectos generales pero no específicos sobre esta temática.

## **2. CONTEXTUALIZACIÓN BÁSICA**

### **2.1. LUGAR DE MUESTREO**

El cuarto recuperador de proyectiles es un recinto cerrado donde se realizan procedimientos de disparo de armas de fuego, con el objeto de obtener patrones de proyectiles y vainillas para ser comparados con los obtenidos en el lugar de los hechos o recuperados por los médicos legistas en los procedimientos de necropsia.

El cuarto de recuperación de proyectiles, donde se realizó el presente estudio, se encuentra ubicado en el primer piso del Laboratorio de Investigación Científica de la Fiscalía General de la Nación de la ciudad de Bucaramanga, anexo al grupo de balística forense. Este cuarto tiene entrada independiente, es rectangular y son 4.17 m de ancho, 6.37 m de largo, 2.23 m de alto en la zona periférica y 2.63 m en la zona central.

Figura 1. Tanque recuperador de proyectiles



Fuente: Fotografía tomada por los autores de la Tesis

En el centro del recinto se encuentra un tanque de acero de 300 cm de largo, 140 cm de alto y 90 cm de ancho que contiene agua la cual disipa la energía cinética de los proyectiles y un tubo guía de 30 cm de largo, formado ángulo de 30 grados del mismo material en el que se introduce un 40% del arma en el momento en que es disparada con el fin de orientar los disparos y proteger de las detonaciones. En la parte superior el sistema tiene varias compuertas que cubren el tanque para evitar la salpicadura de agua y en casos extremos la salida de los proyectiles y a los lados del tanque tiene una pasarela y escalera de 60 x 300 cm.

## 2.2. MEDIDAS DE SEGURIDAD EN EL CUARTO RECUPERADOR DE PROYECTILES

### 2.2.1. Documentos Informativos

En el cuarto recuperador de proyectiles existen actualmente algunos documentos y señales que informan al usuario sobre las medidas de seguridad necesarias para ejecutar las actividades de disparo de armas de fuego. Ver figura 2.

Figura 2. Documentos informativos de seguridad



Fuente: Fotografía tomada por los autores de la Tesis

Dentro de los documentos está el “Decálogo De Seguridad En El Manejo De Las Armas De Fuego” que hace referencia a los cuidados que se deben tener al manipular armas de fuego y dentro de las señales se encuentran advertencias visuales que indican la importancia de utilizar elementos de protección personal mientras se ejecutan las actividades de disparo en el cuarto del tanque recuperador de proyectiles.

### **2.2.2. Elementos De Protección Personal**

El protocolo de seguridad requiere que los operadores utilicen los siguientes elementos de protección personal:

- Guantes de nitrilo o látex, para evitar contaminación de carácter biológico
- Guantes de carnaza en la eventualidad de inferir el mal estado del arma pudiéndose causar una detonación con emisión de material particulado y candente por la parte posterior de los orificios que alojan los cartuchos en el caso de los revólveres.
- Gafas de Seguridad
- Máscara auto filtrante de gases y vapores
- Tapa oídos
- Careta protectora

En la siguiente imagen podemos observar los elementos de protección personal que con regularidad son utilizados por los servidores que hacen uso del tanque recuperador de proyectiles, minimizando el efecto ocasionado por accidentes al operar armas defectuosas, sonidos extremadamente fuertes y humos provenientes de la ignición de la pólvora.

Figura 3. Elementos de protección personal



Fuente: Fotografía tomada por los autores de la Tesis

### 2.2.3. Elementos De Reacción

Son elementos se han dispuesto con la finalidad de controlar posibles accidentes dentro del cuarto de recuperación de proyectiles incluyen:

- Extintor portátil de incendios, cargado con polvo químico seco ABC multipropósito.
- Cilindro de descargue de armas de fuego: cilindro metálico lleno de arena donde son apuntadas las armar en el momento de ser descargadas con el objeto de prevenir un accidente.

Figura 4. Elementos de reacción



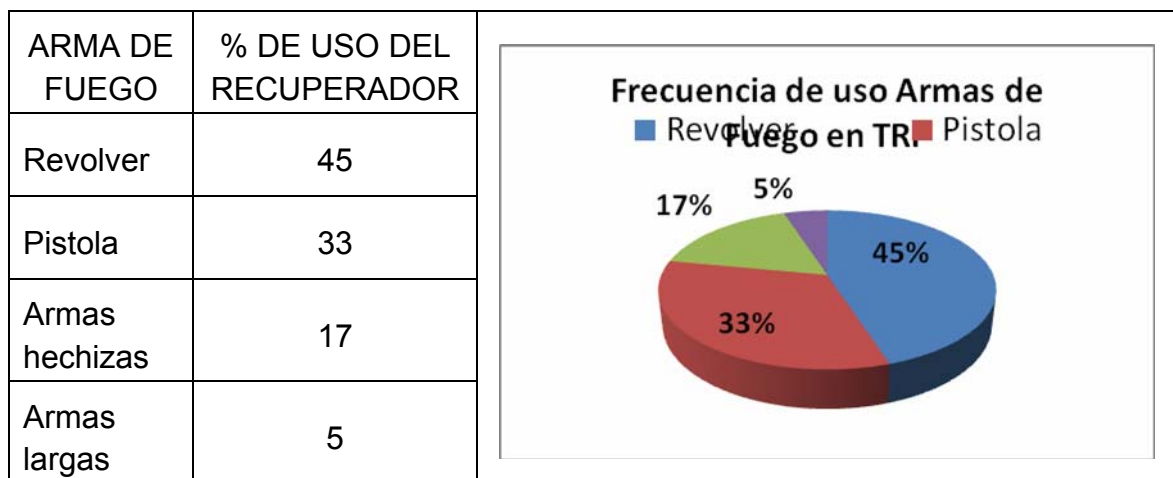
Fuente: Fotografía tomada por los autores de la Tesis

### 3. FUNDAMENTACIÓN DE LAS MEDICIONES

#### 3.1. SELECCIÓN DE ARMAS DE FUEGO

De acuerdo con un estudio estadístico del uso del tanque recuperador de proyectiles se pudo determinar que las armas disparadas con frecuencia en el recinto de recuperación están distribuidas de la siguiente forma:

Tabla 1. Armas de fuego disparadas en el tanque recuperador de Proyectiles



Fuente: Realizada por los autores de la Tesis

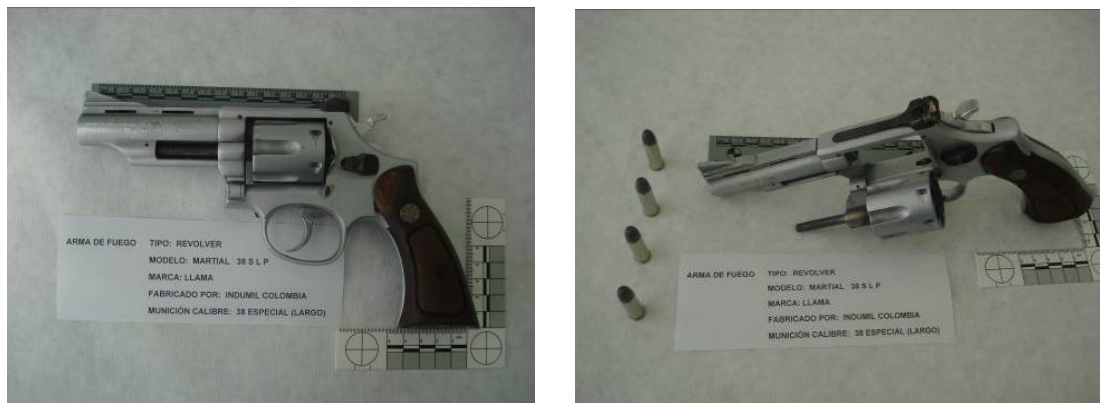
Considerando que los revólveres y las pistolas corresponden al 78% de las armas comúnmente disparadas en el recinto, se seleccionaron un revólver y una pistola para realizar las pruebas de disparos durante el desarrollo de ésta investigación.

