

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Ambiental



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Propuesta de controles para reducir la exposición ocupacional al plomo en almacenes de concentrado mineral en callao

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Higiene y Seguridad Industrial.

Elaborado por

Renzo Alfredo Velapatiño Salvatierra

 [0009-0007-2857-4654](https://orcid.org/0009-0007-2857-4654)

Asesor

Ing. Jorge Alberto Villena Chávez

 [0000-0003-2564-5158](https://orcid.org/0000-0003-2564-5158)

LIMA - PERÚ

2023

Citar/How to cite	Velapatiño Salvatierra [1]
Referencia/Reference	[1] R. Velapatiño Salvatierra, " <i>Propuesta de controles para reducir la exposición ocupacional al plomo en almacenes de concentrado mineral en callao</i> " [Trabajo de suficiencia profesional]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2023.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Velapatiño, 2023)
Referencia/Reference	Velapatiño, R. (2023). <i>Propuesta de controles para reducir la exposición ocupacional al plomo en almacenes de concentrado mineral en callao</i> . [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a mi tía Charito que, aunque ya no está entre nosotros, siempre estuvo incentivándome en el avance de mi titulación.

Agradecimientos

Agradezco a mi mamá por ser un ejemplo de esfuerzo, dedicación y fortaleza para sobreponerse ante situaciones difíciles. Además, agradezco a mis tíos y tías que me brindaron el apoyo requerido durante mi etapa universitaria.

Resumen

El presente estudio está enfocado en los trabajadores de una empresa que brinda servicios logísticos de almacenamiento de concentrados minerales en el puerto del Callao, estos trabajadores se encuentran expuestos a concentraciones elevadas de plomo. El fin del estudio es proponer controles que ayuden a disminuir la exposición ocupacional al plomo de los trabajadores del almacén. Las mediciones se realizaron según el método NIOSH 7300 del Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional de EEUU.

Concluyendo que en las 36 mediciones dosimétricas de plomo realizadas a lo largo de un año entre el 2018 y 2019 en el almacén de concentrado de plomo, el 89% resultó con niveles por encima del límite permisible. Sin embargo, al estimar la protección por el uso del respirador de media cara 3M, se obtuvo que la CMU del respirador de media cara es insuficiente debido a que el 31,5% de las mediciones se encuentra por encima de esa CMU. El percentil 95 supera la CMU del respirador de media cara, pero es inferior a la CMU del respirador de cara completa de 2.5 mg/m³. Sin embargo, con un 95% de confianza se tiene un 7.1% de las exposiciones supera la CMU del respirador de cara completa.

Palabras clave — Controles, plomo, mediciones, respirador.

Abstract

The present study is focused on the workers of a company that provides logistical services for the storage of mineral concentrates in the port of Callao; these workers are overexposed to high lead concentrations. The purpose of this study is to propose controls that help reduce occupational exposure to lead among warehouse workers. The measurements were carried out according to the NIOSH 7300 method of the US National Institute for Occupational Safety and Health.

Concluding that in the 36 measurements of lead carried out over a year between 2018 and 2019 in the lead concentrate warehouse, 89% resulted with levels above the permissible limit. However, when estimating the protection from the use of the 3M half-face respirator, it was found that the CMU of the half-face respirator is insufficient because 31.5% of the measurements are above that CMU. The 95th percentile exceeds the half-face respirator CMU, but is less than the full-face respirator CMU of 2.5 mg/m³. However, with 95% confidence, 7.1% of the exposures exceed the CMU of the full-face respirator.

Keywords — Controls, lead, measurements, respirator.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen.....	v
Abstract.....	vi
Introducción.....	viii
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo.....	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Descripción del problema de investigación.....	1
1.3 Objetivos del estudio.....	1
1.4 Antecedentes investigativos.....	2
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual.....	6
2.1 Marco teórico.....	6
2.1.1 Producción de plomo en el Perú.....	6
2.1.2 Principales usos del plomo.....	7
2.1.3 Depósitos de concentrado de plomo en el litoral.....	8
2.1.4 Impactos del plomo en los trabajadores.....	9
2.2 Marco conceptual.....	11
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación.....	19
3.1 Metodología de muestreo.....	19
3.2 Resultados de los monitoreos dosimétricos de plomo.....	22
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados.....	24
4.1 Análisis de la atenuación de la exposición por el uso del respirador.....	24
4.2 Análisis estadístico de los resultados.....	29
Conclusiones.....	32
Recomendaciones.....	33
Referencias bibliográficas.....	36
Anexos.....	38

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Tasas mínimas de ventilación.....	18
Tabla 2: Equipos de muestreo utilizado	20
Tabla 3: Clasificación de niveles de exposición	21
Tabla 4: Comparación de resultados de las mediciones con los límites	22
Tabla 5: Factores de protección asignados según OSHA	25
Tabla 6: Clasificación de los niveles de exposición con uso de respirador.....	26
Tabla 7: Comparación de los resultados de las mediciones con la concentración máxima de uso del respirador de media cara	26

Lista de Figuras

	Pág.
Tabla 1: Produccion de plomo por regiones.....	7
Tabla 2: Procesos de concentrado de plomo y minerales polimetálicos.....	9
Tabla 3: Portafiltros de 37mm utilizados	21
Tabla 4: Resultados de las mediciones según nivel exposición.	23
Tabla 5: Resultado de las mediciones considerando la CMU del respirador de media cara	28
Tabla 6: Resultado de las mediciones considerando la CMU del respirador de cara completa	28
Tabla 7: Grafico secuencial de datos	30
Tabla 8: Distribucion Log normal	30

Introducción

Según la OMS el plomo es un metal tóxico presente de forma natural en la corteza terrestre. Su uso generalizado ha dado lugar a una importante contaminación ambiental, a la exposición humana y a graves problemas de salud pública en muchas partes del mundo. Son importantes fuentes de contaminación ambiental las explotaciones mineras, la metalurgia, las actividades de fabricación y reciclaje, y el uso del plomo en muy diversos productos. La mayoría del consumo mundial de plomo corresponde a la fabricación de baterías de plomo-ácido para vehículos de motor. Sin embargo, este metal también se utiliza en muchos otros productos, como pigmentos, pinturas, soldaduras, vidrieras, vajillas de cristal, municiones, esmaltes cerámicos, joyas, juguetes, algunos productos cosméticos tradicionales como el kohl y el sindoor, y algunos medicamentos tradicionales utilizados en países como la India, México y Viet Nam. También puede contener plomo el agua potable canalizada a través de tuberías de plomo o soldadas con este metal. En la actualidad, gran parte del plomo comercializado mundialmente procede del reciclaje.

Las personas pueden verse expuestas al plomo en su lugar de trabajo o en su entorno, principalmente a través de:

- La inhalación de partículas de plomo generadas por la combustión de materiales que contienen este metal; y
- La ingestión de polvo, agua o alimentos contaminados con plomo y al llevarse cosas a la boca.

Una vez dentro del cuerpo, el plomo se distribuye hasta alcanzar órganos como el cerebro, el hígado, los riñones y los huesos. Se deposita en dientes y huesos, donde se va acumulando con el paso del tiempo

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

De entre los procesos de explotación minera, el proceso de acopio en grandes almacenes del concentrado mineral propicia la mayor exposición a metales entre los trabajadores involucrados en dichas actividades. Esto debido a que los metales se encuentran en mayor porcentaje, el proceso involucra el desplazamiento de maquinarias pesada para descargas y carguíos del concentrado mineral, y los almacenes donde se almacenan son techados con limitada ventilación, propiciando aumentos considerables en las concentraciones de los metales.

1.2 Descripción del problema de investigación

Los trabajadores de una empresa que brinda servicios logísticos especializados de recepción, almacenamiento, manipulación y análisis de laboratorio de concentrados minerales en el puerto del Callao, se encuentran expuestos a concentraciones de plomo superiores al límite máximo permisible establecido por la normativa nacional vigente, en ocasiones las concentraciones de plomo son superiores a la capacidad máxima de protección del respirador de media cara que utilizan los trabajadores.

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 *Objetivo general*

Proponer controles que ayuden a disminuir la exposición ocupacional al plomo de los trabajadores de un almacén de concentrado de plomo en el puerto del Callao.

1.3.2 *Objetivos específicos*

- Analizar los resultados de los monitoreos dosimétricos de plomo obtenidos durante un año de mediciones a los trabajadores del almacén de concentrado de plomo.
- Determinar las actividades que tienen mayor impacto en la exposición al

plomo durante la jornada de trabajo.

- Evaluar la eficiencia del sistema de ventilación del almacén de concentrado de plomo.

1.4 Antecedentes investigativos

- Tesis de pregrado para optar al título profesional de Ingeniería de Higiene y Seguridad Industrial por la Universidad Nacional de Ingeniería, Perú 2015 Tema: “Evaluación de la exposición ocupacional a polvos y humos metálicos en una planta de afino y moldeo de una industria metalúrgica”

Autor: Bravo Andia, Adolfo Andres

Resumen: La industria metalúrgica involucra una serie de procesos como son: la recepción, fundición, conversión y afino y moldeo. Durante el desarrollo de las operaciones, los trabajadores están expuestos a una serie de agentes físicos, químicos, ergonómicos, biológicos, entre otros. Entre los agentes químicos destacan los polvos y humos metálicos provenientes de estas operaciones a los cuales se encuentran expuestos los trabajadores durante sus actividades. Los efectos a la salud asociados a la exposición en este tipo de industrias son muy variados y abarcan desde una irritación hasta enfermedades respiratorias, incluyendo distintos tipos de cánceres. Los antecedentes investigados revelan que empresas relacionadas presentan niveles de exposición que muchas veces superan el límite máximo permisible de los agentes químicos estudiados. La forma en que este tipo de agentes químicos llegan a los trabajadores puede verse influenciada por una serie de factores como por ejemplo el tipo de trabajo, la falta de ventilación, los materiales utilizados, entre otros; por lo que se planteó estudiar la exposición a polvos y humos metálicos (As, Pb y Cd) en una industria metalúrgica, básicamente en una Planta de Afino y Moldeo. El estudio consideró una empresa dedicada a la producción de ánodos, se utilizaron filtros de membrana de éster celulosa con tamaño de poro de 0.8 m para colectar 21

muestras las cuales fueron analizadas por el Método NIOSH 7301, cuya técnica analítica corresponde a la absorción atómica. También se realizaron los análisis estadísticos por sección y puestos de trabajo, así como en general para la Planta. De las 21 muestras analizadas 4 de ellas presentaron concentraciones superiores al límite máximo permisible para el agente químico arsénico (0.01 mg/m³). Los agentes químicos plomo y cadmio presentaron niveles de concentraciones menores a los límites máximos permisibles respectivamente en todas las muestras. La media geométrica y la desviación estándar geométrica en la Planta para las concentraciones de arsénico fueron 0.0027 (2.8) mg/m³, para plomo 0.0026 (1.25) mg/m³, cadmio 0.001 (1) mg/m³.

En la sección de Afino las concentraciones fueron 0.0043 (4.02) mg/m³, 0.0025 (1) mg/m³ y 0.001(1) mg/m³ respectivamente. En la sección de Moldeo 0.0024 (2.45) mg/m³, 0.0027 (1.29) mg/m³ y 0.001 (1) mg/m³ respectivamente. Por puesto de trabajo se obtuvieron las siguientes medias geométricas y desviaciones estándar geométricas para el agente químico arsénico: Operador Horno de Afino 0.0029 (3.30) mg/m³, Operador Rueda de Moldeo 0.0013 (2.16) mg/m³, Operador de Montacargas 0.0019 (1.21) mg/m³, Operador Sistema de Pines 0.0071 (2.56) mg/m³, Operador de Grúa 0.00179 (1.17) mg/m³ y Operador de Calidad 0.00173 (2.17) mg/m³. Respecto al plomo el Operador de Sistema de Pines presentó 0.0032 (1.67) mg/m³, el resto de operadores 0.0025 (1) mg/m³. Para el agente químico cadmio todos los operadores presentaron 0.001 (1) mg/m³. Los resultados indican que los polvos y humos de arsénico están presentes en el ambiente de la Planta de Afino y Moldeo. Sólo en una muestra se encontró concentraciones superiores al límite de detección del plomo (0.005 mg/m³), estando debajo TLV-TWA. Todas las concentraciones de cadmio estuvieron debajo del límite de detección (0.002 mg/m³). El tipo de tarea desarrollada es uno de los determinantes de la exposición a arsénico (Bravo, 2015).

