

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

“MINIMIZACION DEL RIESGO A LA SALUD EN LOS TRABAJADORES DE UNA REFINERÍA DE ORO MEDIANTE LA MEJORA DEL SISTEMA DE EXTRACCION LOCALIZADA Y CAMBIO DEL PROCESO DE FUNDICIÓN.

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL

ELABORADO POR:

JOSEPH FRANCIS LEVI PRINCE ARONE MARÍN

ASESORA:

MSc. ROSA AMPARO BECERRA PAUCAR

LIMA - PERÚ

2021

DEDICATORIA

A Dios, por guiar mi vida y ayudarme a desarrollar mis talentos.

A mis padres y mi abuela, que en los momentos más difíciles me apoyaron y no dejaron de confiar en mí, y que gracias a su sacrificio pude postular e ingresar a la Universidad Nacional de Ingeniería.

A mi hermana, que tras su llegada me cambio la vida dándome una nueva perspectiva y un motivo más para desarrollarme como profesional.

A mi demás familia y amigos, que siempre manifestaron su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Higiene y Seguridad Industrial de la Universidad Nacional de Ingeniería que aportaron oportunidades de mejora y soporte en esta tesis.

A los ingenieros involucrados de la Empresa Minera donde se desarrollo el presente trabajo, por su constante apoyo.

RESUMEN

La presente tesis detalla las mejoras de diseño en un sistema de extracción localizada en una refinería de oro y cómo estas favorecen a la disminución de la concentración de arsénico, cadmio y plomo en el ambiente, por lo que el riesgo a la salud que están expuestos los trabajadores disminuye.

La refinería se ubica a 1250 msnm. Durante la fundición de metales se alcanza una temperatura en los hornos de 1100°C, porque la temperatura de fusión del oro es 1064°C, lo que ocasiona una temperatura de aire en los conductos del sistema de extracción de aproximadamente 300°C. Los agentes químicos en la salida del sistema de extracción se controlan con lavadores de gases, los cuales, además de disminuir la concentración de gases y del material particulado, disminuye la temperatura del aire en los conductos aproximadamente a 30°C.

Al realizar el análisis preliminar se determinó que los principales agentes ocupacionales que están expuestos los trabajadores son el ruido, estrés térmico, iluminación, carga postural, gases y humos metálicos, siendo de riesgo muy alto la exposición al último mencionado. Tras realizar los monitoreos para determinar el nivel de exposición cuantitativa de los trabajadores a los agentes ocupacionales, se observó que la exposición a humos metálicos no estaba controlada en su totalidad, por lo que las mejoras en los controles de ingeniería se orientan a optimizar la captación de humos metálicos generados en los hornos.

Para realizar el re diseño del sistema de extracción en la refinería de oro se recurrió al método para diseño y verificación de sistemas de ventilación que recomienda la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), considerando parámetros de las fichas técnicas de los hornos de inducción a implementar.

Los monitoreos de humos metálicos, que se realizaron según el método analítico NIOSH 7300, demostraron una alta concentración de arsénico, cadmio y plomo en el ambiente (nivel de exposición mayor al 100%), así mismo, el análisis del diseño del sistema extracción localizada evidenció deficiencias y las mediciones de sus condiciones actuales (caudal y presión estática) corroboró su mal funcionamiento.

Tras la implementación de mejoras del sistema de extracción localizada y cambio del proceso de fundición se logra disminuir la concentración en el ambiente de arsénico, cadmio y plomo.

ABSTRACT

This thesis details the design improvements in an extraction system located in a gold refinery and how these favor a decrease in the concentration of arsenic, cadmium and lead in the environment, therefore the health risk they are exposed to. workers decreases.

The refinery is located at 1,250 meters above sea level. During metal smelting a furnace temperature of 1100 ° C is reached because the melting temperature of gold is 1064 ° C, resulting in an air temperature in the ducts of the extraction system of approximately 300 ° C. The chemical agents at the outlet of the extraction system are controlled with gas scrubbers, which, in addition to decreasing the concentration of gases and particulate matter, decrease the air temperature in the ducts to approximately 30 ° C.

When carrying out the preliminary analysis, it was determined that the main occupational agents that workers are exposed to are noise, thermal stress, lighting, postural load, gases and metallic fumes, with exposure to the last mentioned being of very high risk. After monitoring to determine the level of quantitative exposure of workers to occupational agents, it was observed that exposure to metal fumes was not fully controlled, so improvements in engineering controls are aimed at optimizing capture of metal fumes generated in the ovens.

To carry out the redesign of the extraction system at the gold refinery, the method for the design and verification of ventilation systems was recommended by the ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), considering parameters from the technical data sheets of the induction furnaces. to implement.

Metal smoke monitoring, which was performed according to the NIOSH 7300 analytical method, showed a high concentration of arsenic, cadmium and lead in the environment (exposure level greater than 100%), as well as the analysis of the design of the localized extraction system It showed deficiencies and measurements of its current conditions (flow and static pressure) confirmed its malfunction.

After implementing improvements to the localized extraction system and changing the smelting process, the concentration of arsenic, cadmium and lead in the environment is reduced.