### 3.1.1. Arma De Fuego Numero Uno

TIPO DE ARMA: REVOLVER  
MODELO: MATRIAL 38 SLP  
MARCA LLAMA  
FABRICACIÓN: INDUMIL COLOMBIA  
MUNICIÓN CALIBRE: 38 ESPECIAL (LARGO)

En la Figura 5 se presentan imágenes lateral y superior del revólver utilizado para realizar las pruebas de disparo.

Figura 5. Vistas lateral y superior del Revolver



Fuente: Fotografía tomada por los autores de la Tesis

### 3.1.2. Arma De Fuego Numero Dos

TIPO DE ARMA: PISTOLA  
MODELO: IMI  
MARCA PISTOL UZI  
FABRICACIÓN: INDUSTRIA MILITAR ISRAELI  
MUNICIÓN CALIBRE: 9 mm

En la Figura 6 se presentan imágenes lateral y superior de la pistola utilizada para realizar las pruebas de disparo.

Figura 6. Vistas lateral y superior de la Pistola



Fuente: Fotografía tomada por los autores de la Tesis

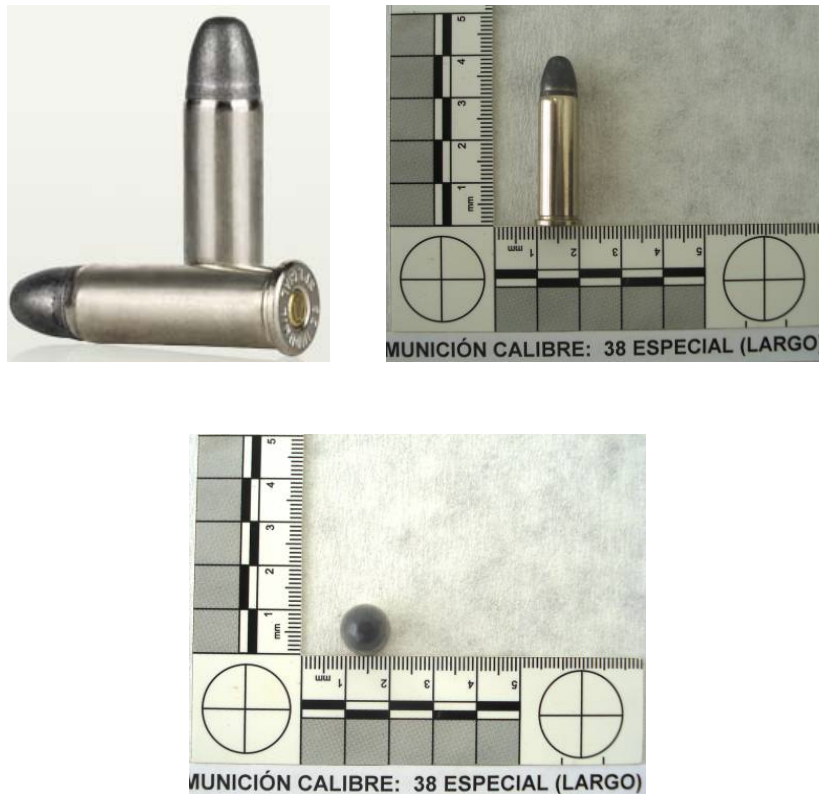
### 3.2. SELECCIÓN DE LA MUNICIÓN

La munición que se utilizó es la que aporta la FISCALÍA GENERAL DE LA NACIÓN al grupo de balística para la realización de los procedimientos de recuperación de proyectiles.

### 3.2.1. Munición Para El Revolver

En la Figura 7 se presentan las imágenes de la munición utilizada para realizar disparos con el revolver descrito en el ítem anterior. En la Tabla 2 se registran las características de la munición calibre 38 Especial.

Figura 7. Munición Calibre 38 Especial (Largo)



Fuente: Fotografía tomada por los autores de la Tesis

Tabla 2. Características generales de la munición para revolver

Calibre	38 mm Largo
Peso del Cartucho	15.4g
Longitud del Cartucho	38.9 mm
Peso del Proyectoil	10.23g
Velocidad promedio	274 m/s
Presión máxima promedio	1197 Kgf /cm <sup>2</sup>
Precisión, Radio promedio	63.5 mm a 45.7 m
Marcación	Estampado en el culote con la palabra Indumil y el calibre

Fuente: Realizada por los autores de la Tesis

### 3.2.2. Munición Para La Pistola

En la Figura 9 se presentan las imágenes de la munición utilizada para realizar disparos con la pistola descrita en el ítem anterior. En la Tabla 3 se registran las características de la munición calibre 9mm.

Figura 8. Munición Calibre 9mm



Fuente: Fotografía tomada por los autores de la Tesis

Tabla 3. Características generales de la munición para pistola

Calibre	9mm
Peso del Cartucho	29.3 g
Longitud del Cartucho	12.45 mm
Peso del Proyectoil	8.03 g
Núcleo de Proyectoil	Punta de acero y núcleo de plomo
Velocidad promedio	375 m/s
Presión máxima promedio	2193 Kgf /cm <sup>2</sup>
Precisión, Radio promedio	38 mm a 50 m
Marcación	Estampado en el culote la palabra INDUMIL y el calibre

Fuente: Realizada por los autores de la Tesis

### 3.3. DETERMINACIÓN DE LOS CONTAMINANTES A MEDIR

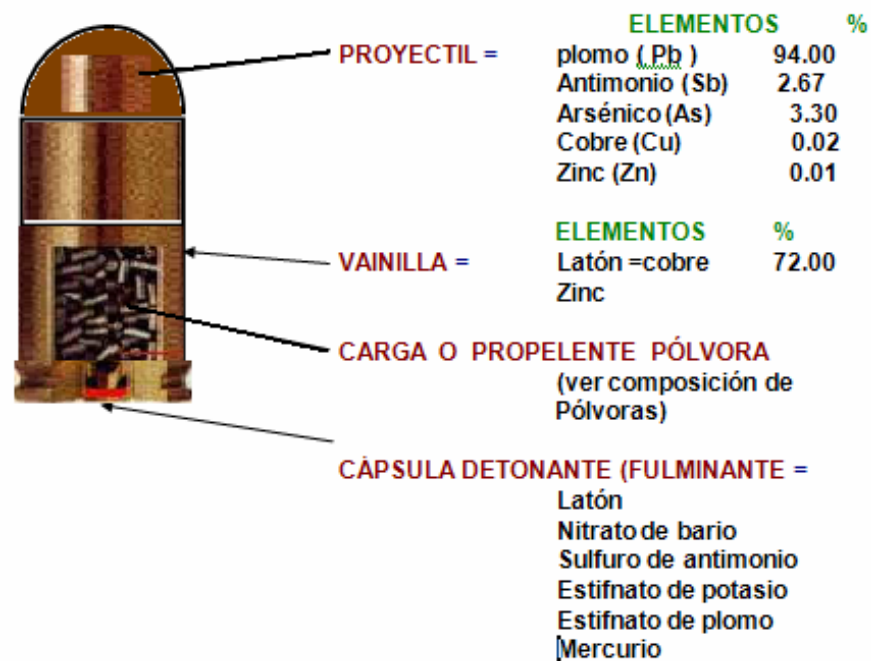
#### 3.3.1. Contaminantes Generados Por Las Detonaciones

Los residuos de disparo se generan cuando se acciona un arma de fuego y nubes de gases salen por la boca de fuego y por la ventana de expulsión en las pistolas o por los alvéolos del tambor en los revólveres. Los residuos de disparo se expulsan con el proyectil.<sup>(37)</sup>

Como se observa en la Figura 9 el plomo es el componente mayoritario de las sustancias iniciadoras de la combustión o fulminante y el principal componente del proyectil. El cobre se utiliza como cubierta para proyectiles, lo que comúnmente se conoce como blindaje y también como principal componente de las vainillas.