- Informe de Suficiencia Profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial por la Universidad Tecnológica del Peru, Lima 2017

Tema: "Propuesta para la implementación de controles operacionales para mejorar las condiciones ambientales en el almacén de plomo de la empresa Impala Terminals Perú SAC"

Autor: Luis Miguel Quistan Mas (Quistan Mas, 2017)

Resumen: El Informe trata de la mejora de las condiciones ambientales del almacén de concentrado de plomo de la empresa Impala Terminals Perú SAC, mediante la implementación de controles operacionales para la recepción y almacenamiento de mineral así como un sistema de monitoreo de agentes químicos que garantice un ambiente dentro de los límites permitidos por las leyes del Estado Peruano. El primer capítulo se aborda el problema que genera las condiciones incómodas ambientales del Almacén de Plomo, se detalla la justificación del estudio, las limitaciones y se plantean los objetivos a lograr. Luego en el segundo capítulo se detalla las bases teóricas para analizar, comprender y proponer controles para el almacenamiento de mineral y antecedentes que respalden el desarrollo de este proyecto. Seguidamente en el tercer capítulo se describe la metodología que se estableció para el análisis de la problemática de las malas condiciones del almacén. En el cuarto capítulo se inicia con un resumen de toda la compañía, información relevante acerca de la situación actual del almacén y el proceso de almacenamiento, se analizan las causas que generan los problemas, luego se establecen controles de ingeniería y controles administrativos con sus respectivos responsables para lograr los objetivos planteados, seguidamente se establecen los recursos necesarios para la implementación de los controles, luego se hace un análisis de la inversión y los beneficios para la organización en temas económicos y reputación. Por consiguiente, en el quinto capítulo se hace un análisis de los resultados esperados. Finalmente se llega a la

conclusión implementando las tablets para la actualización de información en el DBTC, y la señalización de las cochas del Almacén de plomo se logrará una mejor planificación del proceso de recepción lo cual permitirá controlar la saturación del almacén sin perjudicar la producción de la compañía y generando un ambiente de trabajo dentro de los límites establecidos por las entidades del Estado Peruano (Quistan, 2017).

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

2.1.1 *Producción de plomo en el Perú*

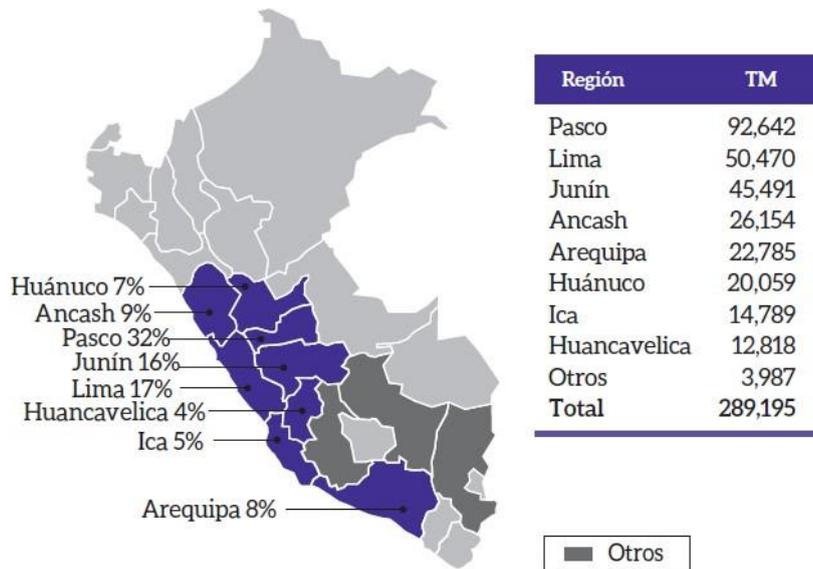
Según la SNMPE (2019) entre los años 1970 y 2000, la producción mundial de plomo (en mina) experimentó un estancamiento, ligado a cambios en su uso por razones ambientales y de salud. No obstante, entre el 2000 y el 2018 su producción creció en 38%, al pasar de 3.2 millones a 4.4 millones de TM. Esto puede deberse a la mayor demanda de plomo para baterías, tanto para vehículos como para otros usos, sobre todo en China.

Además, la SNMPE (2019) menciona que entre el 2000 y el 2018, el consumo mundial de plomo creció en 82%, al alcanzar los 11.7 millones de TM, volumen sustentado por el incremento de la producción y el reciclaje de este metal.

Dicho crecimiento se explica principalmente por el mayor consumo de plomo en China, impulsado por el dinamismo industrial y el notable aumento del número de vehículos en ese país, producto de su crecimiento económico. En el 2018, las principales empresas productoras de plomo en el Perú fueron Volcan (con el 17% del total producido), Buenaventura (9%), El Brocal (8%), Raura (7%) y Nexa El Porvenir (6%). En las últimas dos décadas, la producción peruana de plomo creció hasta alcanzar su máximo nivel en el 2008, con 345 mil TM. Luego se redujo y en los últimos años ha rondado las 300 mil TM. Pasco, Lima y Junín produjeron el 65% de la producción nacional de plomo en el 2018.

Figura 1

Producción de plomo por regiones



2.1.2 Principales usos del plomo

Según la SNMPE (2019):

- El mayor uso del plomo se da en la fabricación de baterías para autos. Estas cuentan con placas de plomo que, al reaccionar con ácido sulfúrico, convierten la energía química en eléctrica.
- Es utilizado en materiales de construcción y soldadura, municiones y pigmentos sintéticos, entre otros.
- Se emplea en la producción de forros protectores para cables eléctricos, de televisión, internet, etc.
- Por su resistencia a la corrosión, el sector químico lo utiliza en la fabricación y el manejo de compuestos como el ácido sulfúrico y el ácido nítrico.
- Por su alta densidad, protege de ciertos tipos de radiación. Se emplea en la medicina, al usar rayos X, y en instalaciones nucleares.

2.1.3 Depósitos de concentrado de plomo en el litoral

A. Recepción y descarga

En la recepción se realiza las operaciones de pesaje y muestreo. La descarga de camiones volquete tipo pistón, o vagones de ferrocarril “Hopper”, es autónoma. Para unidades de transporte, denominadas “metaleros” se utilizan rastras que retiran el concentrado de la tolva, o se efectúa manualmente a través de una cuadrilla de operarios; finalizando la operación, con el barrido de la plataforma. Cuando la humedad del concentrado se encuentra por encima de la requerida para el embarque posterior, se procede a extenderlo para secarlo de manera natural, antes de apilarlo. Los depósitos cuentan con cerco perimétrico de material noble, con diferentes alturas de muro; algunos de ellos con instalaciones de mallas cortavientos; algunos depósitos cubren las pilas con mantas y otras a la intemperie (MINEM, 1994).

B. Manejo y preparación del lote de embarque

En esta etapa se realizan mezclas de concentrados de diferentes procedencias para cumplir con una calidad específica en función a compromisos de entrega (“blending”). Previo al despacho a las instalaciones portuarias, el concentrado se muestrea y se registra el peso de cada camión. Asimismo, se determina el punto de fluidez y el límite de humedad transportable, que definen el comportamiento del concentrado dentro del buque durante la travesía marítima (MINEM, 1994).

C. Transporte y descarga en instalaciones portuarias

El concentrado se transporta a través de vehículos o de camiones volquetes tipo pistón o “metaleros”, debiendo estar la carga, cubierta por una toldera. Las condiciones de descarga, son similares a las que se efectúan en los depósitos de concentrados de cada empresa. El concentrado es apilado mediante cargadores frontales, formando una pila en un área próxima a la bodega del buque que será estibada (MINEM, 1994).

D. Embarque

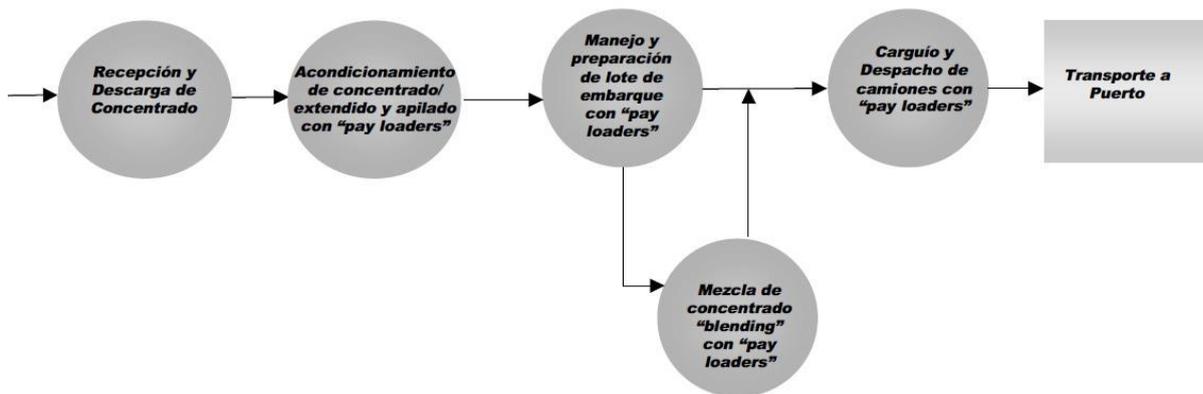
Generalmente, se utiliza una faja transportadora móvil, la cual se alimenta desde una tolva, que se llena por medio de cargadores frontales. El remanente de la loza se

barre con escobas y las porciones acumuladas son llevadas por las cucharas del cargador frontal hacia la faja transportadora; la humedad del concentrado durante este periodo es menor a 5%. Las operaciones de recuperación del remanente (barrido) y embarque de concentrados, generan partículas fugitivas.

De manera específica, en Matarani, el concentrado se traslada desde el depósito hasta las bodegas del barco, por medio de una faja transportadora fija, siendo el último tramo móvil (MINEM, 1994).

Figura 2

Procesos de concentrado de plomo y minerales polimetálicos



2.1.4 Impactos del plomo en los trabajadores

A. Absorción

El plomo inhalado es retenido en los pulmones y entre un 40 a 60%, puede pasar a la circulación. El plomo ingerido es absorbido por el tracto intestinal sólo en un 10% (MINEM, 1994).

B. Distribución y Acumulación

El plomo sanguíneo, unido a las proteínas y fosfatos, se localiza en el hígado, riñones, cerebro y especialmente en los huesos en forma de trifosfato insoluble (MINEM, 1994).

C. Excreción

Además de la eliminación natural por vía respiratoria, digestiva (bilis y heces) y

urinaria, puede haber descargas generalizadas (cólico). El metabolismo de los compuestos orgánicos es menos conocido, el producto se detoxica en el hígado y se elimina por la orina (MINEM, 1994).

D. Efectos Tóxicos

Se presentan cuadros clínicos agudos, subagudos y crónicos dependientes de la dosis, del tiempo de exposición y del compuesto. Ellos son:

- General: anemia, baja hemoglobina, palidez, cefaleas, línea gingival de Burton.
- Digestivo: constipación, náuseas y dolor abdominal que puede llegar a simular un abdomen agudo quirúrgico (fibra muscular lisa).
- Neuromuscular: temblor, calambres musculares. Neuritis motora con parálisis de los extensores, especialmente manos.
- Encefálico: convulsiones, inconsistencia y coma. Poco frecuente en adultos y más en niños. Los compuestos orgánicos los producen en los trabajadores expuestos.
- Vascular: hipertensión en los cuadros agudos, efectos cardiacos posibles.
- Renal: nefroesclerosis con hipertensión e insuficiencia renal, disfunción tubular con excreción aumentada de aminoácidos, glucosa, fosfatos, ácido úrico y calcio (Síndrome de Fanconi), inclusión de cuerpos intracelulares, llamada secuestro de plomo.
- Psicológica: se describe alteración del rendimiento psicológico especialmente de la inteligencia y funciones motoras visuales.
- Sexo: mayor frecuencia de abortos y alteraciones endocrinológicas en la mujer. En el hombre, alteraciones de espermatogénesis (MINEM, 1994).

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Ley N° 26842: “Ley general de salud”.

CAPITULO VI

De las sustancias y productos peligrosos para la salud

Artículo 96.- En la importación, fabricación, almacenamiento, transporte, comercio, manejo y disposición de sustancias y productos peligrosos, deben tomarse todas las medidas y precauciones necesarias para prevenir daños a la salud humana, animal o al ambiente, de acuerdo con la reglamentación correspondiente. Artículo 97o.- Cuando la importación, fabricación, transporte, almacenamiento, comercio y empleo de una sustancia o producto se considere peligroso para la salud de la población, el Estado debe establecer las medidas de protección y prevención correspondientes. (Perú, 1997)

Artículo 98.- La Autoridad de Salud competente dicta las normas relacionadas con la calificación de las sustancias y productos peligrosos, las condiciones y límites de toxicidad y peligrosidad de dichas sustancias y productos, los requisitos sobre información, empaque, envase, embalaje, transporte, rotulado y demás aspectos requeridos para controlar los riesgos y prevenir los daños que esas sustancias y productos puedan causar a la salud de las personas. (Perú, 1997)

Artículo 99.- Los residuos procedentes de establecimientos donde se fabriquen, formulen, envasen o manipulen sustancias y productos peligrosos deben ser sometidos al tratamiento y disposición que señalan las normas correspondientes. Dichos residuos no deben ser vertidos directamente a las fuentes, cursos o reservorios de agua, al suelo o al aire, bajo responsabilidad. (Perú, 1997)

CAPITULO VII

De la higiene y seguridad en los ambientes de trabajo

Artículo 100.- Quienes conduzcan o administren actividades de extracción, producción, transporte y comercio de bienes o servicios, cualesquiera que éstos sean, tienen la obligación de adoptar las medidas necesarias para garantizar la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores y de terceras personas en sus instalaciones o

ambientes de trabajo.