ÍNDICE

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Definiciones	1
1.2. Enfermedades profesionales	7
1.2.1. Enfermedades profesionales ocasionadas por exposición a metales	7
1.2.2. Enfermedades profesionales ocasionadas por exposición a agentes físicos.....	9
1.3. Antecedentes referenciales	10
1.4. Planteamiento de la realidad problemática	11
1.5. Justificación e importancia	15
1.6. Objetivos	16
1.6.1. Objetivo general.....	16
1.6.2. Objetivos específicos	16
1.7. Hipótesis	16
1.8. Marco legal	17
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	19
2.1. METALES.....	19
2.1.1. Método de análisis de metales en el ambiente de trabajo	19
2.1.1.1. Método de análisis NIOSH 7300, versión 3	19
2.1.1.2. Límite máximo permisible de exposición a los metales obtenidos por método NIOSH 7300	21
2.1.2. Procedimiento para monitoreo de material particulado metálico	22
2.1.2.1. Equipos por utilizar.....	22
2.1.2.2. Operación de la bomba a flujo constante	23
2.1.2.3. Preparación de portafiltros o cassette de dos secciones.....	23
2.1.2.4. Instalación y portafiltro de dos secciones en la bomba de muestreo.....	24
2.1.2.5. Instalación y operación del tren de muestreo	25
2.1.3. Ajuste de los límites máximos permisibles para un horario de trabajo específico	25
2.1.4. Toxicología de los metales a analizar	28
2.1.4.1. Arsénico (As).....	28
2.1.4.1.1. Toxicocinética del arsénico	29
2.1.4.1.2. Toxicodinámica del arsénico	30

2.1.4.2. Cadmio (Cd).....	31
2.1.4.2.1. Toxicocinética del cadmio.....	32
2.1.4.2.2. Toxicodinámica del cadmio	33
2.1.4.3. Plomo (Pb)33	
2.1.4.3.1. Toxicocinética del plomo.....	34
2.1.4.3.2. Toxicodinámica del plomo	36
2.2. ESTRÉS TÉRMICO	38
2.2.1. Método de análisis del estrés térmico en el ambiente de trabajo: “Índice TGBH”	38
2.2.1.1. Consumo metabólico (M)	39
2.2.1.2. Variación de las condiciones de trabajo con el tiempo.....	41
2.2.1.3. Limitaciones a la aplicación del método	41
2.2.2. Método de análisis del estrés térmico en el ambiente de trabajo: “Índice de sobrecarga calórica (ISC)”	42
2.2.2.1. Interpretación del índice de sobrecarga calórica.....	43
2.2.2.2. Tiempo de exposición permisible (TEP) y tiempo de recuperación (TR)	44
2.2.3. Procedimiento para monitoreo de estrés térmico	44
2.2.3.1. Equipo a utilizar en el monitoreo de estrés térmico	44
2.2.3.2. Calibración primaria del medidor de estrés térmico.....	45
2.2.3.3. Operación del medidor de estrés térmico.....	45
2.3. RUIDO.....	46
2.3.1. Método de análisis del ruido en el ambiente de trabajo	46
2.3.1.1. Estrategia de medición	46
2.3.1.2. Tiempo de exposición máximo en una jornada laboral	47
2.3.1.3. Cálculo de la dosis de ruido.....	47
2.3.1.4. Cálculo del nivel equivalente de ruido.....	47
2.3.1.5. Cálculo de la exposición a ruido de los trabajadores	47
2.3.2. Procedimiento para monitoreo de ruido	48
2.3.2.1. Equipo a utilizar en el monitoreo de ruido	48
2.3.2.2. Calibración primaria del dosímetro de ruido.....	48
2.3.2.3. Operación del dosímetro acústico	49
2.4. APR – HO.....	50
2.4.1. Análisis preliminar de riesgos de higiene ocupacional	50
2.5. VENTILACIÓN INDUSTRIAL.....	57

2.5.1.	Definiciones básicas	57
2.5.2.	Ecuaciones fundamentales del movimiento de fluidos.....	58
2.5.3.	Características de los flujos de aire impulsado y extraído.....	59
2.5.4.	Métodos de diseño	60
2.5.5.	Velocidad de captura	61
2.5.6.	Velocidad mínima en el conducto.....	62
2.5.7.	Caudal de aspiración	63
2.5.8.	Pérdida de presión en la entrada de la campana.....	65
2.5.9.	Pérdida de presión en tramos rectos.....	68
2.5.10.	Pérdida de presión en puntos singulares	74
2.5.10.1.	Pérdida en codos	74
2.5.10.2.	Ganancia de presión por ensanchamiento del conducto.....	74
2.5.10.3.	Pérdidas de presión por contracción del conducto.....	75
2.5.10.4.	Balance de presión en las uniones de un sistema de extracción.....	76
2.5.10.5.	Corrección para cambios de velocidad tras la unión de dos conductos	78
2.5.11.	Procesos a temperaturas elevadas	79
2.5.12.	Cambios de caudal de una campana con la densidad.....	80
2.5.13.	Selección del ventilador.....	81
2.5.14.	Relación de presión en los ventiladores	81
2.5.14.1.	Presión total del ventilador (TP)	82
2.5.14.2.	Presión estática del ventilador (SP).....	82
2.5.15.	Leyes de los ventiladores.....	82
2.5.15.1.	Variación de la velocidad.....	82
2.5.15.2.	Variación de la densidad.....	83
2.5.15.3.	Variación del diámetro.....	84
2.5.15.4.	Variación de la densidad manteniendo constante la presión.....	84
2.5.15.5.	Variación de la densidad manteniendo constante la masa del aire por unidad de tiempo.....	85
CAPÍTULO III. PROCESO PRODUCTIVO		86
3.1.	Proceso productivo en Planta concentradora	86
3.2.	Proceso productivo en Refinería	89
CAPÍTULO IV. CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS OCUPACIONALES		92
CAPÍTULO V. EVALUACIÓN CUANTITATIVA INICIAL DE AGENTES OCUPACIONALES ..		108