La liberación de residuos de Sb, Ba y Pb, se produce por efectos del disparo como resultado de la deflagración del fulminante. El Cu y el Pb se liberan por vaporizaciones parciales instantáneas que ocurren al ser disparado el proyectil. Simultáneamente con la detonación, los gases escapan de las uniones del arma debido a las altas presiones formadas.

Figura 9. Constitución de un cartucho



Fuente: Tomada del Numeral 38 de la Bibliografía

A continuación se describe con detalle la composición de cada una de las partes de un cartucho de munición

Existen dos tipos básicos de proyectiles, los comunes y los encamisados.

El proyectil común está compuesto principalmente por 94 % de Plomo y el restante 6 % por Antimonio, Arsénico, Cobre y Zinc. Se utiliza principalmente para armas de funcionamiento mecánico de calibres 22, 32, 38.

El proyectil encamisado o semiencamisado esta compuesto por un núcleo de plomo y un recubrimiento o enchaquetado con aleaciones de Cobre, Bronce, Plomo, Estaño, Antimonio, Latón militar (cobre + zinc) y Cuproníquel.

La carga propelente está compuesta por pólvora negra (azufre, carbón, nitrato de potasio), pólvora de base simple y pólvora de doble base. La pólvora de base simple tiene un solo componente que puede ser nitroglicerina o dinitrocelulosa, la de doble base está compuesta de nitrocelulosa, nitroglicerina, nitrato de potasio, nitrato de Bario, nitrobenzeno, dicloratos, oxalatos y grafitos.<sup>(38)</sup>

Considerando la composición del cartucho de munición se seleccionaron los siguientes elementos químicos de interés: Bario, Antimonio y Plomo como referencia. Estos elementos químicos, se encuentran presentes en la deflagración de la pólvora, provienen directamente del fulminante y pueden tener efectos nocivos en la salud de las personas que operan las armas de fuego.

### **3.4. DETERMINACIÓN DEL MÉTODO PARA REALIZAR LAS MEDICIONES**

#### **3.4.1. Partículas Suspendidas Totales (PST)**

La cantidad de partículas generadas durante el disparo se determinan de forma gravimétrica. El equipo HI-VOL tiene una bomba que transfiere el aire a una caseta cubierta y lo hace pasar a través de un filtro que atrapa el material particulado. Para determinar la cantidad de material particulado en una muestra de aire, se pesa el filtro antes y después del muestreo. La diferencia de peso es la

cantidad de material particulado atrapado en el filtro, este valor se divide por la cantidad de aire que paso por el filtro durante el tiempo de muestreo. El flujo de la bomba es de 1,5 m<sup>3</sup>/min (aprox. 2000 m<sup>3</sup>/día).

La siguiente figura presenta un muestreador de alto volumen que se usa como un método manual para medir partículas totales en suspensión (PTS) y metales pesados en el aire.

Figura 10. Muestreador de aire de alto volumen HI-VOL



Fuente: Fotografía tomada por los autores de la Tesis

Características del HIL-VOL: Marca General Metal Works, Inc. modelo Accu-vol con controlado de flujo Modelo Kurz serie 310.

Se usaron filtros en fibra de vidrio, grado 6653 de 204 X 254 mm, características que corresponden a las especificadas en el apéndice B del 40 CFR (Code of Federal Regulations), correspondiente a el Método de referencia para la

determinación de partículas de suspensión en la atmosfera (método de Alto Volumen).

### 3.4.2. Metales: Plomo, Bario Y Antimonio

La concentración de plomo, bario y antimonio es medica a partir de una solución de ácido nítrico al 5% en la que fueron extraídos en caliente los metales de los filtros usados para la determinación los sólidos suspendidos totales. Para lo cual se empleo el método analítico ICP-MS muy usado para detectar las trazas de metales en muestras provenientes del medio ambiente y los residuos de disparo en los laboratorios de balística de la fiscalía general de la nación.

Figura 11. ICP- MS Hewlett Packard 4500 series 300



- ICP- MS Hewlett Packard 4500 series 300.
- Generador de Radiofrecuencia 27,12 MHz
- Antorcha de Cuarzo
- Filtro de masas con cuádruplo de 7 u.m.a. hasta 256 u.m.a.
- Sistema de vacío con bombas turbo

Fuente: Suministrada por el laboratorio de Química de la Fiscalía General de la Nación Bogotá

**ICP-MS** (Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo) es una técnica de análisis inorgánico que es capaz de determinar y cuantificar la mayoría de los elementos de la tabla periódica en un rango dinámico lineal de 8 órdenes de magnitud ( ng/l – mg/l). Su principal característica es que

posee unos límites de detección para la mayoría de los elementos de unas pocas ppb – ppt que la hace ideal para el análisis de elementos traza.

La muestra líquida es vaporizada e ionizada gracias a un plasma de Ar. Los iones una vez formados pasan al espectrómetro de masas donde son separados mediante un analizador y detectados.

### 3.4.3. Mediciones De Ruido

Para medir el ruido del impacto producido por las detonaciones en cada ensayo realizado se usó un sonómetro marca EXTECH modelo 407750, con un rango de medición 30 a 130dB con precisión de  $\pm 1.5\text{dB}$  <sup>(30)</sup>.

Figura 12. Sonómetro



Fuente: Fotografía tomada por los autores de la Tesis

El Sonómetro es el instrumento básico para la medición acústica del nivel de presión sonora en decibeles, sin tener en cuenta las frecuencias

### 3.4.4 Mediciones De Luz

Para las mediciones de iluminancia se usó un luxómetro marca EXTECH modelo EA31, para determinar la intensidad de la luz *in situ* durante los disparos

Figura 13. Luxómetro



Fuente: Fotografía tomada por los autores de la Tesis

Luxómetro es un instrumento de medición que permite medir simple y rápidamente la iluminancia real y no subjetiva de un ambiente.

Se usó un luxómetro marca EXTECH modelo EA31, para determinar la intensidad de la luz *in situ*.