Artículo 101.- Las condiciones de higiene y seguridad que deben reunir los lugares de trabajo, los equipos, maquinarias, instalaciones, materiales y cualquier otro elemento relacionado con el desempeño de actividades de extracción, producción, transporte y comercio de bienes o servicios, se sujetan a las disposiciones que dicta la Autoridad de Salud competente, la que vigilará su cumplimiento. (Perú, 1997)

Artículo 102.- Las condiciones higiénicas y sanitarias de todo centro de trabajo deben ser uniformes y acordes con la naturaleza de la actividad que se realiza sin distinción de rango o categoría, edad o sexo. (Perú, 1997)

2.2.2 DS 005-2005-SA: “Reglamento sobre valores límites permisibles para agentes químicos en ambientes de trabajo”.

Definiciones

A. Agente Químico

Todo elemento o compuesto químico, por sí solo o mezclado, tal como se presenta en estado natural o es producido; utilizado o vertido, incluido el vertido como residuo, en una actividad laboral, se haya elaborado o no de modo intencional y se haya comercializado o no (MINSAL, 2005).

B. Exposición ocupacional

Se define como la presencia de un agente químico en el aire de la zona de respiración del trabajador. Cuando este término se emplea sin calificativos hace siempre referencia a la vía respiratoria, es decir, a la exposición por inhalación. Se cuantifican en términos de la concentración del agente obtenido de las mediciones de exposición, referida al mismo período de referencia que el utilizado para el valor límite aplicable (MINSAL, 2005).

C. Media Ponderada en el Tiempo (TWA)

Es la concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador medida, o calculada de forma ponderada con respecto al tiempo, para la jornada estándar de 8 horas diarias. Referir la concentración media a dicha jornada

estándar implica considerar el conjunto de las distintas exposiciones del trabajador a lo largo de la jornada real de trabajo, cada una con su correspondiente duración, como equivalente a una única exposición uniforme de 8 horas (MINSa, 2005).

La TWA, puede calcularse matemáticamente mediante la siguiente fórmula:

$$TWA = \frac{\sum C_i T_i}{8}$$

siendo: Σ : Sumatoria

C_i : La concentración i-ésima

T_i : Tiempo de exposición, en horas, asociado a cada valor C_i

Para los efectos del cálculo de la TWA de la jornada laboral, la suma de los tiempos de exposición que se han de considerar en el numerador de la fórmula anterior será igual a la duración real de la jornada en cuestión, expresada en horas (MINSa, 2005).

D. Nivel de acción

Es la concentración o nivel de un agente en el que se considera que se debe tomar alguna acción específica. La acción puede variar desde monitorear más de cerca la atmósfera de exposición hasta hacer ajustes de ingeniería. En la práctica general, el nivel de acción generalmente se establece como la mitad del TLV (MINSa, 2005).

E. Puesto de trabajo

Comprenden tanto al conjunto de actividades que están encomendadas al trabajador, como al espacio físico donde desarrolla su trabajo (MINSa, 2005).

F. Valores Límite Permisibles (TLVs)

Son valores de referencia para las concentraciones de los agentes químicos en el aire, y representan condiciones a las cuales se cree que basándose en los conocimientos actuales, la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos día tras día, durante toda su vida laboral, sin sufrir efectos adversos para su salud. Se habla de la mayoría y no de la totalidad puesto que, debido a la amplitud de las diferencias de respuesta existentes entre los individuos, basadas tanto en factores genéticos como en hábitos de vida, un pequeño porcentaje de trabajadores podría experimentar molestias a

concentraciones inferiores a los TLV, e incluso resultar afectados más seriamente, por agravamiento de una condición previa o por el desarrollo de una patología laboral. Los TLV se establecen teniendo en cuenta la información disponible, procedente de la analogía físico-química de los agentes químicos de los estudios de experimentación animal y humana, de los estudios epidemiológicos y de la experiencia industrial (MINSA, 2005).

Los TLV sirven exclusivamente para la evaluación y el control de los riesgos por inhalación de los agentes químicos incluidos en la Lista de Valores.

Cuando uno de estos agentes puede ser absorbido por vía cutánea, ya sea por la manipulación directa del mismo, o por el contacto de los vapores con las partes desprotegidas de la piel, y esta aportación pueda resultar significativa para la dosis absorbida por el trabajador, el agente en cuestión aparece señalado en la lista con la notación "vía dérmica".

Esta llamada advierte, por una parte, de que la medición de la concentración ambiental puede no ser suficiente para cuantificar la exposición global y, por otra, de la necesidad de adoptar medidas para prevenir la absorción cutánea. El valor límite para los gases y vapores se establecen originalmente en ppm, valor independiente de las variables de temperatura y presión atmosférica, pudiendo también expresarse en mg/m³ para una temperatura de 25 °C y una presión de 760 mmHg, valor que depende de las citadas variables (MINSA, 2005).

La conversión de ppm a mg/m³ se efectúa utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{TLV } \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} = \frac{(\text{TLV ppm}) \cdot (\text{Peso molecular del agente químico en gramos})}{24,45}$$

siendo 24,45 el volumen molar en litros en tales condiciones estándar.

El valor límite para la materia particulada no fibrosa se expresa en mg/m³ o submúltiplos; y el de fibras, en fibras/m³ o fibras/cm³, aplicándose en ambos casos para las condiciones reales de temperatura y presión atmosférica del puesto de trabajo

(MINSA, 2005).

G. Zona de respiración

El espacio alrededor de la cara del trabajador del que éste toma el aire que respira. Con fines técnicos, una definición más precisa es la siguiente: semiesfera de 0,3 m de radio que se extiende por delante de la cara del trabajador, cuyo centro se localiza en el punto medio del segmento imaginario que une ambos oídos y cuya base está constituida por el plano que contiene dicho segmento, la parte más alta de la cabeza y la laringe (MINSA, 2005).

Anexo 1: Valores límite permisibles para agentes químicos en el ambiente de trabajo (MINSA, 2005)

N° CAS	AGENTE QUIMICO	LIMITES ADOPTADOS	
		TWA	STEL
		mg/m3	mg/m3
7439-92-1	Plomo inorgánico y sus derivados como Pb.	0,05	-----

2.2.3 DS-023-2017-EM: “Modifican diversos artículos y anexos del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, aprobado por Decreto Supremo N° 024-2016-EM”

Artículo 330.- Los depósitos en los que se almacene y/o se manipule concentrados de mineral y que se encuentren ubicados cerca de o en zona portuaria, deben contar con techos y paredes, así como sistemas de control que evite las emisiones de material particulado de concentrados al ambiente exterior. Se deben efectuar muestreos semanales de exposición ocupacional al plomo a un trabajador seleccionado aleatoriamente, al interior de los depósitos de concentrados. Las concentraciones del plomo no deben superar el Límite de Exposición Ocupacional de 0.05 miligramos por metro cúbico de aire. Es de aplicación lo establecido en el Decreto Supremo N° 015-2005-SA, o la norma que la modifique o sustituya, para efectos de los muestreos y límites de exposición ocupacional antes mencionados. Los depósitos de concentrados deben sujetarse a lo establecido por el Decreto Legislativo N° 1048 que precisa el almacenamiento de concentrados de minerales en depósitos ubicados fuera de las áreas

de las operaciones mineras (MINEM, 2017).

2.2.4 RM-N° 232-2020-VIVIENDA: “Modifican la Norma Técnica EM.030

Instalaciones de Ventilación del Reglamento Nacional de Edificaciones y dictan otras disposiciones”.

CAPÍTULO II: Diseño de sistemas de ventilación en edificaciones

Artículo 5.- Condiciones mínimas de calidad de aire interior para el diseño de sistemas de ventilación en edificaciones:

5.1 Las edificaciones deben disponer de medios para que sus ambientes se puedan ventilar adecuadamente, eliminando los contaminantes que se produzcan de forma habitual, durante el uso normal de los edificios, de forma que se aporte un caudal suficiente de aire exterior y se garantice la extracción del aire viciado por los contaminantes. El aire exterior puede tener contaminantes que es necesario filtrar (VIVIENDA, 2020).

5.2 El Proyectista debe considerar los siguientes aspectos, según corresponda:

- a) Tasa mínima de ventilación (V_{bz}), conforme a lo dispuesto en el artículo 6.
 - b) Filtros, conforme a lo dispuesto en el artículo 7.
 - c) Valores Límites Permisibles para agentes químicos en el ambiente de trabajo, conforme a lo dispuesto en el artículo 8.
 - d) Tasas Mínimas de Extracción, conforme a lo dispuesto en el artículo 9.
 - e) Distancias mínimas de separación a tomas de ingreso de aire exterior, conforme a lo dispuesto en el artículo 10.
 - f) Temperatura de aire interior, conforme a lo dispuesto en el artículo 11.
 - g) Altitud, conforme a lo dispuesto en el artículo 12.
 - h) Emisores Ultravioleta de Banda C, conforme a lo dispuesto en el artículo 22
- (VIVIENDA, 2020).

Artículo 6.- Tasa Mínima de Ventilación (V_{bz})

6.1 La Tasa Mínima de Ventilación (V_{bz}) es el coeficiente que expresa el

intercambio de un volumen de aire por unidad de tiempo.

6.2 Resulta de la aplicación de los valores incluidos en la Tabla N° 01, en la siguiente fórmula:

$$V_{bz} = R_p \times P_z + R_a \times A_z, \text{Donde:}$$

- V_{bz} es el caudal de aire exterior (l/s),
- R_p es el caudal de aire exterior requerido por persona (l/s), según valores de Tabla N° 01,
- R_a es el caudal de aire exterior requerido por unidad de superficie (m²), según valores de Tabla N° 01,
- P_z es el número de personas en la zona ventilada en horario de uso, según el diseño del Proyectista,
- A_z , es la superficie neta habitable de la zona ventilada, (m²) (VIVIENDA, 2020).

6.3 Si la tipología de ocupación de una edificación o ambiente no aparece en la Tabla N° 01, el Proyectista debe utilizar los requisitos para el tipo de ocupación del listado, que más se asemeje en cuanto a la densidad de ocupación, actividades y construcción de edificios, de acuerdo a norma nacional vigente sobre la materia o, de no existir, la última versión de la norma ASHRAE 62.1 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality (Ventilación para una adecuada calidad del aire interior) (VIVIENDA, 2020).

Tabla 1*Tasas mínimas de ventilación (VIVIENDA, 2020)*

	Rp	Ra	Rd	Rt
Tipo de ocupación	l/s*persona	l/s*m ²	#/100 m ²	l/s*persona
Centros de Enseñanza (Norma Técnica A.040 Educación)				
Centros de día (hasta 4 años)	5	0,9	25	8,6
Centros de día (enfermería)	5	0,9	25	8,6
Aulas (5-8 años)	5	0,6	25	7,4
Aulas (más de 9 años)	5	0,6	35	6,7
Sala de conferencias	3,8	0,3	65	4,3
Sala de conferencias (asientos fijos)	3,8	0,3	150	4,0
Aula de arte	5	0,9	20	9,5
Laboratorio de ciencias	5	0,9	25	8,6
Laboratorios universitarios	5	0,9	25	8,6
Taller de madera/metal	5	0,9	20	9,5
Laboratorio informático	5	0,6	25	7,4
Sala multimedia	5	0,6	25	7,4
Música/teatro/danza	5	0,3	35	5,9
Sala multiusos	3,8	0,3	100	4,1

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

Una empresa especializada en servicios logísticos de concentrados minerales ubicada en el puerto del Callao, realizó mediciones dosimétricas de plomo de manera semanal en un almacén de concentrados de plomo provenientes de minas de la sierra central, esto en cumplimiento con lo establecido en el artículo N° 330 del DS-023-2017-EM, siendo objeto del presente informe los resultados de las mediciones dosimétricas de plomo realizadas al asistente de operaciones entre setiembre del 2018 y agosto 2019.

Durante las mediciones realizadas en campo, se observó asistente de operaciones (objeto de las mediciones) desarrollando las siguientes actividades:

- Recepción de camiones para descarga.
- Orientar descarga de camiones.
- Verificar mezcla de concentrado realizado por cargador frontal para homogenizar.
- Verificar arrumaje de concentrado mineral.
- Rotulado de material recién descargado.
- Retiro de plásticos o residuos del concentrado descargado.
- Limpieza de concentrado residual de las tolvas de los camiones.
- Limpieza de patio con escobas, complementando al trabajo de la barredora.
- Limpieza de las paredes para remover el material.

3.1 Metodología de muestreo

3.1.1 Método utilizado en las mediciones realizadas

Dado que a nivel nacional no se ha establecido una metodología aplicable a la determinación de plomo en ambientes de trabajo, las mediciones se realizaron según el método NIOSH 7300 del Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional de EEUU.

3.1.2 Procedimiento de medición en campo

- Se estableció el flujo de muestreo de acuerdo con lo establecido en la metodología NIOSH para plomo.
- Luego de establecido el caudal se procedió a ajustar el flujo con el calibrador de flujo.
- Posteriormente se informó a los trabajadores del área sobre la importancia y los objetivos del estudio a desarrollar.
- Periódicamente y durante el muestreo en campo se verificó el estado de los medios captadores, para verificar que éstos no se encuentren saturados o que no se genere alguna alteración del equipo de muestreo.
- Así mismo se verificó el flujo final de la bomba de muestreo y se realizó una verificación del flujo.
- Concluido el muestreo se apagó la bomba y se anotó la hora de término del muestreo, se retiró el casete con el filtro del tren de muestreo y se colocaron los tapones de cierre en los respectivos orificios del portafiltro.
- Inmediatamente después se rotula el casete, colocando la información necesaria (número de muestra, identificación de la empresa, fecha de muestreo, contaminante, etc.) para su identificación.