5.1. Ruido	108
5.2. Estrés térmico	115
5.3. Gases	118
5.4. Humos metálicos	120
CAPÍTULO VI. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA INICIAL	126
6.1. Sistema de extracción localizada de los hornos de fundición	126
6.1.1. Evaluación cualitativa del sistema de extracción localizada inicial de los hornos de fundición	127
6.1.2. Evaluación cuantitativa del sistema inicial de extracción localizada de los hornos de fundición	131
6.1.3. Análisis de resultados	132
6.2. Sistema de extracción localizada de los hornos de secado y re-fusión	133
6.2.1. Evaluación cualitativa del sistema inicial de extracción localizada de los hornos de secado y re-fusión.....	133
6.2.2. Evaluación cuantitativa del sistema inicial de extracción localizada de los hornos de secado y refusión.....	139
6.2.3. Análisis de resultados	140
CAPÍTULO VII. MEJORAS AL SISTEMA DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA DE LOS HORNOS DE FUNDICIÓN Y RE-FUSIÓN	141
7.1. Modificación del sistema de extracción de los hornos de fundición	142
7.2. Modificación del sistema de extracción de los hornos de secado y re-fusión	148
CAPÍTULO VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	155
8.1. Humos metálicos	155
8.2. Ruido	172
8.3. Estrés térmico	174
CAPÍTULO IX. CONCLUSIONES.....	177
CAPÍTULO X. RECOMENDACIONES.....	179
CAPÍTULO XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	183
CAPÍTULO XII. ANEXOS	185
Anexo 1. Propiedades y volúmenes de las muestras – NIOSH 7300	185
Anexo 2. Límites de exposición, N° CAS – NIOSH 7300	186
Anexo 3. Datos y procedimientos de la medición. Filtros mixtos de membrana de ésteres de celulosa (0.45 µm) – NIOSH 7300	187
Anexo 4. Datos y procedimientos de la medición. Filtro de cloruro de polivinilo (5.0 µm) – NIOSH 7300	188

Anexo 5. Proceso de ajuste del TLV-TWA	189
Anexo 6. Ajuste por categoría de agente químico	190
Anexo 7. Ficha técnica del protector auditivo 3M 1270 y 1271	196
Anexo 8. Ficha técnica del protector auditivo 3M serie X4	197
Anexo 9. Cálculo del caudal mínimo en campanas elevadas para focos calientes	198

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Definiciones

- a)** ACGIH (American Conference of Governmental Industrial). - Es una asociación profesional de higienistas industriales y profesiones afines, con sede en Cincinnati, Ohio. Uno de sus objetivos es avanzar en la protección de los trabajadores proporcionando información científica oportuna, objetiva a profesionales de la salud ocupacional y ambiental.
- b)** Aclimatización. - Es un proceso de adaptación fisiológica que incrementa la tolerancia a ambientes calurosos, fundamentalmente por variación del flujo de sudor y del ritmo cardíaco. La aclimatización es un proceso necesario, que debe realizarse a lo largo de 6 o 7 días de trabajo, incrementando poco a poco la exposición al calor. Se considera que un trabajador está aclimatizado si ha realizado un trabajo con exposición a calor en al menos 5 de los últimos 7 días o 10 de los últimos 14. Sin embargo, los beneficios de la aclimatización se pierden fácilmente si las variaciones en la temperatura son importantes (elevaciones repentinas) o si no ha habido exposición en más de 4 días.
- c)** Agentes contaminantes. - Se denominan Agentes Contaminantes a aquellas sustancias químicas, energía física y microorganismos que, debido a su concentración en el aire, pueden alterar y/o dañar la salud de los trabajadores y los materiales
- d)** Agentes químicos. - 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.
- e)** Calor metabólico. - Calor generado en el cuerpo debido a la actividad que se está realizando. En la exposición a estrés térmico se deberá determinar si un ambiente permite que el calor metabólico sea eliminado de manera eficiente.
- f)** Captador. - Punto de entrada de los contaminantes a ser colectados por el sistema.
- g)** Componentes básicos de un sistema de ventilación exhaustiva o localizada:
 - Captor
 - Sistema de ductos
 - Ventilador
 - Equipo de control de la contaminación del aire

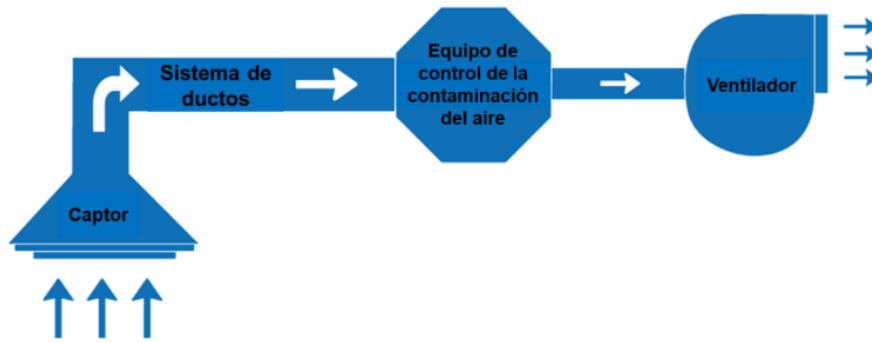


Figura 1. Componentes básicos de un sistema de ventilación (Elaboración propia)