### 3.4.5. Medición De Temperatura Y Humedad

Figura 14. Termo higrómetro digital



Fuente: Fotografía tomada por los autores de la Tesis

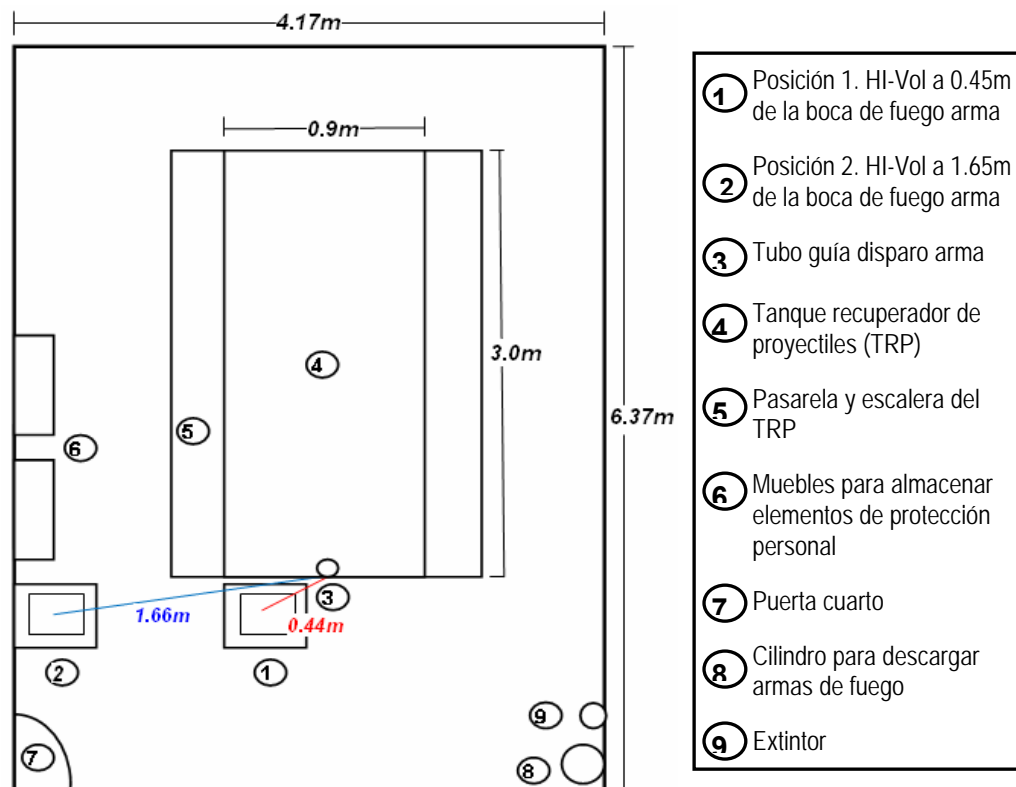
Este equipo es de marca bwr Brand y permite realizar mediciones rápidas de humedad (HR) y temperatura en espacios climatizados, ventilación o del medio ambiente. Posee un rango de medición de 25 a 95 % HR y de 0 a 50 °C. La resolución es de 1 % HR y de 0.1 °C . Su exactitud es de  $\pm 2$  % HR y de  $\pm 0.1$  °C.

## 4. MEDICIÓN DE LOS CONTAMINANTES

### 4.1. UBICACIÓN DEL MUESTREADOR HI-VOL

El muestreador HI-VOL se ubico a dos distancias diferentes con respecto a la boca de fuego del arma, la primera distancia es a aproximadamente a 0.44 m y la segunda a 1.65 m, una distancia significativa del lugar de la detonación, para poder comparar los resultados obtenidos en las dos posiciones y determinar el grado de dispersión de la nube de humos al realizar los disparos.

Figura 15. Ubicación del Muestreador HI-VOL en el cuarto recuperador de proyectiles



Fuente: Plano elaborado por los autores de la Tesis

En la figura 15 se muestra en color azul la distancia a la que se ubicó el HI-VOL con respecto a la boca de fuego del arma y se le llamó “distancia dos” correspondiente a 1.66 m y en color rojo la distancia uno correspondiente a 0.44 m medida de la misma manera que la distancia uno, esta última se puede apreciar también en la figura 16.

Figura 16. Muestreador HI-VOL a 0.44 m respecto a la boca de fuego del arma



Fuente: Fotografía tomada por los autores de la Tesis

## 4.2. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

### 4.2.1. Preparación De Los Filtros

Se examinan los filtros trasluz para comprobar que no estén agujerados, ni tengan partículas extrañas u otras imperfecciones. Se eliminan los filtros defectuosos y si es necesario se limpian los restantes con pincel.

Figura 17. Pesado del filtro

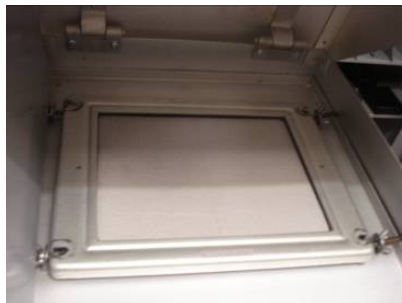


Fuente: Fotografía tomada por los autores de la Tesis

Se numeran los filtros y se acondicionan por lo menos por 24 horas dejándolos en el desecador, para luego ser pesados en una balanza bajo condiciones estables de temperatura (entre 20 y 25° C) y humedad relativa (entre 40 y 45 %), evitando doblarlos o plegarlos antes de la toma de la muestra.

#### **4.2.2. Toma De Muestras**

Figura 18. Ubicación del Filtro



Fuente: Fotografía tomada por los autores de la Tesis

1-Se abre la caseta, se limpia con un paño humedecido en alcohol y se espera un tiempo prudencial hasta la evaporación del solvente, se coloca el filtro con el lado áspero hacia arriba, se asegura a la malla.

Figura 19. Preparación arma de fuego



Fuente: Fotografía tomada por los autores de la Tesis

2- Se prepara el arma de fuego para las detonaciones que para este ejercicio en particular son cuatro consecutivas, se verifica que este cargada y que el proveedor contenga los cuatro cartuchos a ser disparados.

Figura 20. Realización de los disparos



Fuente: Fotografía tomada por los autores de la Tesis

3- Se hacen los cuatro (4) disparos consecutivos, que son los que generalmente el balístico al estudiar un arma de fuego en el cuarto recuperador de proyectiles.

Figura 21. Medición de las condiciones ambientales y el ruido.



Fuente: Fotografía tomada por los autores de la Tesis

4- Al momento de hacer las cuatro detonaciones consecutivas simultáneamente se mide las variaciones de la humedad, la temperatura, la luz y el ruido y se enciende el muestreador HI-VOL

Figura 22. Retiro del Filtro



Fuente: Fotografía tomada por los autores de la Tesis

5- Se deja transcurrir una hora con el muestreador HI-VOL y posteriormente se retira el filtro.

### 4.2.3. Extracción De Los Metales De La Muestra Colectada

Figura 23. Picado del Filtro



Fuente: Fotografía tomada por los autores de la Tesis

1-Los filtros que contienen las partículas colectadas en el muestreador HI-VOL se cortan cuidadosamente.

Figura 24. Extracción de los metales del filtro



Fuente: Fotografía tomada por los autores de la Tesis

2- Posteriormente los fragmentos se someten a la acción de una solución de ácido Nítrico al 5% a 50°C

Figura 25. Filtración



Fuente: Fotografía tomada por los autores de la Tesis

3-Se hacen filtra y a los residuos obtenidos con la filtración son de nuevo sometidos a la acción una solución de ácido Nítrico al 5% a 50°C.

Esta operación se repite 3 veces y todos los filtrados obtenidos son recogidos y aforados para obtener un volumen total de 150 ml, solución que posteriormente se analizará para determinarle la concentración de plomo, bario y antimonio.