3.1.3 Equipo de medición

Para realizar las mediciones se utilizó bombas y calibradores de muestreo de diferentes marcas y modelos, según se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 2

Equipos de muestreo utilizados

Equipo	Marca	Modelo
Bomba Gravimétrica	SKC	224-PCXR8
Bomba Gravimétrica	Sensidyne	Gilian 5000
Bomba Gravimétrica	SKC	XR-5000
Bomba Gravimétrica	SKC	Aircheck TOUCH

Equipo	Marca	Modelo
Bomba Gravimétrica	SKC	210-5000
Calibrador de flujo	SKC	320 4A5

3.1.4 Material adicional para la toma de muestra

- Soporte de filtro. Disco y soporte de celulosa de 37 mm de diámetro, que garantice la distribución uniforme del paso de aire durante la toma de muestras.
- Portafiltros o cassette de 37 mm. de diámetro en los que se coloca el filtro sobre el soporte de celulosa

Figura 3

Portafiltros de 37mm utilizados



- Tubo flexible de polietileno de 6.4 mm de diámetro y de 1 metro de longitud.

3.1.5 Niveles de exposición

Para clasificar los niveles de exposición al plomo se consideró el siguiente cuadro, considerando 0.05 mg/m³ como valor límite permisible para el plomo según lo establecido en el DS 015-2005-SA.

Tabla 3

Clasificación de los niveles de exposición

Agente Químico	Concentración	Nivel de Exposición
Parámetro Evaluado	TWA ≤ 0.025 mg/m ³	Aceptable
	0.025 mg/m ³ < TWA ≤ 0.05 mg/m ³	Moderado
	0.05 mg/m ³ < TWA	Inaceptable

3.2 Resultados de los monitoreos dosimétricos de plomo

Las mediciones fueron realizadas al puesto de auxiliar de operaciones, los resultados obtenidos de las evaluaciones dosimétricas de plomo son las siguientes:

Tabla 4

Comparación de resultados de las mediciones con los límites permisibles

N° de muestra	Fecha	TWA (mg/m3)*	NA (mg/m3)**	TLV-TWA (mg/m3)***	Nivel de exposición
1	07/09/2018	0.0635	0.025	0.05	INACEPTABLE
2	05/10/2018	0.0685	0.025	0.05	INACEPTABLE
3	12/10/2018	0.6578	0.025	0.05	INACEPTABLE
4	22/11/2018	0.6591	0.025	0.05	INACEPTABLE
5	07/12/2018	0.3461	0.025	0.05	INACEPTABLE
6	13/12/2018	0.6455	0.025	0.05	INACEPTABLE
7	21/12/2018	0.3158	0.025	0.05	INACEPTABLE
8	28/12/2018	0.9682	0.025	0.05	INACEPTABLE
9	18/01/2019	0.0295	0.025	0.05	MODERADO
10	31/01/2019	0.4688	0.025	0.05	INACEPTABLE
11	08/02/2019	0.2616	0.025	0.05	INACEPTABLE
12	14/02/2019	0.2754	0.025	0.05	INACEPTABLE
13	08/03/2019	2.2044	0.025	0.05	INACEPTABLE
14	14/03/2019	0.0824	0.025	0.05	INACEPTABLE
15	20/03/2019	1.0026	0.025	0.05	INACEPTABLE
16	28/03/2019	0.3168	0.025	0.05	INACEPTABLE
17	16/04/2019	0.1319	0.025	0.05	INACEPTABLE
18	22/04/2019	0.2897	0.025	0.05	INACEPTABLE
19	25/04/2019	0.6014	0.025	0.05	INACEPTABLE
20	09/05/2019	0.1236	0.025	0.05	INACEPTABLE
21	15/05/2019	0.3976	0.025	0.05	INACEPTABLE
22	24/05/2019	0.021	0.025	0.05	ACEPTABLE
23	30/05/2019	0.8182	0.025	0.05	INACEPTABLE
24	04/07/2019	0.3008	0.025	0.05	INACEPTABLE
25	11/07/2019	1.4076	0.025	0.05	INACEPTABLE
26	11/07/2019	0.5425	0.025	0.05	INACEPTABLE
27	12/07/2019	0.0388	0.025	0.05	MODERADO

N° de muestra	Fecha	TWA (mg/m3)*	NA (mg/m3)**	TLV-TWA (mg/m3)***	Nivel de exposición
28	18/07/2019	0.1061	0.025	0.05	INACEPTABLE
29	25/07/2019	0.4036	0.025	0.05	INACEPTABLE
30	25/07/2019	0.439	0.025	0.05	INACEPTABLE
31	01/08/2019	0.3654	0.025	0.05	INACEPTABLE
32	01/08/2019	1.0943	0.025	0.05	INACEPTABLE
33	09/08/2019	0.3781	0.025	0.05	INACEPTABLE
34	23/08/2019	0.3071	0.025	0.05	INACEPTABLE
35	23/08/2019	0.1391	0.025	0.05	INACEPTABLE
36	29/08/2019	0.0392	0.025	0.05	MODERADO

* TWA: Media Ponderada en el Tiempo

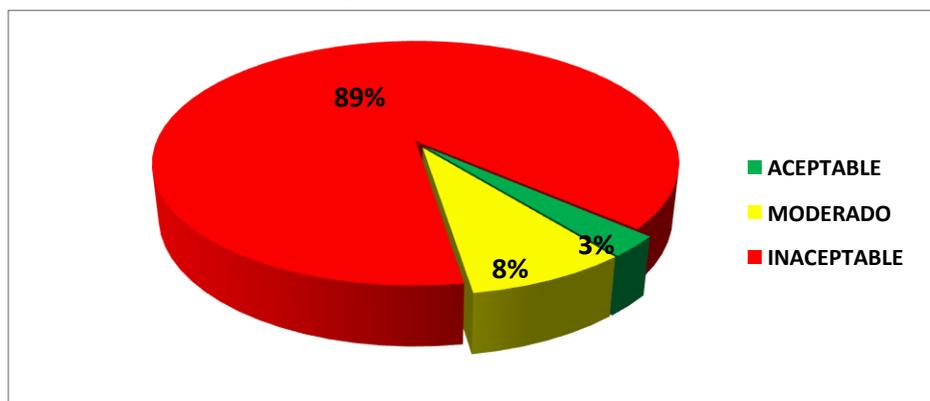
** NA: Nivel de acción

*** TLV: Valor límite permisible para el plomo

De los resultados anteriores, se obtiene el siguiente grafico 6.1, del cual se puede observar que el 89% de las mediciones resultaron con niveles inaceptables (concentraciones por encima del límite permisible), el 8% moderado y el 3% aceptable.

Figura 4

Resultados de las mediciones según nivel de exposición



Aproximadamente 9 de cada 10 exposiciones superan el límite permisible al plomo dentro de las operaciones en el almacén de concentrado mineral.

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

4.1 Análisis de la atenuación de la exposición por el uso del respirador

Durante las mediciones en el almacén de concentrado de plomo, se observó que todos los trabajadores hacían uso de respiradores de media cara 3M con filtro 7093. Por lo que se realizó el cálculo de la concentración máxima de uso del respirador para calcular la atenuación de la exposición por el uso del EPP, definida según estándar OSHA – 29 CFR 1910.134(b) como:

Concentración máxima de uso (CMU) significa la concentración atmosférica máxima de una sustancia peligrosa de la cual se puede esperar que un empleado esté protegido cuando usa un respirador, y está determinada por el factor de protección asignado del respirador o clase de respiradores y el límite de exposición de la sustancia peligrosa. El CMU se puede determinar matemáticamente multiplicando el factor de protección asignado especificado para un respirador por el límite de exposición permisible requerido por OSHA, el límite de exposición a corto plazo o el límite máximo. Cuando no hay un límite de exposición de OSHA disponible para una sustancia peligrosa, un empleador debe determinar un CMU sobre la base de la información disponible relevante y el juicio profesional informado. (OSHA, 1998).

Además, según estándar de OSHA – 29 CFR 1910.134(d)(3)(i)(A):

Factores de Protección Asignados (APFs). Los empleadores deben usar los factores de protección asignados enumerados en la Tabla 1 para seleccionar un respirador que cumpla o exceda el nivel requerido de protección para los empleados. Al usar un respirador combinado (por ejemplo respiradores de línea de aire con un filtro purificador de aire), los empleadores deben asegurarse de que el factor de protección asignado sea apropiado para el modo de operación en el que se usa el respirador (OSHA, 1998).

Tabla 5*Factores de protección asignados según OSHA*

Tipo de respirador ^{1 2}	Cuarto de máscara	Media máscara	máscara completa	Casco/capucha	Pieza facial holgada
1. Respirador purificador de aire	5	³ 10	50		
2. Respirador purificador de aire motorizado (PAPR)		50	1,000	⁴ 25/1,000	25
3. Respirador de suministro de aire (SAR) o respirador de línea de aire					
• Modo de demanda		10	50		
• Modo de flujo continuo		50	1,000	⁴ 25/1,000	25
• Demanda de presión u otro modo de presión positiva		50	1,000		
4. Aparato de respiración autónomo (SCBA)					
• Modo de demanda		10	50	50	
• Demanda de presión u otro modo de presión positiva (p. ej., circuito abierto/cerrado)			10,000	10,000	

Notas:

1. Los empleadores pueden seleccionar respiradores para uso en concentraciones más altas de una sustancia peligrosa en el lugar de trabajo, para usar en concentraciones más bajas de esa sustancia, o cuando el uso del respirador requerido sea independiente de la concentración.
2. Los factores de protección asignados en la Tabla 1 solo son efectivos cuando el empleador implementa un programa de respiradores efectivo y continuo según lo requiere esta sección (29 CFR 1910.134), incluidos los requisitos de capacitación, prueba de ajuste, mantenimiento y uso.
3. Esta categoría APF incluye respiradores filtrantes y respiradores de media cara con elastómeros. 4El empleador debe tener evidencia provista por el fabricante del respirador de que la prueba de estos respiradores demuestra un desempeño a un nivel de protección de 1,000 o mayor para recibir un APF de 1,000. Este nivel de rendimiento se puede demostrar mejor realizando un estudio WPF o SWPF o una prueba equivalente. En ausencia de dichas pruebas, todos los demás PAPR y SAR con cascos/capuchas deben tratarse como respiradores de careta de ajuste holgado y recibir un APF de 25.
5. Estos APF no se aplican a los respiradores que se usan únicamente para escapar. Para los respiradores de escape usados en asociación con sustancias específicas cubiertas por 29 CFR 1910 subparte Z, los empleadores deben consultar las normas específicas de sustancias apropiadas en esa subparte. Los respiradores de escape para otras atmósferas IDLH están especificados en 29 CFR 1910.134 (d)(2)(ii) (OSHA, 1998).

El factor de protección asignado que corresponde para el respirador de media cara 3M con filtro 7093 que utilizaban los trabajadores según estándar de OSHA es 10.

Considerando el cálculo de la concentración de máximo uso como se muestra a continuación:

$$CMU = (APF) \times TLV-TWA \quad (1)$$

De (1): Concentración máxima de uso = $10 \times 0.05 \text{ mg/m}^3 = 0.5 \text{ mg/m}^3$

Con el objetivo de tener una mejor interpretación de los resultados, se clasificarán la concentración máxima de uso y el 50% de esta según el siguiente cuadro:

Tabla 6

Clasificación de los niveles de exposición con uso de respirador

Agente Químico	Concentración	Nivel de Exposición con uso de respirador
Parámetro Evaluado	$TWA \leq 0.5 \text{ mg/m}^3$ (CMU)	Aceptable
	0.25 mg/m^3 (50%CMU) < $TWA \leq 0.05 \text{ mg/m}^3$ (CMU)	Moderado
	0.25 mg/m^3 (50%CMU) < TWA	Inaceptable

Tabla 7

Comparación de los resultados de las mediciones con la concentración máxima de uso del respirador de media cara

N° de muestra	Fecha	TWA (mg/m3)	TLV-TWA (mg/m3)	Concentración máxima de uso*	Nivel de exposición con uso de respirador
1	07/09/2018	0.0635	0.05	0.5	ACEPTABLE
2	05/10/2018	0.0685	0.05	0.5	ACEPTABLE
3	12/10/2018	0.6578	0.05	0.5	INACEPTABLE
4	22/11/2018	0.6591	0.05	0.5	INACEPTABLE
5	07/12/2018	0.3461	0.05	0.5	MODERADO
6	13/12/2018	0.6455	0.05	0.5	INACEPTABLE
7	21/12/2018	0.3158	0.05	0.5	MODERADO
8	28/12/2018	0.9682	0.05	0.5	INACEPTABLE
9	18/01/2019	0.0295	0.05	0.5	ACEPTABLE
10	31/01/2019	0.4688	0.05	0.5	MODERADO
11	08/02/2019	0.2616	0.05	0.5	MODERADO