- h) Equipo de control de la contaminación del aire. - Destinado a retener los contaminantes, impidiendo su lanzamiento en la atmósfera.
- i) Espectro de frecuencias. - Los ruidos se pueden descomponer en una superposición de sonidos puros de frecuencias diferentes; la repartición de la energía sonora en función de cada una de estas frecuencias define el espectro de frecuencias de ruido.

El conocimiento del espectro permite establecer si el ruido contiene frecuencias bajas (graves), medias o altas (agudas); este es un fenómeno importante ya que el oído humano reacciona de manera diferente según las frecuencias.

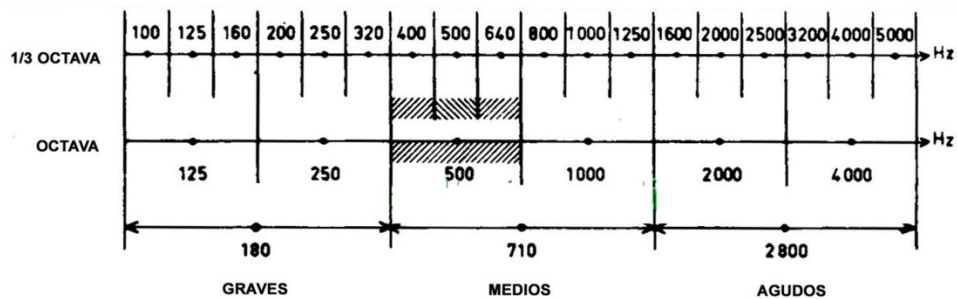


Figura 2. Espectro de frecuencias por bandas de octava y tercio de bandas de octava. Fuente: Acústica de los edificios (Meisser, M.)

Una banda de octava es una banda de frecuencia donde la frecuencia más alta es dos veces la frecuencia más baja. Un tercio de octava tiene una anchura de 1/3 de la de una banda de octava.

- j) Fundición. - Proceso que implica calentar y reducir la mena mineral para obtener un metal puro, y separarlo de la ganga y otros posibles elementos.
- k) Higiene industrial. - Es la ciencia y el arte que se dedica al reconocimiento, evaluación y control de los agentes ambientales o tensiones emanadas o provocadas por el lugar de trabajo y que pueden ocasionar enfermedades, destruir la salud y el bienestar o crear algún malestar significativo entre los trabajadores o los ciudadanos de la comunidad.

- l)** Humos. - Suspensión en el aire de partículas sólidas originadas en procesos de combustión incompleta. Tamaño inferior a 0,1 μ . Cuando este humo es de tipo metálico y procede de una condensación del estado gaseoso, partiendo de la sublimación o volatilización de un metal, se denomina humo metálico.
 - m)** Límites máximos permisibles (Threshold limit values). - Expresan concentraciones en el aire de diversas sustancias, por debajo de estas concentraciones la mayoría de los trabajadores pueden exponerse a la acción de tales sustancias repetidamente día tras día sin sufrir efectos adversos.
 - n)** NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health). - El Instituto Nacional para la Salud y Seguridad Ocupacional (NIOSH) es la agencia federal de EEUU encargada de hacer investigaciones y recomendaciones para la prevención de enfermedades y lesiones relacionadas con el trabajo.
 - o)** Nivel de presión sonora equivalente continuo (Leq). - Es el nivel de presión sonora continuo, que tendría la misma energía sonora total, que el ruido real fluctuante evaluado en el mismo periodo de tiempo.
 - p)** Nivel de presión sonora equivalente continuo con ponderación A (LA, eq). - Es el nivel de presión sonora continuo con ponderación A, que produciría la misma energía sonora ponderada en A, que el ruido real fluctuante evaluado en el mismo periodo de tiempo.
 - q)** Niveles de referencia. - En vista que los márgenes de presión acústica ($20 \times 10^{-6} \text{ N/m}^2$ - 20 N/m^2) no pueden ser representados en una escala lineal, se recurre a un procedimiento matemático donde se representan las medidas acústicas en escala logarítmica.
 - q.1. El decibelio. - Se define como una cantidad adimensional relacionada con el logaritmo de una cantidad medida y otra de referencia. Así el nivel acústico en dB se da por la expresión:

$$L = 20 \log(P/P_0), \text{ donde: } P_0 = 20 \times 10^{-6} \text{ N/m}^2, \text{ y } L = \text{Nivel acústico en dB}$$
- Al utilizar estas expresiones, el margen de presión acústica varía entre 0 y 120 dB, margen más cómodo, más exacto y más fácil de utilizar.
- r)** Presión acústica. - Cantidad de energía acústica por unidad de superficie (N/m^2); lo que mide el sonómetro son niveles de presión acústica. El margen de presión acústica que es capaz de oír una persona joven y normal, oscila entre $20 \times 10^{-6} \text{ N/m}^2$ (umbral auditivo) y 20 N/m^2 .
 - s)** Refinería. - Establecimiento industrial donde se refina o se hace más puro un producto.