Figura 26. Compresión del filtro



Fuente: Fotografía tomada por los autores de la Tesis

4-Por último se comprime la masa de celulosa con el fin de extraer la mayor cantidad de analito.

El filtrado es envasado y rotulado para ser enviado a la ciudad de Bogotá a la sede del laboratorio de referencia nacional para ser analizadas con el fin de determinar las cantidades de plomo, vario y antimonio dentro de las muestras.

Figura 27. Análisis Instrumental con ICP-MS



Fuente: Fotografía suministrada por el laboratorio de Química de la Fiscalía General de la Nación.

Análisis químico de PST: El el plomo, bario y antimonio recogido en los filtros se cuantificó mediante la técnica analítica Espectrometría de Masas con Plasma de

Acoplamiento Inductivo de Argón (ICP-MS) <sup>(14)</sup>. Los análisis se realizaron en el LABORATORIO DE REFERENCIA NACIONAL DE LA FISCALIA GENERAL DE LA NACIÓN en la ciudad de Bogotá

## 5. VALORES LIMITE AMBIENTALES (VLA)

Son los valores para las concentraciones de los agentes químicos en el aire, y representan condiciones a las cuales se cree, basándose en los conocimientos actuales, que la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos día tras día, durante su vida laboral, sin sufrir efectos adversos para su salud.

El valor límite para los gases y vapores se determina con la siguiente ecuación.

$$VLA(mg / m^3) = \frac{(VLA \text{ en ppm}) \times (\text{Peso Molecular del Agente Químico en gramos})}{24,04}$$

Siendo 24,04 el volumen molar en litros en tales condiciones estándar.

### 5.1. VALORES DE REFERENCIA AMBIENTALES EN EL MUNDO

Tabla 4. Valores de referencia ambientales considerados en el mundo

NORMA \ PARÁMETRO	PLOMO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	BARIO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ANTIMONIO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	RUIDO (dB)	
				LAeq	LpA
OSHA PEL- TLV-TWA	50	500	500	90	130
NIOSH REL-TLV- TWA	50	500	500	85	130
INSHT LEP-TLV--ED	150	500	500	85	140

OSHA: Administración de Seguridad y Salud Ocupacional

NIOSH: Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional-USA

INST: Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional - ESPAÑA

PEL- LIMITES DE EXPOSICIÓN PERMISIBLES

REL- LIMITES DE EXPOSICIÓN RECOMENDADOS

LEP- LIMITES DE EXPOSICIÓN PROFESIONAL

Laeq: Nivel de presión acústica continua equivalente ponderada

LpA: Nivel de presión acústica ponderada

TLV-STEL: "Short-Term Exposure Limit" Límites de exposición para cortos periodos de tiempo: Concentración a la que pueden estar expuestos los trabajadores durante un corto espacio de tiempo sin sufrir irritación, daño crónico o irreversible en los tejidos o narcosis importante.

TLV-TWA: "Time-Weighted Average" Media ponderada en el tiempo: Concentración media ponderada en el tiempo, para una jornada normal de 8 horas y 40 horas semanales, a la cual la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente día tras día sin sufrir efectos adversos.

VLA-CD: valor de referencia para las exposiciones de corta duración. Equivale a los TLV-STEL

VLA-ED: valor de referencia para la exposición diaria, es el equivalente a los TLV-TWA

## 5.2. VALORES DE REFERENCIA AMBIENTALES EN COLOMBIA

Resolución 2400-1979 (Estatuto de Seguridad Industrial en Colombia, estipula la aplicación de los criterios de la ACGIH y Min. Salud de salud para los valores límites permisibles.

Tabla 5. Valores de referencia ambientales de ACGIH

<b>SUSTANCIA</b> <b>NORMA</b>	<b>PLOMO</b> <b>(<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>BARIO</b> <b>(<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>ANTIMONIO</b> <b>(<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>
ACGIH REL-TLV- TWA	50	500	500

### REL- LIMITES DE EXPOSICIÓN RECOMENDADOS

ACGIH: The American Conference of Governmental industrial Hygienists (Conferencia Americana de Higienistas gubernamentales)

La Resolución 001792 DE 1990 establece valores límites permisibles para la exposición ocupacional al ruido que se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 6. Valores límites permisibles para la exposición ocupacional al ruido

<b>TIEMPO (horas)</b>	8	4	2	1	1/2	1/4	1/8
<b>RUIDO LAeq (dB)</b>	85	90	95	100	105	110	115

**RD 286/2006 Lpico: 140 dB**

## 6. RESULTADOS

### 6.1. RESULTADOS IN SITU

Los parámetros correspondientes a los pesos de los filtros, condiciones ambientales y ruido para cada experimento fueron registrados en la siguiente tabla.

Tabla 7. Parámetros medidos in situ

Arma de Fuego	Distancia (m)	No. exp	Wf Filtro (gramos)	Wo Filtro (gramos)	Temp (°C)	Humedad %	Sonido (Decibeles)	Lux
Pistola Micro Usi	0.44	M1	2.63402	2.63556	27.3	68	-----	53.8
		B1	2.61049	2.62335	26.1	74	130.0	55.9
		M2	2.64665	2.65038	26.7	75	-----	53.7
		B2	2.59538	2.60752	27.8	69	129.8	51
	1.6 5	M3	2.62298	2.62748	26.4	73	-----	42.8
		B3	2.62999	2.64519	28.2	69	129.0	54
		M4	2.61844	2.62143	26.9	71	-----	52.9
		B4	2.62192	2.63512	26.1	74	127.0	51.1
Revolver	0.44	M5	2.64540	2.64846	28.1	71	-----	50.5
		B5	2.63430	2.66007	27.5	67	129.8	50
		M6	2.64446	2.64990	27.7	72	-----	52.9
		B6	2.61871	2.64536	26.1	74	129.9	52.2
	1.65	M7	2.63400	2.63818	27.4	73	-----	51.4
		B7	2.63722	2.66672	26.1	74	130.1	50.6
		M8	2.61844	2.62143	28.1	68	-----	50.1
		B8	2.59784	2.62341	27.2	69	130.0	50.3

Fuente: Elaborada por los autores de la Tesis

La concentración de masa de las partículas suspendidas se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$SP=(W_f-W_i)*10^6/V_T (\mu\text{g}/\text{m}^3)$$

$V_T$  : Volumen total aire que pasa a través del filtro

$Q_s$ : Flujo de aire en  $\text{m}^3/\text{min}$

$$V_T = Q_s*t = 1.5\text{m}^3/\text{min}*60\text{min} = 90 \text{m}^3/\text{h}$$

## 6.2. RESULTADOS MEDIDOS EN LABORATORIO

Tabla 8. Parámetros medidos en el laboratorio

ARMA	DISTANCIA	Ensayo	Sb (Ppb)	Ba (Ppb)	Pb (Ppb)	SST (mg)
PISTOLA	0.44	B1- Blanco 1	91,5	602	313	1.54
		M2- Muestra 1	2850	28760	26000	13.93
		B2 - Blanco 2	77,9	543	298	3.73
		M3- Muestra 2	2664	30650	25630	12.14
	1.65	B3 - Blanco 3	98,3	637	346	4.5
		M4 - Muestra 3	2621	15660	19350	15.2
		B4 - Blanco 4	47,9	297,7	120,4	2.99
		M5 - Muestra 4	1511	13990	19320	13.2
REVOLVER	0.44	B5- Blanco 5	65,6	436	280	3.06
		M6 - Muestra 5	3585	40280	75780	26.40
		B6 - Blanco 6	97,6	618	331	5.44
		M7 - Muestra 6	4303	30980	74100	26.65

ARMA	DISTANCIA	Ensayo	Sb (Ppb)	Ba (Ppb)	Pb (Ppb)	SST (mg)
	1.65	B7 - Blanco 7	99,7	670	373	4.18
		M8 - Muestra 7	2901	19100	58940	29.5
		B8 - Blanco 8	89,4	589	301	2.99
		M8 - Muestra 8	2958	23470	55260	25.57

Fuente: Realizada por los autores de la Tesis

### 6.3. CALCULO DE LOS RESULTADOS

A los anteriores valores se les restó el blanco, además se promediaron y luego se dividió por el volumen total de aire, es decir  $90 \text{ m}^3$ , también para el caso de los metales se múltiplo por 0.25 debido a que ellos fueron disueltos en 250 ml de solución de Acido Nitrico al 5%. En la tabla 6 se detallan las concentraciones de cada uno de los contaminantes presentes en el aire obtenidos de los experimentos realizados para las dos armas de fuego utilizadas.