N° de muestra	Fecha	TWA (mg/m3)	TLV-TWA (mg/m3)	Concentración máxima de uso*	Nivel de exposición con uso de respirador
12	14/02/2019	0.2754	0.05	0.5	MODERADO
13	08/03/2019	2.2044	0.05	0.5	INACEPTABLE
14	14/03/2019	0.0824	0.05	0.5	ACEPTABLE
15	20/03/2019	1.0026	0.05	0.5	INACEPTABLE
16	28/03/2019	0.3168	0.05	0.5	MODERADO
17	16/04/2019	0.1319	0.05	0.5	ACEPTABLE
18	22/04/2019	0.2897	0.05	0.5	MODERADO
19	25/04/2019	0.6014	0.05	0.5	INACEPTABLE
20	09/05/2019	0.1236	0.05	0.5	ACEPTABLE
21	15/05/2019	0.3976	0.05	0.5	MODERADO
22	24/05/2019	0.021	0.05	0.5	ACEPTABLE
23	30/05/2019	0.8182	0.05	0.5	INACEPTABLE
24	04/07/2019	0.3008	0.05	0.5	MODERADO
25	11/07/2019	1.4076	0.05	0.5	INACEPTABLE
26	11/07/2019	0.5425	0.05	0.5	INACEPTABLE
27	12/07/2019	0.0388	0.05	0.5	ACEPTABLE
28	18/07/2019	0.1061	0.05	0.5	ACEPTABLE
29	25/07/2019	0.4036	0.05	0.5	MODERADO
30	25/07/2019	0.439	0.05	0.5	MODERADO
31	01/08/2019	0.3654	0.05	0.5	MODERADO
32	01/08/2019	1.0943	0.05	0.5	INACEPTABLE
33	09/08/2019	0.3781	0.05	0.5	MODERADO
34	23/08/2019	0.3071	0.05	0.5	MODERADO
35	23/08/2019	0.1391	0.05	0.5	ACEPTABLE
36	29/08/2019	0.0392	0.05	0.5	ACEPTABLE

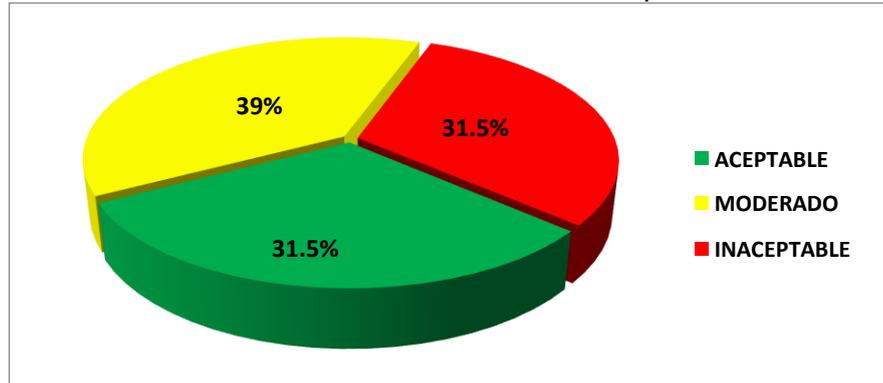
Nota Con el fin de interpretar el nuevo nivel de exposición por el uso del respirador, se está considerando a la concentración máxima de uso como el nuevo límite permisible. Además, el nuevo nivel de acción será el 50% de la concentración máxima de uso.

De los resultados anteriores, se obtiene la siguiente figura 5, del cual se puede observar que el 31.5% de las mediciones resultaron con niveles inaceptables (concentraciones por encima del límite permisible), el 39% moderado y el 31.5% aceptable.

Respecto del figura 5 se puede observar una notable reducción en el porcentaje de exposiciones inaceptables debido al uso del respirador de media cara del 89% al 31.5%. Sin embargo, el respirador de media cara es un control insuficiente debido a que aún se tiene aproximadamente un tercio de exposiciones inaceptables.

Figura 5

Resultados de las mediciones considerando la CMU del respirador de media cara

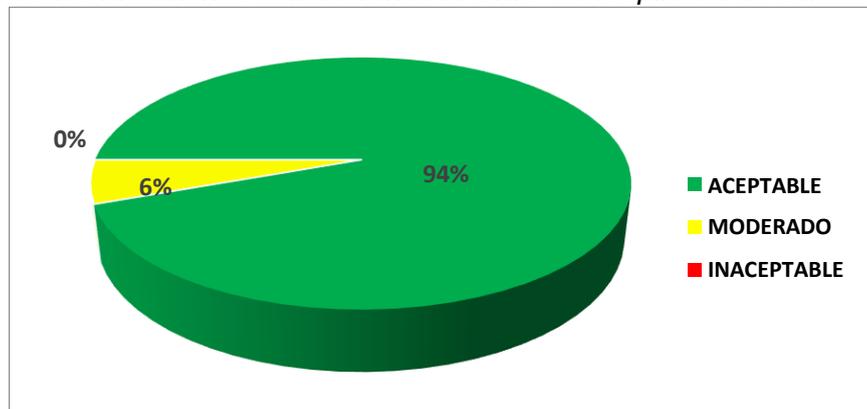


En el supuesto que se sustituya el uso del respirador de media cara por un respirador de cara completa, que cuenta con un mayor factor de protección asignado según la tabla 1 del estándar OSHA – 29 CFR 1910.134(d)(3)(i)(A). Tendríamos una concentración máxima de uso de $50 \times 0.05 \text{ mg/m}^3 = 2.5 \text{ mg/m}^3$ para el respirador de cara completa.

Al comparar los resultados de las mediciones con la concentración máxima de uso de 2.5 mg/m^3 por posible uso del respirador de cara completa, se obtendría el siguiente figura 6.

Figura 6

Resultados de las mediciones considerando la CMU del respirador de cara completa



Con la concentración máxima de uso para el respirador de cara completa, aparentemente se tendría a todas las exposiciones por debajo de ese ese valor, en consecuencia, no se tendría ninguna exposición como inaceptable.

4.2 Análisis estadístico de los resultados

Con el fin de analizar estadísticamente las mediciones, se consideró al puesto de auxiliar de operaciones del almacén de concentrado de plomo como un GES (grupo de exposición similar) y se determinó el perfil de exposición (estimación de la intensidad de la exposición y como puede variar con el tiempo).

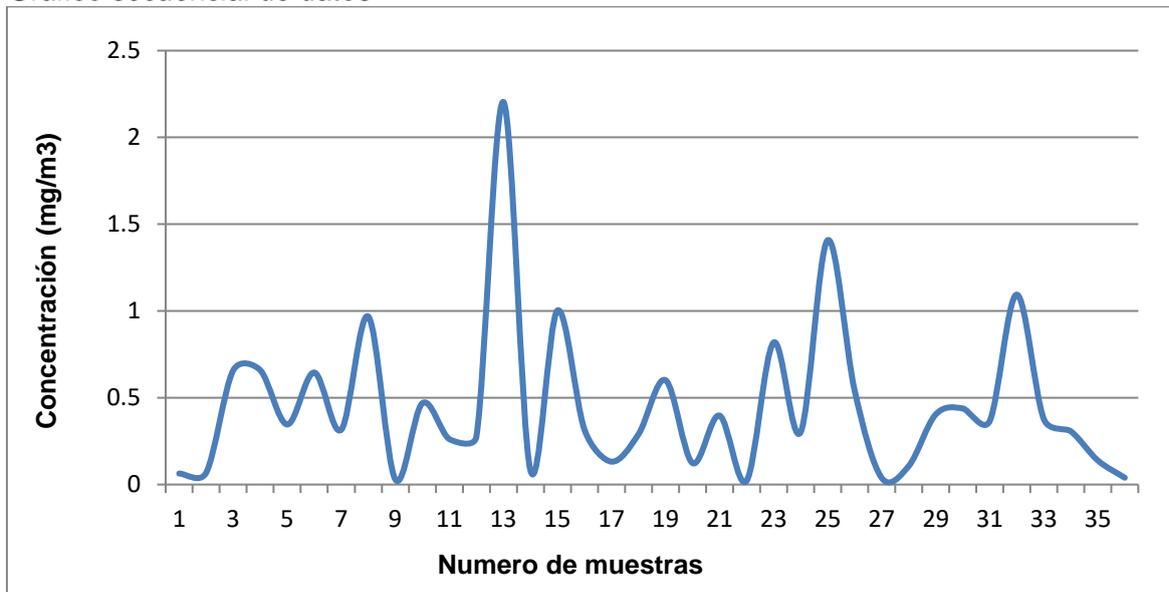
Para el análisis estadístico se utilizó la herramienta en Excel IHSTAT de la AIHA (Asociación americana de higiene industrial).

4.2.1 Estadística descriptiva:

- Numero de muestras	36
- Máximo	2.2044
- Mínimo	0.0021
- Rango	2.1834
- Porcentaje encima del TLV	88.9%
- Media	0.453
- Mediana	0.331
- Desviación estándar (S)	0.448
- Media geométrica (MG)	0.274
- Desviación estándar geométrica	3.11

Figura 7

Gráfico secuencial de datos



Del valor porcentaje por encima del TLV, se observa que aproximadamente 9 de cada 10 exposiciones están por encima del límite permisible de 0.05 mg/m^3 para plomo. La media de las exposiciones está por encima del límite permisible.

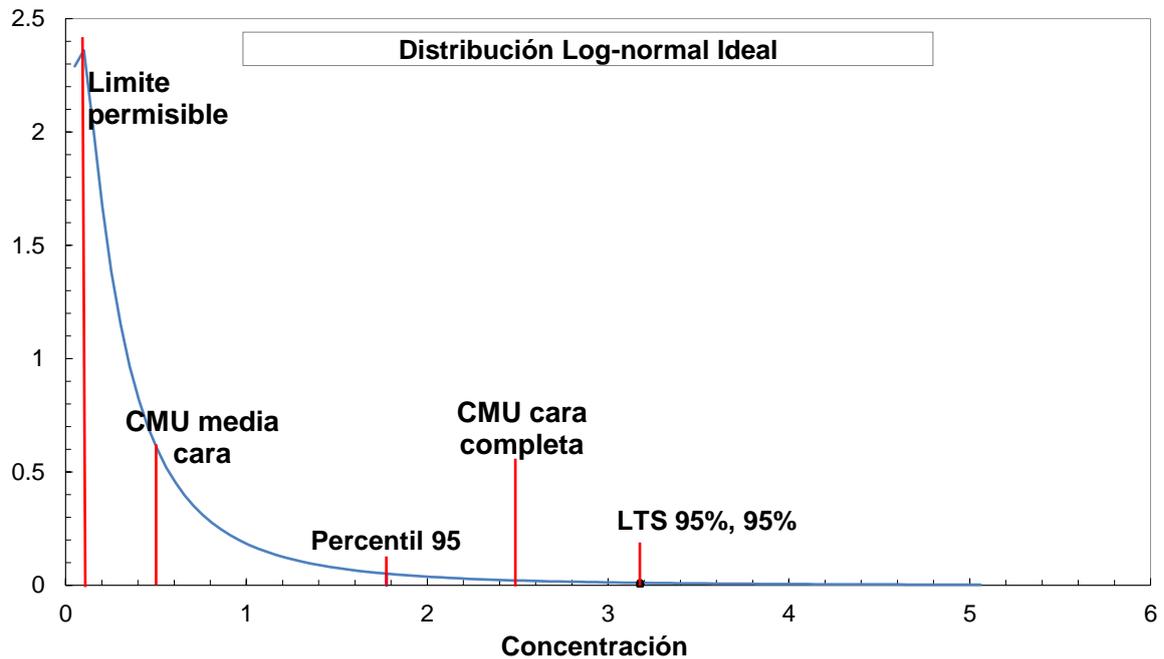
El valor más elevado de 2.2 mg/m^3 se encuentra por debajo de la concentración máxima de uso del respirador de cara completa de 2.5 mg/m^3 .

4.2.2 Prueba de ajuste

- Prueba W de datos log-transformados 0.95
¿Log-Normal ($\alpha = 0.05$)? Si
- Prueba o Test-W de datos 0.804
¿Normal ($\alpha = 0.05$)? No

Figura 8

Distribución Log normal



4.2.3 Estadísticas paramétricas para distribuciones Log-normales

- Media aritmética estimada (MA est.) 0.508
- LCI1, 95% - Land's "Exacto" 0.366
- LCS1, 95% - Land's "Exacto" 0.846
- Percentil 95 1.775
- LTS 95%, 95% 3.177
- Fracción excedente del TLV 93.3%
- LCI1, 95%, %>TLV 86.2
- LCS1, 95%, %>TLV 97.1

Al comparar las concentraciones de máximo uso de los respiradores de media cara y cara completa en la distribución log-normal de las mediciones, se obtienen los siguientes valores.

- Fracción excedente del CMU del respirador de media cara 29.9%
- Fracción excedente del CMU del respirador de cara completa 2.6%

Conclusiones

- De los resultados obtenidos en las 36 mediciones dosimétricas de plomo realizadas a lo largo de un año entre el 2018 y 2019 en el almacén de concentrado de plomo, el 89% resultó con niveles por encima del límite permisible. Además, al estimar la protección por el uso del respirador de media cara 3M, se obtuvo que la CMU del respirador de media cara es insuficiente debido a que el 31,5% de las mediciones se encuentra por encima de esa CMU.
- De la distribución log normal de los resultados, se obtiene que la estimación más probable es que el 93.3% de las exposiciones superen el límite máximo permisible para plomo de 0.5 mg/m^3 .
- El percentil 95 de las evaluaciones supera el Límite permisible y la CMU del respirador de media cara, pero es inferior a la CMU del respirador de cara completa de 2.5 mg/m^3 .
- La estimación más probable es que el 29.9% de las exposiciones superen la CMU del respirador de media cara. Además, el 2.6% de las exposiciones superen la concentración máximo uso del respirador de cara completa.
- Con un 95% de confianza el percentil 95 supera el límite permisible, la CMU del respirador de media cara y CMU del respirador de cara completa.
- Es necesario la implementación urgente de controles de ingeniería para reducir las exposiciones a plomo.