- t) Ruido. - Es un sonido desagradable, cuyas intensidades pueden determinar riesgos para la salud de las personas.
- u) Sensibilidad auditiva. - El oído humano no manifiesta la misma sensibilidad ante todas las frecuencias, por ello se dice que el oído se comporta a bajas frecuencias, como un poco sordo, mientras que a elevadas frecuencias actúa en toda su plenitud, produciéndose la máxima fatiga para las frecuencias de 4 000 Hz.

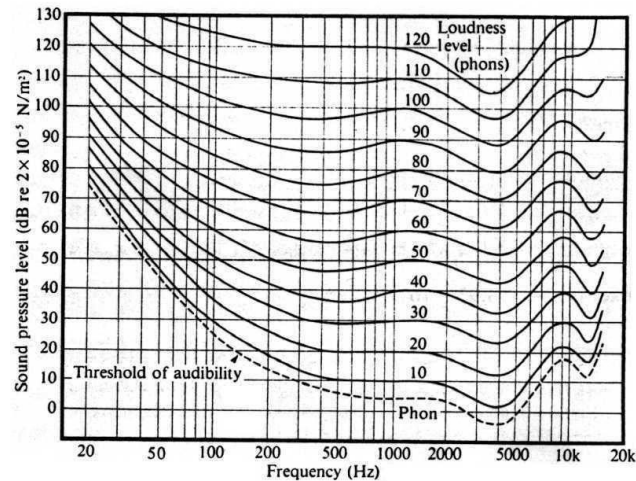


Figura 3. Curva isofónica de Fletcher-Munson. Fuente: The science of sound (Rossing, T., Moore, R., Wheeler, P.).

Para tener en cuenta esta sensibilidad se introduce en la medida del ruido el concepto de filtros de ponderación, estos filtros actúan de manera que los niveles de presión de cada banda de frecuencia son corregidos, en función de la frecuencia, según unas curvas de ponderación; con este criterio se usa el filtro de ponderación A en los equipos de monitoreo de ruido.

- v) Sistema de ductos. - Responsable por el transporte de los contaminantes captados.
- w) Sonido. - Se define como la energía resultante de un cuerpo o superficie en vibración, lo cual produce una variación de presión y se transmite en forma de ondas en todas las direcciones hasta cierta distancia.
- x) TA. - Es la temperatura del aire medida, por ejemplo, con un termómetro convencional de mercurio u otro método adecuado y fiable.
 - El sensor debe estar protegido de la radiación térmica, sin que esto impida la circulación natural de aire a su alrededor.
 - Debe tener una escala de medida entre 20 °C y 60 °C (±1°C).
- y) TBH. - Es el valor indicado por un sensor de temperatura recubierto de un tejido humedecido que es ventilado de forma natural, es decir, sin ventilación forzada. Esto

último, diferencia a esta variable de la temperatura húmeda psicrométrica, que requiere una corriente de aire alrededor del sensor y que es la más conocida y utilizada en termodinámica y en las técnicas de climatización. El sensor debe tener las siguientes características:

- Forma cilíndrica.
- Diámetro externo de 6mm \pm 1 mm.
- Longitud 30mm \pm 5mm • Rango de medida 5 °C 40 °C.
- Precisión \pm 0,5 °C.
- La parte sensible del sensor debe estar recubierta de un tejido (p.e. algodón) de alto poder absorbente de agua.
- El soporte del sensor debe tener un diámetro de 6mm, y parte de él (20 mm) debe estar cubierta por el tejido, para reducir el calor transmitido por conducción desde el soporte al sensor.
- El tejido debe formar una manga que ajuste sobre el sensor. No debe estar demasiado apretado ni demasiado holgado.
- El tejido debe mantenerse limpio.
- La parte inferior del tejido debe estar inmersa en agua destilada y la parte no sumergida del tejido tendrá una longitud entre 20 mm y 30 mm.
- El recipiente del agua destilada estará protegido de la radiación térmica.

z) TG. - Temperatura de Globo, es la temperatura obtenida de un termómetro que está dentro de una esfera pintada de negro en su parte externa. Mide la temperatura por radiación. Las características de la esfera serán las siguientes:

- 150 mm de diámetro.
- Coeficiente de emisión medio: 90 (negro y mate).
- Grosor: tan delgado como sea posible.
- Escala de medición: 20 °C-120 °C.
- Precisión: \pm 0,5 °C de 20 °C a 50 °C y \pm 1 °C de 50 °C a 120 °C.

aa) TGBH. - Temperatura de Globo y de Bulbo Húmedo, valor que integra valores de temperatura del aire, temperatura por radiación y temperatura por humedad.

bb) TGBHi. - Temperatura de Globo y de Bulbo Húmedo Interna, TGBH que no considera los valores de temperatura por radiación. Se usa para ambientes cerrados donde el trabajador no tiene exposición a la luz solar.

cc) TGBHe. - Temperatura de Globo y de Bulbo Húmedo Externa, TGBH que sí considera los valores de temperatura por radiación. Se usa para ambientes abiertos o donde el trabajador se expone a la luz solar.

dd) TLV-TWA: Threshold limit value - time weighted average (Límite máximo permisible – Media ponderada en el tiempo). Concentración promedio ponderada en el tiempo que establece el máximo nivel al que todos los trabajadores pueden exponerse

repetidamente sin efectos adversos durante la semana normal de trabajo (5 días de 8 horas diarias).