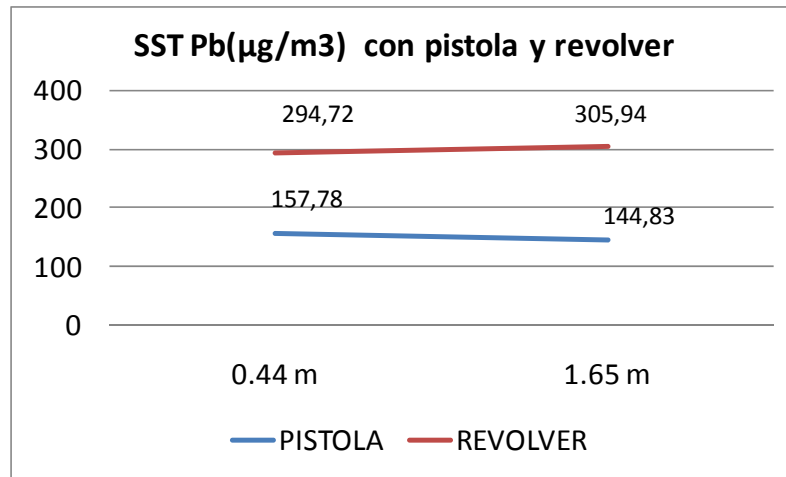
Tabla 9. Resultados Finales

ARMA	DISTANCIA	Sb ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Ba ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Pb ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
PISTOLA	0.44 m	7,42	80,92	70,86	157,78
	1.65 m	5,54	56,55	53,06	144,83
REVOLVER	0.44	10,73	97,51	179,54	294,72
	1.65	7,87	57,38	157,68	305,94

Fuente: Realizada por los autores de la Tesis

## 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

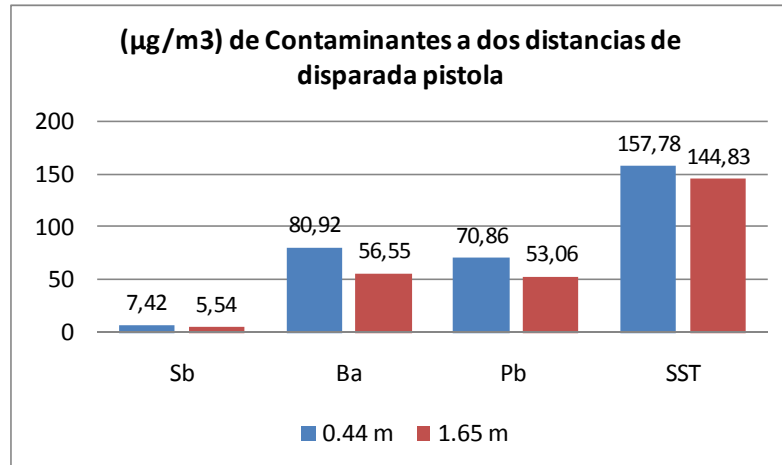
Figura 28. Gráfica de  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de SST en pistola y revolver a dos distancias



Fuente: Realizada por los autores de la Tesis

En la figura 28 se observa una mayor cantidad de sólidos suspendidos totales en el aire como resultado de los disparos producidos por revolver MATRIAL 38 SLP Llama, comparándolos con las emisiones producidas por pistola Micro Uzi IMI.

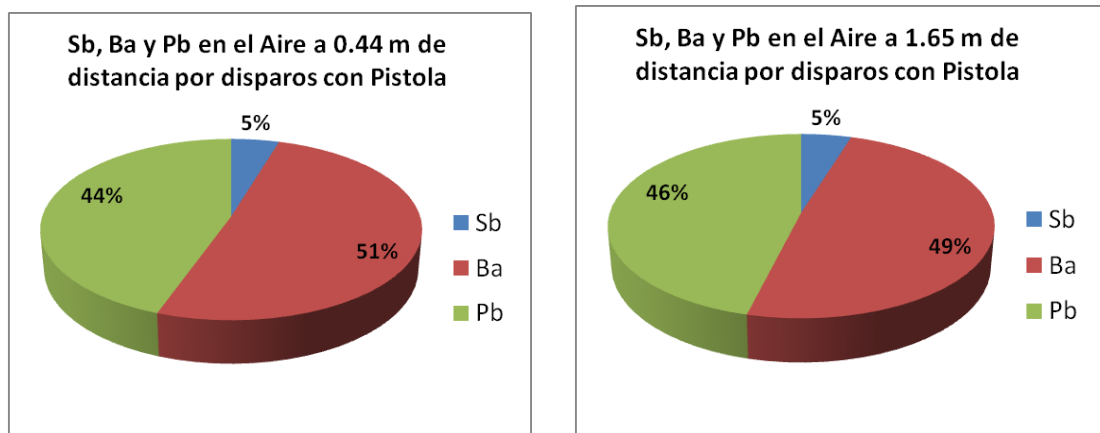
Figura 29. Gráfica de contaminantes en Pistola a dos distancias



Fuente: Realizada por los autores de la Tesis

Se puede notar en la figura 29 que la mayor cantidad de contaminantes se presenta a la distancia de 0.44m, es decir más cerca al lugar donde se realizan los disparos.

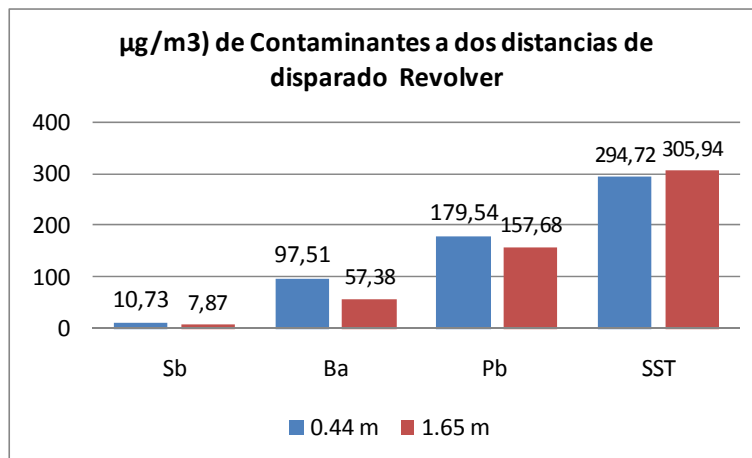
Figura 30. Porcentaje de los contaminantes presentes en el aire al disparar con pistola