Recomendaciones

- Verificar el cumplimiento del programa de mantenimiento de los extractores del área de encapsulado de Plomo.
- Evaluar la posibilidad de regar con agua las rumas de concentrado de plomo, especialmente cuando el concentrado llega con bajos niveles de humedad.
- Según lo mencionado por Miguel (2017) se recomienda evaluar la posibilidad de aumentar la capacidad de extracción del sistema de ventilación en un 60% al cambiar los 3 extractores actuales de 37500 cfm por otros extractores de 56500 cfm para alcanzar las 2 renovaciones de aire por hora.
- Debido al suministro de respiradores a los trabajadores, se recomienda implementar un programa de protección respiratoria con procedimientos específicos. El programa deberá actualizarse según sea necesario para reflejar aquellos cambios en las condiciones de trabajo que afecten el uso del respirador. Según OSHA el programa deberá incluir los siguientes elementos:
 - Procedimientos para seleccionar respiradores para uso en el lugar de trabajo.
 - Evaluaciones médicas de empleados obligados a usar respiradores.
 - Procedimientos para pruebas de ajuste de respiradores.
 - Procedimientos para el uso adecuado de respiradores en actividades rutinarias.
 - Procedimientos y cronogramas para limpiar, desinfectar, almacenar, inspeccionar, reparar y desechar los respiradores.
 - Capacitación a los trabajadores sobre los peligros respiratorios a los que están potencialmente expuestos durante las actividades rutinarias.
 - Capacitación a los trabajadores sobre el adecuado uso de los respiradores, limitaciones en su uso y mantenimiento.
 - Procedimientos para evaluar periódicamente la eficacia del programa.

- Asegurar que los trabajadores que utilicen respirador de media cara reutilizables pasen por una prueba de ajuste cualitativo o cuantitativo, por lo menos una vez al año.
- Verificar que los trabajadores realicen los cambios oportunos de los respiradores y filtros una vez que estos hayan alcanzado el tiempo de vida útil o cuando estos debido al uso se hayan deteriorado.
- Supervisar el continuo y adecuado uso de los respiradores por parte de los trabajadores en las áreas operativas durante la jornada de trabajo.
- Los auxiliares de operaciones que ingresen al área de encapsulado de plomo deberán usar respiradores de cara completa, debido a las elevadas concentraciones de plomo y la insuficiente protección brindada por el respirador de media cara.
- Todos los respiradores deberán almacenarse para protegerlos de daños, contaminación, polvo, luz solar, humedad excesiva y productos químicos dañinos, y deberán empacarse o almacenarse para evitar la deformación de la pieza facial y laválvula de exhalación (OSHA, 1998).
- Si algún trabajador usa anteojos u otro equipo de protección personal, se debe asegurar de que dicho equipo se use de manera que no interfiera con el sello de la pieza facial a la cara del usuario (OSHA, 1998).
- Asegurarse de que los respiradores se limpien y desinfecten utilizando los procedimientos recomendados por el fabricante del respirador (OSHA, 1998).
- Según lo recomendado por OSHA todos los respiradores utilizados en situaciones de rutina deberán inspeccionarse antes de cada uso y durante la limpieza. Las inspecciones de respiradores incluirán lo siguiente:
 - Una verificación del funcionamiento del respirador, el ajuste de las conexiones y el estado de las diversas piezas, incluidas, entre otras, la pieza facial, las correas para la cabeza, las válvulas, los cartuchos y filtros.
 - Una revisión de las partes elásticas para verificar su flexibilidad y signos de

deterioro.

- Los auxiliares de operaciones deberán recibir capacitación integral, comprensible y repetirse anualmente, y más a menudo si es necesario.
- Según lo recomendado por OSHA los trabajadores deberán demostrar conocimiento al menos en lo siguiente:
 - ¿Por qué es necesario el respirador y cómo un ajuste, uso o mantenimiento inadecuados pueden comprometer el efecto protector del respirador?
 - ¿Cuáles son las limitaciones y capacidades del respirador?
 - ¿Cómo usar el respirador de manera efectiva en situaciones de emergencia, incluidas situaciones en las que el respirador no funciona correctamente?
 - ¿Cómo inspeccionar, ponerse y quitarse, usar y revisar los sellos del respirador?
 - ¿Cuáles son los procedimientos para el mantenimiento y almacenamiento del respirador?

Referencias bibliográficas

- Bravo Andia, A. A. (2015). *Evaluación de la exposición ocupacional a polvos y humos metálicos en una planta de afino y moldeo de una industria metalúrgica*. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería.
- Perú. (1997). *Ley 26842: Ley general de salud*. Peru.
- MINEM. (2017). *DS-023-2017-EM: Modifican diversos artículos y anexos del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, aprobado por Decreto Supremo N° 024-2016-EM*. Ministerio de Energía y Minas. <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1555418-2>
- MINEM (1994). *Guía ambiental de manejo y transporte de concentrados*. Lima. Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros, Ministerio de Energía y Minas. <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/guiaminera-xviii.pdf>
- MINSA. (2005). *DS 015-2005-SA: Reglamento sobre valores límites permisibles para agentes químicos en ambientes de trabajo*. Ministerio de Salud. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/280981/252380_DS015-2005-SA.pdf20190110-18386-10o4hbf.pdf?v=1547173561
- OSHA. (s.f.). *OSHA-29 CFR 1910.134*. Occupational Safety and Health Administration, USA. <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.134>
- Quistan Mas, L. M. (2017). *Propuesta para la implementación de controles operacionales para mejorar las condiciones ambientales en el almacén de plomo de la empresa impala terminals Perú SAC*. Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica del Peru.
- SNMPE. (2019). *Plomo*. Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía <https://www.snmpe.org.pe/mineria/publicaciones-del-sector-minero/los-minerales/241-el-plomo.html>
- VIVIENDA. (2020). *RM-N° 232-2020-VIVIENDA: Modifican la Norma Técnica EM.030 Instalaciones de Ventilación del Reglamento Nacional de Edificaciones y dictan*

otras disposiciones. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1317239/RM%20232-2020-VIVIENDA.pdf?v=1600895714>

Anexos

Anexo 1: Protocolos de prueba de ajuste.....	1
Anexo 2: Procedimientos de verificación del sello del usuario	18
Anexo 3: Procedimiento de limpieza de respiradores.....	19

Anexo 01: Protocolos de prueba de ajuste

A. Requisitos generales

Se deberá realizar pruebas de ajuste usando los siguientes procedimientos según (OSHA, 1998):

1. Antes de la prueba, se debe explicar al trabajador cómo ponerse un respirador, cómo debe colocarse en la cara, cómo ajustar la tensión de la correa y cómo determinar un ajuste aceptable. Debe haber un espejo disponible para ayudar al trabajador a evaluar el ajuste y la posición del respirador.
2. Si el trabajador no está familiarizado con el uso de un respirador en particular, se le indicará que se ponga la máscara varias veces y que ajuste las correas cada vez para volverse experto en ajustar la tensión adecuada en las correas.
3. Se utilizarán los siguientes criterios para ayudar a determinar la idoneidad del ajuste del respirador:
 - Mentón correctamente colocado;
 - Tensión adecuada de la correa, no demasiado apretada;
 - Ajuste a través del puente de la nariz;
 - Respirador del tamaño adecuado para cubrir la distancia desde la nariz hasta la barbilla
 - Tendencia del respirador a resbalar;
 - Autoobservación en el espejo para evaluar el ajuste y la posición del respirador.
4. Antes de realizar las comprobaciones de presión negativa y positiva, se le indicará al trabajador que se coloque la máscara en la cara moviendo la cabeza de un lado a otro y de arriba a abajo lentamente mientras respira lenta y profundamente.
5. La prueba no se debe realizar si hay crecimiento de vello entre la piel y la superficie de sellado de la pieza facial, como crecimiento de barba incipiente, barba, bigote o patillas que cruzan la superficie de sellado del respirador.
Cualquier tipo de vestimenta que interfiera con un ajuste satisfactorio deberá ser

alterada o removida.

6. Si un trabajador muestra dificultad para respirar durante las pruebas, se lo derivará a un médico u otro profesional de la salud con licencia, según
7. corresponda, para determinar si el trabajador puede usar un respirador mientras realiza sus funciones.
8. Si el trabajador encuentra que el ajuste del respirador es inaceptable, se le debe dar al trabajador la oportunidad de seleccionar un respirador diferente y volver a realizar la prueba.
9. Régimen de ejercicio. Antes del comienzo de la prueba de ajuste, el trabajador debe recibir una descripción de la prueba de ajuste y las responsabilidades del trabajador durante el procedimiento de prueba. La descripción del proceso incluirá una descripción de los ejercicios de prueba que realizará. El respirador que se va a probar se debe usar durante al menos 5 minutos antes del comienzo de la prueba de ajuste.
10. La prueba de ajuste se debe realizar mientras el trabajador usa cualquier equipo de seguridad aplicable que se pueda usar durante el uso real del respirador que podría interferir con el ajuste del respirador.
11. Ejercicios de prueba.
 - a. Los empleadores deben realizar los siguientes ejercicios de prueba:
 - Respiración normal. En una posición normal de pie, sin hablar, el trabajador respirará normalmente.
 - Respiración profunda. En una posición normal de pie, el trabajador debe respirar lenta y profundamente, teniendo cuidado de no hiperventilar.
 - Girar la cabeza de lado a lado. De pie en su lugar, el trabajador girará lentamente la cabeza de lado a lado entre las posiciones extremas de cada lado. La cabeza se sostendrá en cada extremo momentáneamente para que el sujeto pueda inhalar en cada lado.
 - Mover la cabeza hacia arriba y hacia abajo. De pie en su lugar, el trabajador

- moverá lentamente su cabeza hacia arriba y hacia abajo. Se le indicará al trabajador que inhale en posición elevada (es decir, mirando hacia el techo).
- Hablar. El trabajador debe hablar en voz alta, despacio y lo suficientemente alto como para que el conductor de la prueba lo escuche claramente. El trabajador puede leer un texto preparado, contar hacia atrás desde 100 o recitar un poema o una canción memorizados.
 - Mueca. El trabajador deberá hacer una mueca sonriendo o frunciendo el ceño. (Esto se aplica solo a las pruebas cuantitativas; no se realiza para las cualitativas)
 - Agacharse. El trabajador debe doblarse por la cintura como si fuera a tocarse los dedos de los pies. El trote en el lugar se sustituirá por este ejercicio en aquellos entornos de prueba tipo cubierta que no permiten doblar la cintura.
- b. Cada ejercicio de prueba se realizará durante un minuto excepto el ejercicio de muecas que se realizará durante 15 segundos. El trabajador debe ser cuestionado por el conductor de la prueba con respecto a la comodidad del respirador al completar el protocolo. Si se vuelve inaceptable, se probará con otro modelo de respirador. El respirador no se ajustará una vez que comiencen los ejercicios de prueba de ajuste. Cualquier ajuste anula la prueba y se debe repetir la prueba de ajuste (OSHA, 1998).

B. Protocolos de prueba de ajuste cualitativo (QLFT)

1. General

- a. El empleador deberá garantizar que las personas que administren QLFT puedan preparar soluciones de prueba, calibrar equipos y realizar pruebas correctamente, reconocer pruebas inválidas y asegurarse de que los equipos de prueba funcionen correctamente.
- b. El empleador deberá asegurarse de que el equipo QLFT se mantenga limpio y en buen estado para que funcione dentro de los parámetros para los que fue diseñado (OSHA, 1998).

2. Protocolo de aerosol en solución de sacarina

Todo el procedimiento de detección y prueba según (OSHA, 1998) deberá ser explicado al trabajador antes de la realización de la prueba de detección.

- 2.1. El examen del umbral del sabor de la sacarina, realizado sin usar un respirador, tiene como objetivo determinar si la persona que se somete a la prueba puede detectar el sabor de la sacarina.

Nota: Si el trabajador come o bebe algo dulce antes de la prueba de detección, es posible que no pueda saborear la solución débil de sacarina.