- ee)** TLV-STEL: Threshold limit value - Short term Exposure Limit (Límite máximo permisible – Limite de exposición para cortos periodos). - Concentración máxima a la que puede estar expuesta un trabajador por un periodo de 15 minutos sin sufrir trastornos irreversibles o intolerables, con un descanso de por lo menos una hora entre exposición y exposición, sin permitir más de 4 exposiciones por día.
- ff)** TLV-C: Threshold limit value - ceiling (Límite máximo permisible – techo). - Indica la máxima concentración en el área de trabajo que no debe ser excedida en ningún momento por producir efectos irreversibles en la salud.
- gg)** Toxicología. – Es la ciencia que se ocupa de los efectos adversos a la salud causados por agentes químicos, físicos o biológicos en los organismos vivientes. Los efectos adversos pueden variar desde muerte, cáncer e enfermedades hasta daños sutiles en el sistema nervoso
- hh)** Ventilación industrial. - Es una técnica de control de la Higiene Industrial, que permite mantener en el ambiente laboral las concentraciones de los agentes contaminantes del aire por debajo de los límites máximos permisibles de exposición ocupacional, de tal manera que se minimice el riesgo de enfermar de los trabajadores, se minimice el riesgo de explosiones y se mantenga confort térmico en los ambientes laborales.

Tipos de ventilación industrial:
 - Ventilación natural
 - Ventilación mecánica
- ii)** Ventilación natural. - Es aquella que se efectúa por medio de movimientos naturales de aire, corrientes inducidas por diferencias de presión y/o temperatura a través de aberturas en techos y paredes.
- jj)** Ventilación mecánica. - Es aquella que es inducida mediante ventiladores accionados por fuerza motriz.
- kk)** Ventilador. - Responsable por la dotación de la energía necesaria para el movimiento de los contaminantes (provee un diferencial de presión entre el captor y la salida del sistema).

1.2. Enfermedades profesionales

Según indica la NTS 068 MINSA “Norma técnica de salud que establece el listado de enfermedades profesionales”, en la Tabla 1 se presenta los síntomas y patologías relacionadas con los agentes químicos de interés, a obtener por el método analítico NIOSH 7300, y en la Tabla 2, las relacionadas con la exposición a ruido.

1.2.1. Enfermedades profesionales ocasionadas por exposición a metales

Tabla 1

Relación de síntomas y patologías relacionadas con agentes químicos

Agente	Relación de síntomas y patologías
Aluminio	<ul style="list-style-type: none"> • Aluminosis: fibrosis pulmonar debida a la inhalación de humos de bauxita y/o polvo de aluminio. • Rinoconjuntivitis. • Asma bronquial. • Urticaria/angioedema. • Osteoporosis
Antimonio y derivados	<ul style="list-style-type: none"> • Dermatitis de contacto. • Neumopatía profesional hiperreactiva. • Irritación de piel y mucosas. Neumoconiosis. • Tos, mareos, dolor de cabeza, náuseas, vómitos, diarrea, calambres estomacales, insomnio, anorexia, pérdida de olfato. • Irritación gastrointestinal. • El SbCl₃, SbCl₅, Sb₂O₃ producen efectos en el DNA
Arsénico y sus compuestos	<ul style="list-style-type: none"> • Conjuntivitis, queratitis y blefaritis. • Ulceración y Perforación del tabique nasal. • Polineuritis periféricas • Melanodermia. • Disqueratosis palmo plantares. • Neoplasias asociadas a la exposición no codificables en este apartado • Disqueratosis- lenticular en disco (Enfermedad de Bowen). • Epitelioma cutáneo primitivo. Angiosarcoma del hígado. • Cáncer bronquial.
Berilio (glucinio) y sus compuestos	<ul style="list-style-type: none"> • Irritación de piel, ojos y vías respiratorias. • Neumonía química. • Edema agudo de pulmón. Fibrosis pulmonar granulomatosa. • Rinoconjuntivitis alérgica. Blefaritis alérgica, asma, urticaria angioedema.

	<ul style="list-style-type: none"> • Dermatitis de contacto. Lesión de piel específica: lesiones edematosas pápulo-vesiculosas, ulceración granulomatosa, granuloma tipo sarcoide. • Bronconeumonopatía aguda o subaguda difusa con aparición retardada de signos radiológicos tenues. • Beriliosis, fibrosis pulmonar difusa con signos radiológicos, alteraciones funcionales y compromiso del estado general. • Neoplasias asociadas a la exposición, no codificables en este apartado. • Carcinoma de bronquios y pulmón.
<p>Cadmio y sus compuestos</p> <p>AGENTE CANCERÍGENO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Síndrome pseudogripal, neumonía química, síndrome obstructivo crónico o enfisema a largo plazo. • Trastornos digestivos. • Nefropatía con proteinuria. • Osteomalacia. • Osteoporosis. • Dermatitis de contacto. Neoplasias asociadas a las exposiciones no codificables en este apartado. • Carcinoma de bronquios y pulmón.
<p>Cromo y sus compuestos</p> <p>AGENTE CANCERÍGENO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Efecto irritante y corrosivo. • Edema de pulmón. Bronconeumonopatía crónica obstructiva. • Úlceras crónicas (piel). • Ulceración o perforación del septo nasal. Otras alteraciones nasales y de senos. • Dermatitis de contacto. Rinoconjuntivitis, asma, urticaria angioedema por sensibilización. • Neoplasias asociadas a la exposición no codificables en este apartado. Cáncer pulmonar primitivo. • Cáncer nasal o de oído medio
<p>Fósforo y sus compuestos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fósforo Blanco: Quemaduras profundas en piel. • Humos de fósforo: Bronquitis crónica. • Sesquisulfuro de fósforo: Dermatitis de contacto. • Osteomalacia o necrosis del maxilar inferior
<p>Manganeso y sus compuestos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bronconeumonía aguda • Síndrome psiquiátrico caracterizado por hiperactividad motora, euforia, irritabilidad, trastornos de la libido, agresividad, seguido de cuadros de depresión. • Síndrome neurológico de tipo parkinsonismo. • Dermatitis de contacto.