Fuente: Realizada por los autores de la Tesis

Se puede apreciar la figura 30 que al detonar la munición de pistola (9mm Nato de Indumil) hay mayor emisión de bario que de los demás contaminantes (plomo y antimonio)

Figura 31. Gráfica de contaminantes en revolver a dos distancias

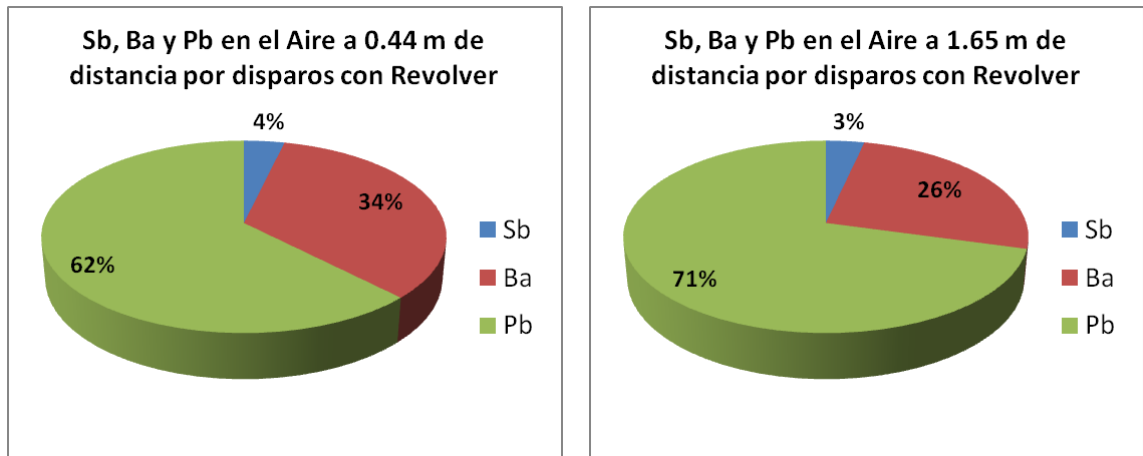


Fuente: Realizada por los autores de la Tesis

En la figura 31 se puede notar que los valores de sólidos suspendidos totales presentes en el aire son similares a las dos distancias propuestas en el estudio, presumiblemente porque se suocita una distribución homogénea dentro del recinto cerrado atribuible al orificios de escape que presenta el revolver.

En cuanto a los contaminantes metálicos se observa mayor proporción de estos a la distancia de 0.44m.

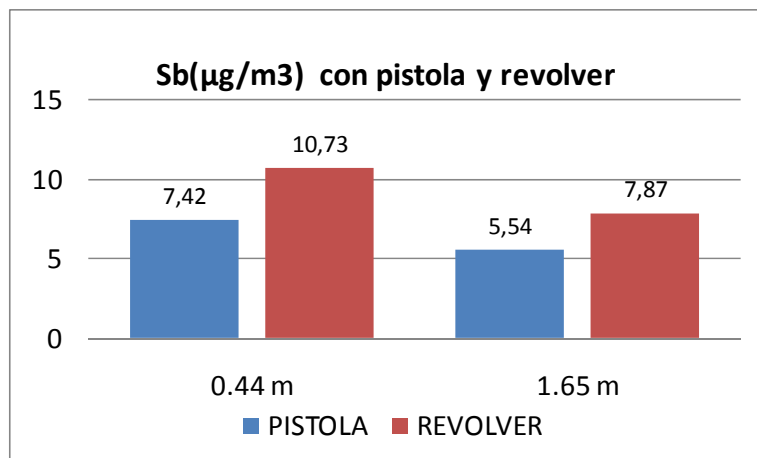
Figura 32. Porcentaje de los contaminantes presentes en el aire al disparar con revolver.



Fuente: Realizada por los autores de la Tesis

De la figura 32 se puede determinar que al detonar la munición de revolver 38 ESPECIAL (LARGO) marca INDUMIL hay mayor emisión de Plomo con respecto al Bario y al Antimonio.

Figura 33. Gráfica de  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de Antimonio en pistola y revolver a dos distancias

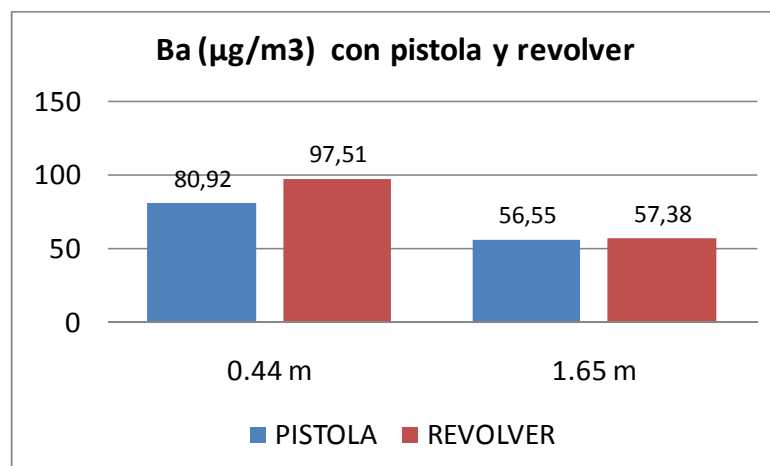


Fuente: Realizada por los autores de la Tesis

En la gráfica de la figura 33 se ilustra una mayor cantidad de contaminación por antimonio en el aire producido por los disparos de revolver que los generados por detonaciones con pistola en las dos distancias estudiadas.

Adicionalmente, se puede determinar que disminuye la concentración de Antimonio en el aire al aumentar la distancia donde se realizó la medición con respecto al sitio donde se realizan los disparos.

Figura 34. Gráfica de  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de Bario en pistola y revolver a dos distancias

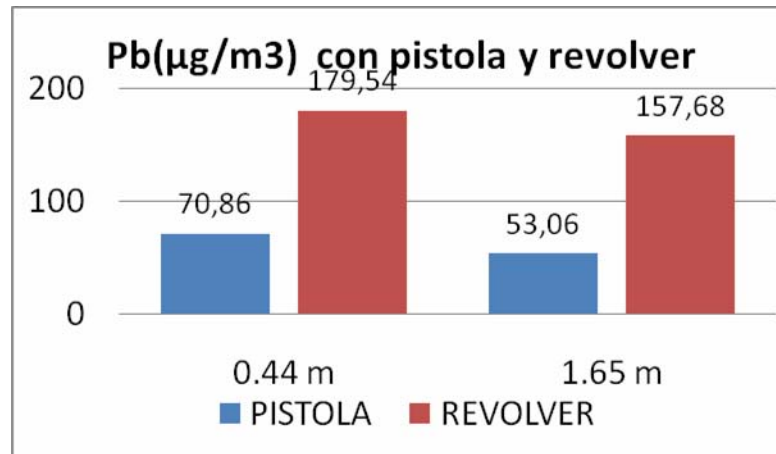


Fuente: Realizada por los autores de la Tesis

En la gráfica correspondiente a la figura 34 se ilustra una mayor cantidad de contaminación por Bario en el aire producido por los disparos de revolver que los generados por detonaciones con pistola en las dos distancias estudiadas.

Adicionalmente, se puede determinar que disminuye la concentración de Bario en el aire al aumentar la distancia donde se realizó la medición con respecto al sitio donde se realizan los disparos.