- a. Durante la evaluación de umbral, así como durante la prueba de ajuste, los trabajadores deben usar un recinto alrededor de la cabeza y los hombros que tenga aproximadamente 12 pulgadas de diámetro por 14 pulgadas de alto con al menos la parte frontal despejada y que permita movimientos libres de la cabeza cuando se usa un respirador. Es adecuado un gabinete sustancialmente similar al conjunto de campana de 3M.
- b. El recinto de prueba deberá tener un orificio de $\frac{3}{4}$ de pulgada (1,9 cm) frente al área de la nariz y la boca del trabajador para acomodar la boquilla del nebulizador.
- c. El trabajador deberá ponerse el recinto de prueba. A lo largo de la prueba de selección de umbral, el trabajador debe respirar a través de su boca ligeramente abierta con la lengua extendida. Se instruye al sujeto para que informe cuando

- detecte un sabor dulce.
- d. Usando un Nebulizador de Medicamentos de Inhalación Modelo 40 de DeVilbiss o equivalente, el conductor de la prueba deberá rociar la solución de verificación de umbral dentro del recinto. La boquilla se dirige lejos de la nariz y la boca de la persona. Este nebulizador debe estar claramente marcado para distinguirlo del nebulizador de solución de prueba de ajuste.
 - e. La solución de control de umbral se prepara disolviendo 0,83 gramos de sacarina sódica USP en 100 ml de agua tibia. Puede prepararse poniendo 1 ml de la solución de prueba de ajuste (ver (b)(5) a continuación) en 100 ml de agua destilada.
 - f. Para producir el aerosol, el bulbo del nebulizador se aprieta firmemente para que se colapse por completo, luego se suelta y se deja que se expanda por completo.
 - g. Se repiten rápidamente diez apretones y luego se pregunta al trabajador si se puede saborear la sacarina. Si el trabajador informa haber probado el sabor dulce durante los diez apretones, se completa la prueba de detección. El umbral de sabor se anota como diez, independientemente del número de apretones realmente completados.
 - h. Si la primera respuesta es negativa, se repiten rápidamente diez apretones más y se vuelve a preguntar al trabajador si ha probado la sacarina. Si el trabajador informa haber sentido el sabor dulce durante los segundos diez apretones, se completa la prueba de detección. El umbral de sabor se observa como veinte, independientemente del número de exprimidos realmente completados.
 - i. Si la segunda respuesta es negativa, se repiten rápidamente diez apretones más y se vuelve a preguntar al trabajador si ha probado la sacarina. Si el trabajador informa haber probado el sabor dulce durante la tercera serie de diez apretones, se completa la prueba de detección. El umbral de sabor se observa como treinta, independientemente del número de exprimidos realmente completados.
 - j. El conductor de la prueba tomará nota del número de apretones necesarios para

solicitar una respuesta de sabor.

- k. Si no se prueba la sacarina después de 30 apretones (paso 10), el trabajador no puede saborear la sacarina y no puede realizar la prueba de ajuste de la sacarina.
- l. Si se obtiene una respuesta gustativa, se le pedirá al trabajador que tome nota del gusto como referencia en la prueba de ajuste.
- m. El uso correcto del nebulizador significa que se utiliza aproximadamente 1 ml de líquido a la vez en el cuerpo del nebulizador.
- n. El nebulizador deberá enjuagarse completamente con agua, sacudirse para secarse y rellenarse al menos cada mañana y tarde o al menos cada cuatro horas (OSHA, 1998).

2.2. Procedimiento de prueba de ajuste de aerosol de solución de sacarina

- a. El trabajador no puede comer, beber (excepto agua corriente), fumar ni mascar chicle durante los 15 minutos anteriores a la prueba.
- b. La prueba de ajuste utiliza el mismo recinto descrito anteriormente.
- c. El trabajador deberá ponerse el recinto mientras usa el respirador. El respirador deberá estar debidamente ajustado y equipado con filtro(s) de partículas.
- d. Se utiliza un segundo nebulizador de medicamentos por inhalación modelo 40 de DeVilbiss o equivalente para rociar la solución de prueba de ajuste en el recinto. Este nebulizador debe estar claramente marcado para distinguirlo del nebulizador de solución de prueba de detección.
- e. La solución de prueba de ajuste se prepara agregando 83 gramos de sacarina sódica a 100 ml de agua tibia.
- f. Como antes, el trabajador debe respirar a través de la boca ligeramente abierta con la lengua extendida e informar si prueba el sabor dulce de la sacarina.
- g. El nebulizador se inserta en el orificio en la parte delantera del recinto y se rocía una concentración inicial de solución de prueba de ajuste de sacarina en el recinto utilizando la misma cantidad de apretones (ya sea 10, 20 o 30 apretones) en función del número de apretones requeridos para provocar una respuesta de sabor

como se observó durante la prueba de detección. Se requiere un mínimo de 10 apretones.

- h. Después de generar el aerosol, se debe instruir al trabajador para que realice los ejercicios.
- i. Cada 30 segundos, la concentración de aerosol deberá reponerse utilizando la mitad del número original de apretones utilizados inicialmente (p. ej., 5, 10 ó 15).
- j. El trabajador deberá indicar al conductor de la prueba si en algún momento durante la prueba de ajuste detecta sabor a sacarina. Si el trabajador no informa haber probado la sacarina, se pasa la prueba.
- k. Si se detecta sabor a sacarina, el ajuste se considera insatisfactorio y se falla la prueba. Se probará un respirador diferente y se repetirá todo el procedimiento de prueba (detección de umbral de sabor y prueba de ajuste).
- l. Dado que el nebulizador tiene tendencia a obstruirse durante el uso, el responsable de la prueba debe realizar controles periódicos del nebulizador para asegurarse de que no esté obstruido. Si se encuentra una obstrucción al final de la sesión de prueba, la prueba no es válida (OSHA, 1998).

3. Protocolo de humo irritante (cloruro estánico)

Esta prueba de ajuste cualitativa según (OSHA, 1998) usa la respuesta de una persona a los químicos irritantes liberados en el "humo" producido por un tubo de humo de ventilación de cloruro estánico para detectar fugas en el respirador.

3.1. Requisitos generales y precauciones

- a. El respirador a probar deberá estar equipado con filtro(s) de aire de partículas de alta eficiencia (HEPA) o filtro(s) de la serie P100.
- b. Solo se deben usar tubos de humo de cloruro estánico para este protocolo.
- c. No se utilizará ningún tipo de recinto de prueba o campana para el trabajador.
- d. El humo puede irritar los ojos, los pulmones y las fosas nasales. El conductor de la prueba deberá tomar precauciones para minimizar la exposición del trabajador al humo irritante. La sensibilidad varía y ciertas personas pueden responder en

mayor medida al humo irritante. Se debe tener cuidado al realizar las verificaciones de detección de sensibilidad que determinan si el trabajador puede detectar humo irritante para usar solo la cantidad mínima de humo necesaria para obtener una respuesta del trabajador.

- e. La prueba de ajuste se debe realizar en un área con ventilación adecuada para evitar la exposición de la persona que realiza la prueba de ajuste o la acumulación de humo irritante en la atmósfera general (OSHA, 1998).

3.2. Comprobación de detección de sensibilidad

La persona que se someterá a la prueba debe demostrar su capacidad para detectar una concentración débil del humo irritante.

- a. El responsable de la prueba deberá romper ambos extremos de un tubo de humo de ventilación que contenga cloruro estannico y conectar un extremo del tubo de humo a una bomba de aire de bajo flujo configurada para entregar 200 mililitros por minuto, o un bulbo de presión aspirador. El responsable de la prueba deberá cubrir el otro extremo del tubo de humo con un trozo corto de tubería para evitar posibles lesiones por el extremo dentado del tubo de humo.
- b. El responsable de la prueba deberá advertir al trabajador que el humo puede irritar los ojos, los pulmones y las fosas nasales e instruir al trabajador para que mantenga los ojos cerrados mientras se realiza la prueba.
- c. Se debe permitir que el trabajador huelga una concentración débil del humo irritante antes de ponerse el respirador para familiarizarse con sus propiedades irritantes y determinar si puede detectar las propiedades irritantes del humo. El responsable de la prueba deberá dirigir con cuidado una pequeña cantidad del humo irritante en la dirección del sujeto de la prueba para determinar si puede detectarlo (OSHA, 1998).

3.3. Procedimiento de prueba de ajuste de humo irritante

- a. La persona que se somete a la prueba de ajuste debe colocarse el respirador sin ayuda y realizar las comprobaciones de sello requeridas por el usuario.

- b. Se le indicará al trabajador que mantenga los ojos cerrados.
- c. El responsable de la prueba deberá dirigir la corriente de humo irritante desde el tubo de humo hacia el área del sello facial del trabajador, usando la bombada bajo flujo o el bulbo de presión. El responsable de la prueba deberá comenzar al menos a 12 pulgadas de la pieza facial y mover el chorro de humo alrededor de todo el perímetro de la máscara. El responsable de la prueba deberá hacer gradualmente dos pases más alrededor del perímetro de la máscara, moviéndose dentro de las seis pulgadas del respirador.
- d. Si la persona que está siendo evaluada no ha tenido una respuesta involuntaria y/o no ha detectado el humo irritante, continúe con los ejercicios de prueba.
- e. Los ejercicios mencionados con anterioridad deberán ser realizados por el trabajador mientras el sello del respirador está siendo desafiado continuamente por el humo, dirigido alrededor del perímetro del respirador a una distancia de seis pulgadas.
- f. Si la persona que se somete a la prueba de ajuste informa haber detectado el humo irritante en cualquier momento, la prueba falla. La persona a la que se le vuelve a realizar la prueba debe repetir todo el procedimiento de verificación de sensibilidad y prueba de ajuste.
- g. Cada trabajador que pase la prueba de humo irritante sin evidencia de una respuesta (tos involuntaria, irritación) deberá someterse a una segunda prueba de detección de sensibilidad, con el humo del mismo tubo de humo usado durante la prueba de ajuste, una vez que el respirador haya sido eliminado, para determinar si todavía reacciona al humo. La falta de evocar una respuesta anulará la prueba de ajuste.
- h. Si se produce una respuesta durante esta segunda verificación de sensibilidad, se pasa la prueba de ajuste (OSHA, 1998).

C. Protocolos de prueba de ajuste cuantitativo (QNFT)

Se ha demostrado según (OSHA, 1998) que los siguientes procedimientos de prueba de ajuste cuantitativa son aceptables: Prueba de ajuste cuantitativa utilizando un aerosol de prueba no peligroso (como aceite de maíz, polietilenglicol 400 [PEG 400], di-2-etil hexil sebacato [DEHS] o sodio cloruro) generado en una cámara de prueba, y empleando instrumentación para cuantificar el ajuste del respirador; Prueba de ajuste cuantitativa usando aerosol ambiental como agente de prueba e instrumentación apropiada (contador de núcleos de condensación) para cuantificar el ajuste del respirador; Prueba de ajuste cuantitativa usando presión negativa controlada e instrumentación adecuada para medir la tasa de fuga volumétrica de una pieza facial para cuantificar el ajuste del respirador.

1. General

- a. El empleador deberá asegurarse de que las personas que administren QNFT puedan calibrar el equipo y realizar las pruebas correctamente, reconocer las pruebas inválidas, calcular los factores de ajuste correctamente y asegurarse de que el equipo de prueba funcione correctamente.
- b. El empleador deberá asegurarse de que el equipo QNFT se mantenga limpio y se mantenga y calibre de acuerdo con las instrucciones del fabricante para operar en los parámetros para los cuales fue diseñado (OSHA, 1998).

2. Protocolo de prueba de ajuste cuantitativo de aerosol generado

2.1. Aparatos

- a. Instrumentación. Los sistemas de generación, dilución y medición de aerosoles que utilizan partículas (aceite de maíz, polietilenglicol 400 [PEG 400], sebacato de di-2-etilhexilo [DEHS] o cloruro de sodio) como aerosoles de prueba se deben usar para la prueba de ajuste cuantitativa.
- b. Cámara de prueba. La cámara de prueba debe ser lo suficientemente grande para permitir que todos los trabajadores realicen libremente todos los ejercicios requeridos sin perturbar la concentración del agente de prueba o el aparato de

medición. La cámara de prueba debe estar equipada y construída de modo que el agente de prueba esté efectivamente aislado del aire ambiente, pero uniforme en concentración en toda la cámara.

- c. El instrumento de muestreo debe seleccionarse de modo que se pueda hacer un registro de computadora o un registro de gráfico de tiras de la prueba que muestre el aumento y la caída de la concentración del agente de prueba con cada inspiración y expiración en factores de ajuste de al menos 2,000. Se pueden usar integradores o computadoras que integren la cantidad de fuga de penetración del agente de prueba en el respirador para cada ejercicio, siempre que se haga un registro de las lecturas.
- d. La combinación de elementos purificadores de aire sustitutos, agente de prueba y concentración del agente de prueba deberá ser tal que el trabajador no esté expuesto en exceso del límite de exposición establecido para el agente de prueba en ningún momento durante el proceso de prueba, con base en la duración de la exposición y la duración del límite de exposición.
- e. El puerto de muestreo en el respirador del espécimen de prueba deberá colocarse y construirse de manera que no ocurran fugas alrededor del puerto (p. ej., donde se prueba el respirador), se permita un flujo de aire libre en la línea de muestreo en todo momento, y no interfiere con el ajuste o el rendimiento del respirador. El dispositivo de muestreo dentro de la máscara (sonda) debe estar diseñado y utilizado de modo que la muestra de aire se extraiga de la zona de respiración del trabajador, a mitad de camino entre la nariz y la boca y con la sonda extendiéndose dentro de la cavidad de la pieza facial al menos 1/4 pulgada.
- f. La configuración de la prueba deberá permitir que la persona que administra la prueba observe al trabajador dentro de la cámara durante la prueba.
- g. El equipo que genera la atmósfera de prueba deberá mantener constante la concentración del agente de prueba dentro de una variación del 10 por ciento durante la duración de la prueba.