<p>Níquel y sus Compuestos</p> <p>AGENTE CANCERÍGENO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Irritación respiratoria. • Dermatitis de contacto • Rinofaringitis, asma, urticaria, angio edema confirmada por pruebas funcionales respiratorias, test cutáneos que recidivan en caso de nueva exposición. • Nefropatía inducida por metales pesados. • Neoplasias asociadas a las exposiciones no codificables en este apartado. • Cáncer primitivo del etmoides y de los senos paranasales. Neoplasia maligna de cavidad nasal y oído medio, Neoplasia maligna de bronquios y pulmón.
<p>Plomo y sus compuestos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Síndrome doloroso abdominal paroxístico afebril con estado suboclusivo, habitualmente acompañado de hipertensión arterial (Cólico Saturnino). • Encefalopatía. • Neuropatías periféricas que permanecen estacionarias o remiten cuando cesa la exposición. • Daño orgánico cerebral crónico irreversible. • Insuficiencia renal crónica. • Anemia crónica. • Disminución del número y viabilidad de los espermatozoides.
<p>Talio y sus compuestos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Polineuritis, atrofia del nervio óptico, encefalopatías. • Alteración cardiaca. • Hepatotoxicidad y nefrotoxicidad. • Alopecia.
<p>Vanadio y sus compuestos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Dermatitis de contacto. • Asma, urticaria-angioedema. • Efectos irritativos: ojos y tracto respiratorio superior. • Bronquitis obstructiva. Bronconeumonía.

1.2.2. Enfermedades profesionales ocasionadas por exposición a agentes físicos

Tabla 2

Relación de síntomas y patologías relacionadas con agentes físicos

Agente	Relación de síntomas y patologías
<p>Hipoacusia o sordera provocada por el ruido</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sordera profesional de tipo neurosensorial, frecuencias de 3 a 6 KHz, bilateral simétrica e irreversible. • Vértigos. • Acúfenos.

1.3. Antecedentes referenciales

- a. Bravo, A. (2015)¹⁴. Este trabajo de investigación tuvo como fin estudiar la exposición a polvos y humos metálicos (As, Pb, Cd) en una industria metalúrgica, en una Planta de Afino y Moldeo. Se consideró la utilización de filtros MCE para colectar 21 muestras las cuales fueron analizadas por el método NIOSH 7301, cuya analítica corresponde a la absorción atómica. De las muestras analizadas 4 de ellas presentaron concentraciones superiores al límite máximo permisible para el agente químico arsénico; los agentes químicos plomo y cadmio presentaron niveles de concentración menores al límite máximo permisible en todas las muestras.
- b. Coral, J. (2015)¹⁵ Este trabajo de investigación está basado en el estudio sobre la exposición ocupacional a sílice libre cristalina respirable en los trabajadores del área de corte de testigos del Proyecto Cuprífero La Granja, durante el año 2014, la cual cuenta con un sistema de ventilación exhaustiva en cada una de las máquinas de corte; para determinar la concentración de este agente químico se aplicó el método analítico de muestreo NIOSH 7500. Se concluye que la implementación de un control de ingeniería (ventilación exhaustiva) disminuye la concentración de los agentes químicos por debajo del límite máximo permisible.
- c. Cabello, I. (2010)¹⁶ Estudio que propone una matriz para valorar los riesgos a la salud ocupacional debido a la exposición a agentes químicos en el ambiente de trabajo
- d. Córdor, E. (2004)¹⁷ Este trabajo de investigación desarrolló las pautas para reducir el grado de contaminación existente en el ambiente de la Refinería de minera Barrick Misquichilca, mediante la mejora del sistema de ventilación. Tras realizar el análisis mediante mediciones de flujo de aire en los sistemas de ventilación existentes, así como de los ventiladores axiales de aspiración y de inyección se observan deficiencias en la instalación de ductos, mala orientación de la inyección de aire en determinados puntos, y la carencia de mantenimiento preventivo; con los datos hallados se realizó las modificaciones y luego de mediciones realizadas en toda la Planta de Refinería se tiene como resultado la reducción del nivel de contaminación inferior al límite permisible.
- e. Chimbo, L., Ortiz, L. (2016)¹⁸ Estudio de investigación que se desarrolló en la central hidroeléctrica Agoyan. Tras la implementación de un taller industrial donde se realiza la recuperación y mantenimiento de turbinas, se incrementó la concentración de contaminantes en el ambiente de trabajo (humos, polvos y gases). Ante este panorama, se diseñó dos sistemas de extracción localizada, el primero destinado a la extracción y filtración de humos y gases producto del proceso de soldadura y el segundo sistema está centrado en la extracción de polvos metálicos, virutas y demás material particulado resultante del desbaste y pulido de turbinas, álabes, entre otros elementos mecánicos.