Figura 35. Gráfica de  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de Plomo en pistola y revolver a dos distancias



Fuente: Realizada por los autores de la Tesis

La gráfica de la figura 35 muestra una apreciable diferencia en la cantidad de contaminación por Plomo en el aire producido por los disparos de revolver que los generados por detonaciones con pistola en las dos distancias estudiadas.

Adicionalmente, se puede determinar que disminuye la concentración de Plomo en el aire al aumentar la distancia donde se realizó la medición con respecto al sitio donde se realizan los disparos.

## CONCLUSIONES

- Al observar el comportamiento de los contaminantes Sólidos suspendidos totales, plomo, bario y antimonio al disparar las dos armas de fuego con su respectiva munición (Pistola Microuzi y Revolver Llama), se observó mayor índice de contaminación proveniente de los disparos del revólver.
- Para el Pistola Microuzi y su munición se presentó mayor contaminación por Bario, con valores de  $80.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$  medida a una distancia de 0.44 m y  $56.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$  medida a 1.65 m.
- Para el Revolver Llama y su munición se presentó mayor proporción de contaminantes por Plomo, con valores de  $179.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$  medida a una distancia de 0.44 m y  $157.68 \mu\text{g}/\text{m}^3$  medida a 1.65 m.
- El contaminante con menor concentración en el aire posterior a los disparos para las dos armas de fuego analizadas es el antimonio, no superando los  $10.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- Los valores medidos plomo en el aire del cuarto recuperador de proyectiles, cuando se realizan disparos con pistola o revolver sobrepasan límites ambientales es decir  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Para el antimonio y Bario están por dentro de los valores permitidos, es decir menor a  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## BIBLIOGRAFÍA

1. ARAYA SOLANO Tannia. Determinación de la exposición a polvos y humos metálicos en la industria metalmecánica en Costa Rica. Instituto nacional de seguros.
2. CANADIAN POLICE RESEARCH CENTRE. TR-03.95 Comparative Analysis of Lead, Barium and Antimony Emission from Handgun Ammunition. Technical report February, 1995.
3. DONALD G. Havekost. Análisis comparativo del plomo de proyectiles de armas de fuego utilizando las técnicas espectroscópicas nuclear y atómica USA. Febrero 2007.
4. EPA. Locating and estimating air emissions from sources of lead and lead compounds. Pag. 6.77.
5. *GONZÁLEZ ALMEIDA Pedro Jesús, DÍAZ PADRÓN Heliadora*. Exposición Ocupacional a Polvo En una Planta Productora de Cemento con Tecnología por vía Húmeda. Revista Cubana Salud. 2003.
6. *GONZÁLEZ ALMEIDA Pedro Jesús, DÍAZ PADRÓN Heliadora*. Evaluación de la contaminación por aerosoles de plomo en los procesos de fabricación y reparación de baterías. Volumen 1 N° 2-3 ABRIL-DICIEMBRE DE 2000.
7. HERNÁNDEZ AVILA Mauricio. Exposición ocupacional a plomo inorgánico en una imprenta de la Ciudad de México Salud Publica. Mex, Vol. 41, Nom. 1, Pags. 42- 54, Año 1999.

8. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO DE ESPAÑA. Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Antimony. Publicación 78-216 de Septiembre de 1978.
9. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO DE ESPAÑA. MTA/MA-011/A87 Determinación de plomo en aire - Método filtro de membrana/Espectrofotometría de Absorción Atómica. España. MTA/MA-011/A87.
10. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO DE ESPAÑA. Elementos por ICP: Métodos 7300, Manual de Métodos Analíticos 3 Edición. Marzo 2003.
11. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO DE ESPAÑA. Límites de exposición profesional para agentes químicos en España 2008.
12. MINISTERIO DE SALUD DE COLOMBIA. Normas sobre Protección y Conservación de la Audición de la Salud y el bienestar de las personas, por causa de la producción y emisión de ruidos. Resolución número 8321 del 4 de agosto de 1983.
13. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA DE COLOMBIA. Reglamento de Higiene y Seguridad en las Labores Mineras a Cielo Abierto. Decreto número 2222 de 1993.
14. MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL COLOMBIA. Tabla enfermedades profesionales en Colombia. Decreto número 2566 de 2009

15. MINISTERIO DE SALUD DE CHILE. Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo. Decreto número 594 de 1999.
16. MINISTERIO DE TRABAJO Y SEGURIDAD SOCIAL. Estatuto de seguridad industrial. Resolución número 02400 de 1979.
17. MINISTERIO DE TRABAJO Y SEGURIDAD SOCIAL. Valores límites permisibles para la exposición ocupacional al ruido. Resolución número 001792 del 3 de mayo de 1990.
18. NAVY ENVIRONMENTAL HEALTH CENTER. Indoor Firing Ranges Industrial Hygiene Technical Guide. Technical Manual NEHC–TM6290.99-10 Rev.1 (May 2002)
19. NTP 20: Toma de muestras de contaminantes con filtro. Norma general. Norma Técnica de Prevención de España.
20. NTP 109: Valores límite biológico para el control de exposición a metales “International Chemical Safety Cards –Barium, Lead”. Norma Técnica de Prevención de España.
21. NTP 110. Toma de muestras de metales (polvos y humos). Norma Técnica de Prevención de España.
22. NTP 243: Ambientes cerrados: calidad del aire. Norma Técnica de Prevención de España.
23. NTP 270: Evaluación de la exposición al ruido. Determinación de niveles representativos. Norma Técnica de Prevención de España.

24. NTP 431. Caracterización de la calidad del aire en ambientes interiores. Norma Técnica de Prevención de España.
25. NTP 607: Guías de Calidad de aire interior: contaminantes químicos. Norma Técnica de Prevención de España.
26. OSHA. Regulations (Standards - 29 CFR) TABLE Z-1 Limits for Air Contaminants. - 1910.1000 TABLE Z-1
27. PAPPLE W.R. Toxic Free Ammunition Ballistic Evaluation. Public Safety and Emergency Preparedness Canada TM-14-94, May 1994
28. Protocolo de Análisis de residuos de disparo en mano. Fiscalía General de la Nación.
29. RIVERA C. C. y ESPINOSA J. F. Estudio físico-Químico de las partículas suspendidas totales en el área industrial de Saltillo. Aleph Zero Enero-Febrero de 2003.
30. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.404 Hazard Alert - Lead Exposure at Indoor Police Firing Ranges in Massachusetts
31. VALWAY Sarah E. Lead Absorption in Indoor Firing Range Users, AMERICAN JOURNAL OF Public Health Volumen 79 de 1989.
32. WADDEN. Richard A. SCHEFF Pete A. Contaminación de Aire en interiores. México. Limusa, 1987.

33. [www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/701a800/nspn0775.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/701a800/nspn0775.pdf)
34. [www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/701a800/nspn1052.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/701a800/nspn1052.pdf)
35. [www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/701a800/nspn0052.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/701a800/nspn0052.pdf)
36. [www.fiscalia.gov.co/pag/divulga/publicaciones/Balistica.pdf](http://www.fiscalia.gov.co/pag/divulga/publicaciones/Balistica.pdf)
37. [www.procedimientospoliciales.com/powerpoint/balistica1.ppt](http://www.procedimientospoliciales.com/powerpoint/balistica1.ppt)
38. [www.telecable.es/personales/maclantaron/articulos/morfologiacartucho.htm](http://www.telecable.es/personales/maclantaron/articulos/morfologiacartucho.htm)