- h. El lapso de tiempo (intervalo entre un evento y el registro del evento en el gráfico de banda o computadora o integrador) deberá mantenerse al mínimo. Debe haber una asociación clara entre la ocurrencia de un evento y su registro.
- i. La tubería de la línea de muestreo para la atmósfera de la cámara de prueba y para el puerto de muestreo del respirador deberá ser del mismo diámetro y del mismo material. La longitud de las dos líneas será igual.
- j. El flujo de escape de la cámara de prueba deberá pasar a través de un filtro apropiado (es decir, un filtro de partículas de alta eficiencia) antes de la liberación.
- k. Cuando se usa aerosol de cloruro de sodio, la humedad relativa dentro de la cámara de prueba no debe exceder el 50 por ciento.
- l. Las limitaciones de detección del instrumento se tendrán en cuenta al determinar el factor de ajuste.
- m. Los respiradores de prueba deberán mantenerse en buen estado de funcionamiento y ser inspeccionados periódicamente para detectar deficiencias tales como grietas o válvulas y juntas faltantes (OSHA, 1998).

2.2. Requisitos de procedimiento según (OSHA, 1998)

- a. Al realizar la verificación inicial del sello del usuario usando una verificación de presión positiva o negativa, la línea de muestreo debe cerrarse a presión para evitar fugas de presión de aire durante cualquiera de estas verificaciones de presión.
- b. El uso de una prueba QLFT de detección abreviada es opcional. Dicha prueba se puede utilizar para identificar rápidamente los respiradores que no se ajustan bien y que pasaron la prueba de presión positiva y/o negativa y reducir la cantidad de tiempo de QNFT. El uso del instrumento CNC QNFT en el modo de conteo es otro método opcional para obtener una estimación rápida del ajuste y eliminar los respiradores que no ajustan correctamente antes de realizar un QNFT completo.
- c. Se debe medir una concentración de agente de prueba razonablemente estable en la cámara de prueba antes de la prueba. Para los tipos de unidades de prueba de

dosel o cortina de baño, la determinación de la estabilidad del agente de prueba puede establecerse después de que el trabajador haya ingresado al entorno de prueba.

- d. Inmediatamente después de que el trabajador ingrese a la cámara de prueba, se debe medir la concentración del agente de prueba dentro del respirador para garantizar que la penetración máxima no exceda el 5 por ciento para una media máscara o el 1 por ciento para un respirador de pieza facial completa.
- e. Se debe obtener una concentración estable del agente de prueba antes del comienzo real de la prueba.
- f. Las correas de sujeción del respirador no deben apretarse demasiado para la prueba. El usuario debe ajustar las correas sin la ayuda de otras personas para lograr un ajuste razonablemente cómodo típico del uso normal. El respirador no se ajustará una vez que comiencen los ejercicios de prueba de ajuste.
- g. La prueba deberá terminarse siempre que cualquier penetración máxima única exceda el 5 por ciento para medias máscaras y el 1 por ciento para respiradores de pieza facial completa. El trabajador debe ser reacondicionado y vuelto a probar.
- h. Cálculo de factores de ajuste según (OSHA, 1998).
 - El factor de ajuste deberá determinarse para la prueba de ajuste cuantitativa tomando la relación de la concentración promedio en la cámara a la concentración medida dentro del respirador para cada ejercicio de prueba excepto el ejercicio de mueca.
 - La concentración promedio de la cámara de prueba deberá calcularse como el promedio aritmético de la concentración medida antes y después de cada prueba (es decir, 7 ejercicios) o el promedio aritmético de la concentración medida antes y después de cada ejercicio o el verdadero promedio medido continuamente durante la muestra del respirador.
 - La concentración del agente de desafío dentro del respirador deberá determinarse mediante uno de los siguientes métodos:

- Método de penetración máxima promedio significa el método para determinar la penetración del agente de prueba en el respirador utilizando un registrador gráfico de banda, integrador o computadora. La penetración del agente está determinada por un promedio de las alturas de los picos en el gráfico o por integración de computadora, para cada ejercicio excepto el ejercicio de muecas. Los integradores o computadoras que calculan la penetración real del agente de prueba en el respirador para cada ejercicio también se considerarán para cumplir con los requisitos del método de penetración pico promedio.
- Método de penetración máxima máxima significa el método para determinar la penetración del agente de prueba en el respirador según lo determinado por los registros de tiras gráficas de la prueba. La penetración pico más alta para un ejercicio determinado se considera representativa de la penetración promedio en el respirador para ese ejercicio.
- Integración por cálculo del área bajo el pico individual para cada ejercicio excepto el ejercicio de la mueca. Esto incluye la integración computarizada.
- El cálculo del factor de ajuste general utilizando factores de ajuste de ejercicios individuales implica primero convertir los factores de ajuste del ejercicio en valores de penetración, determinar el promedio y luego convertir ese resultado nuevamente en un factor de ajuste. Este procedimiento se describe en la siguiente ecuación:

$$\text{Overall Fit Factor} = \frac{\text{Number of exercises}}{1/ff_1 + 1/ff_2 + 1/ff_3 + 1/ff_4 + 1/ff_5 + 1/ff_7 + 1/ff_8}$$

Donde ff 1 , ff 2 , ff 3 , etc. son los factores de ajuste para los ejercicios 1, 2, 3, etc.

- i. No se debe permitir que el sujeto de prueba use un respirador de media máscara o pieza facial de cuarto de cara a menos que se obtenga un factor de ajuste mínimo de 100, o un respirador de pieza facial completa a menos que se obtenga un factor de ajuste mínimo de 500.
 - j. Los filtros utilizados para la prueba de ajuste cuantitativa deben reemplazarse siempre que se encuentre una mayor resistencia a la respiración o cuando el agente de prueba haya alterado la integridad del medio filtrante (OSHA, 1998).
3. Protocolo de prueba de ajuste cuantitativo del contador de núcleo de condensación de aerosol ambiental (CNC) según (OSHA, 1998)

El protocolo de prueba de ajuste cuantitativo (PortaCount®) del contador de núcleos de condensación de aerosol ambiental (CNC) prueba cuantitativamente el ajuste de los respiradores con el uso de una sonda. El respirador con sonda solo se usa para pruebas de ajuste cuantitativas. Un respirador con sonda tiene un dispositivo de muestreo especial, instalado en el respirador, que permite que la sonda tome muestras del aire del interior de la máscara. Se requiere un respirador con sonda para cada marca, estilo, modelo y tamaño que use el empleador y se puede obtener del fabricante o distribuidor del respirador. El principal fabricante de instrumentos CNC, TSI Incorporated, también proporciona accesorios de sonda (adaptadores de muestreo de máscara TSI) que permiten la prueba de ajuste en el propio respirador de un empleado. Se necesita un nivel mínimo de aprobación del factor de ajuste de al menos 100 para un respirador de media máscara (pieza facial elastomérica o filtrante), y se requiere un nivel mínimo de aprobación del factor de ajuste de al menos 500 para un respirador elastomérico de pieza facial completa. Todo el procedimiento de detección y prueba deberá ser explicado al sujeto de prueba antes de la realización de la prueba de detección.

3.1. Requisitos de la prueba de ajuste de PortaCount® según (OSHA, 1998)

- a. Revise el respirador para asegurarse de que la sonda de muestreo y la línea estén conectadas correctamente a la pieza facial y que el respirador esté equipado con un filtro de partículas capaz de evitar una penetración significativa de las

partículas ambientales utilizadas para la prueba de ajuste (p. ej., NIOSH 42 CFR 84 filtro de partículas serie 100, serie 99 o serie 95) según las instrucciones del fabricante.

- b. Indique a la persona que se someterá a la prueba que se ponga el respirador durante cinco minutos antes de que comience la prueba de ajuste. Esto purga las partículas ambientales atrapadas dentro del respirador y permite que el usuario se asegure de que el respirador sea cómodo. Este trabajador ya debe haber recibido capacitación sobre cómo usar el respirador correctamente.
- c. Verificar las siguientes condiciones para la idoneidad del ajuste del respirador:
barbilla bien colocada; Tensión adecuada de la correa, no demasiado apretada; Ajuste a través del puente de la nariz; Respirador del tamaño adecuado para abarcar la distancia desde la nariz hasta la barbilla; Tendencia del respirador a deslizarse; Autoobservación en un espejo para evaluar el ajuste y la posición del respirador.
- d. Pídale a la persona que usa el respirador que haga una verificación del sello del usuario. Si se detecta una fuga, determine la causa. Si la fuga se debe a una pieza facial mal ajustada, pruebe con otro tamaño del mismo modelo de respirador u otro modelo de respirador.
- e. Siga las instrucciones del fabricante para operar el PortaCount® y proceda con la prueba.
- f. El trabajador deberá ser instruido para realizar los ejercicios mencionados con anterioridad.
- g. Después de los ejercicios de prueba, el responsable de la prueba deberá interrogar al trabajador sobre la comodidad del respirador al completar el protocolo. Si se vuelve inaceptable, se probará con otro modelo de respirador (OSHA, 1998).

3.2. Instrumento de prueba PortaCount®.

- a. El PortaCount® se detendrá automáticamente y calculará el factor de ajuste general para todo el conjunto de ejercicios. El factor de ajuste

general es lo que cuenta. El mensaje Pasa o Falla indicará si la prueba fue exitosa o no. Si la prueba fue Aprobada, la prueba de ajuste ha terminado.

- b. Dado que el criterio de aprobación o falla del PortaCount® es programable por el usuario, el responsable de la prueba debe asegurarse de que el criterio de aprobación o falla cumpla con los requisitos para el rendimiento mínimo del respirador.
- c. Se debe mantener un registro de la prueba en el archivo, asumiendo que la prueba de ajuste fue exitosa. El registro debe contener el nombre del sujeto de prueba; factor de ajuste global; marca, modelo, estilo y tamaño del respirador utilizado; y fecha de prueba.

Anexo 02: Procedimientos de verificación del sello del usuario

El trabajador que usa un respirador de ajuste hermético debe realizar una verificación del sello del usuario para garantizar que se logre un sello adecuado cada vez que se coloca el respirador. Se deben utilizar las comprobaciones de presión positiva y negativa. Las comprobaciones del sello del usuario no reemplazan las pruebas de ajuste cualitativas o cuantitativas (OSHA, 1998).

1. Comprobación de presión positiva

Cierre la válvula de exhalación y exhale suavemente en la pieza facial. El ajuste de la cara se considera satisfactorio si se puede generar una ligera presión positiva dentro de la pieza facial sin evidencia de fuga de aire hacia el exterior en el sello.

Para la mayoría de los respiradores, este método de prueba de fugas requiere que el usuario retire primero la cubierta de la válvula de exhalación antes de cerrar la válvula de exhalación y luego vuelva a colocarla con cuidado después de la prueba (OSHA, 1998).

2. Comprobación de presión negativa

Cierre la abertura de entrada del recipiente o cartucho(s) cubriéndolo con la palma de la(s) mano(s) o reemplazando el(los) sello(s) del filtro, inhale suavemente para que la pieza facial se colapse levemente y contenga la respiración durante diez segundos. . El diseño de la abertura de entrada de algunos cartuchos no se puede cubrir de manera efectiva con la palma de la mano. La prueba se puede realizar cubriendo la abertura de entrada del cartucho con un guante delgado de látex o nitrilo. Si la pieza facial permanece en su condición ligeramente colapsada y no se detecta ninguna fuga de aire hacia el interior, la estanqueidad del respirador se considera satisfactoria (OSHA, 1998).

Anexo 03: Procedimiento de limpieza de respiradores

Este procedimiento según (OSHA, 1998) es general, y como alternativa se puede usar las recomendaciones de limpieza provistas por el fabricante de los respiradores.

1. Retire los filtros, cartuchos o recipientes. Desmonte las piezas faciales retirando los diafragmas de habla, los conjuntos de válvulas de demanda y presión-demanda, las mangueras o cualquier componente recomendado por el fabricante. Deseche o repare cualquier pieza defectuosa.
2. Lave los componentes en agua tibia (43 °C como máximo) con un detergente suave o con un limpiador recomendado por el fabricante. Se puede usar un cepillode cerdas duras (no de alambre) para facilitar la eliminación de la suciedad.
3. Enjuague bien los componentes en agua limpia y tibia (máximo 43 °C), preferiblemente con agua corriente. Fuga.
4. Cuando el limpiador utilizado no contenga un agente desinfectante, los componentes del respirador deben sumergirse durante dos minutos en uno de lossiguientes:
 - a. Solución de hipoclorito (50 ppm de cloro) hecha agregando aproximadamenteun mililitro de blanqueador de ropa a un litro de agua a 43 °C.
 - b. Solución acuosa de yodo (50 ppm de yodo) que se obtiene añadiendo aproximadamente 0,8 mililitros de tintura de yodo (6-8 gramos de yoduro amónico y/o potásico/100 cc de alcohol al 45 %) a un litro de agua a 43 °C.
 - c. Otros limpiadores disponibles comercialmente de calidad desinfectanteequivalente cuando se usan según las instrucciones, si su uso está recomendado o aprobado por el fabricante del respirador.
5. Enjuague bien los componentes en agua limpia y tibia (máximo 43 °C), preferiblemente con agua corriente. No se puede exagerar la importancia de un

enjuague completo. Los detergentes o desinfectantes que se secan en las piezas faciales pueden provocar dermatitis. Además, algunos desinfectantes pueden provocar el deterioro de la goma o la corrosión de las piezas metálicas si no se eliminan por completo.

6. Los componentes deben secarse a mano con un paño limpio sin pelusa o al aire.
7. Vuelva a armar la pieza facial, reemplazando los filtros, cartuchos y recipientes donde sea necesario.
8. Pruebe el respirador para asegurarse de que todos los componentes funcionen correctamente (OSHA, 1998).