- f. Huang, Y., Wang, Y., Liu, L., Nielsen, P., Jensen, R., Yan, F. (2014)¹⁹ Tras el panorama que se vive en China en las plantas industriales donde el calor intenso y los contaminantes químicos están presentes en el ambiente de trabajo ocasionando enfermedades profesionales (26293 casos en el 2013), se realiza esta investigación para determinar los factores empíricos importantes en la eficiencia de la captura de contaminantes locales y las características de estratificación térmica en las áreas de trabajo de las plantas industriales, mediante experimentos a escala reducida (escala geométrica 1:15). El prototipo a evaluar correspondiente a un taller de alto horno de una planta de acero. Los resultados mostraron que los límites de flujo de aire confinado, las tasas de flujo de las campanas de extracción y las fortalezas de la fuente fueron factores empíricos importantes en la eficiencia de captura de contaminantes. Este estudio ayuda a mejorar la eficiencia de captura de los sistemas de ventilación por extracción localizada utilizados en plantas industriales.

1.4. Planteamiento de la realidad problemática

¿En qué medida el riesgo a la salud puede mitigarse con la implementación de mejoras al sistema de extracción, y cambio de proceso, en una refinería de oro?

Según estimaciones de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), cada año mueren más de 2,3 millones de mujeres y hombres a causa de lesiones o enfermedades en el trabajo. Más de 350.000 muertes son causadas por accidentes mortales y casi 2 millones de muertes son provocadas por enfermedades vinculadas con el trabajo. La OIT estima también que anualmente ocurren 160 millones de casos de enfermedades relacionadas con el trabajo (<https://www.ilo.org/>).

Estas estimaciones significan que diariamente alrededor de 6.400 personas mueren por accidentes o enfermedades del trabajo y que 860.000 personas sufren lesiones en el trabajo. Las estimaciones muestran a su vez, que las enfermedades relacionadas con el trabajo representan la causa principal de muerte en el trabajo, provocando la muerte de trabajadores de casi seis veces más que en el caso de accidentes en el trabajo.

Según el Ministerio de Energía y Minas del Perú (MINEM, s.f.), entre el periodo 2011 – 2019 se han presentado 38275 casos de enfermedades ocupacionales, donde, los relacionados con la exposición a agentes químicos representa un 5.1% (1949 casos) y los relacionados con la exposición a agentes físicos representa un 94.6% (36227 casos), según se observa en la figura 4.

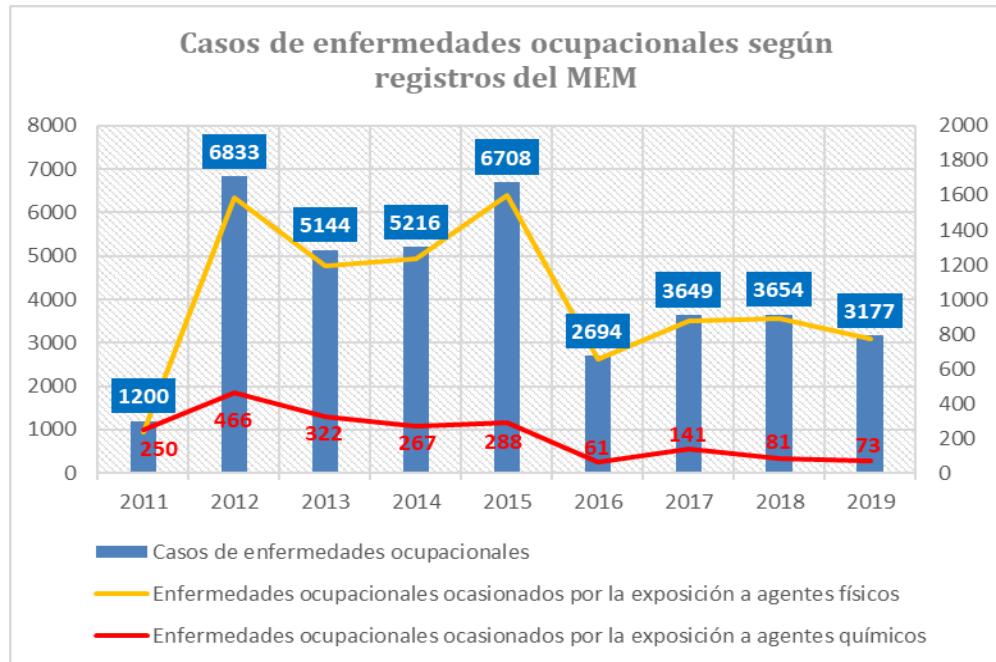


Figura 4. Casos de enfermedades ocupacionales según registros del MEM de enero del 2011 hasta diciembre del 2019. Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, según el Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo (MINTRA, s.f.), entre el periodo 2011 – 2019 se han presentado 620 casos de enfermedades ocupacionales, donde, los relacionados con la exposición a agentes químicos representa un 21% (130 casos), y los relacionados con la exposición a agentes físicos representa un 31.1% (193 casos) según se observa en la figura 5.

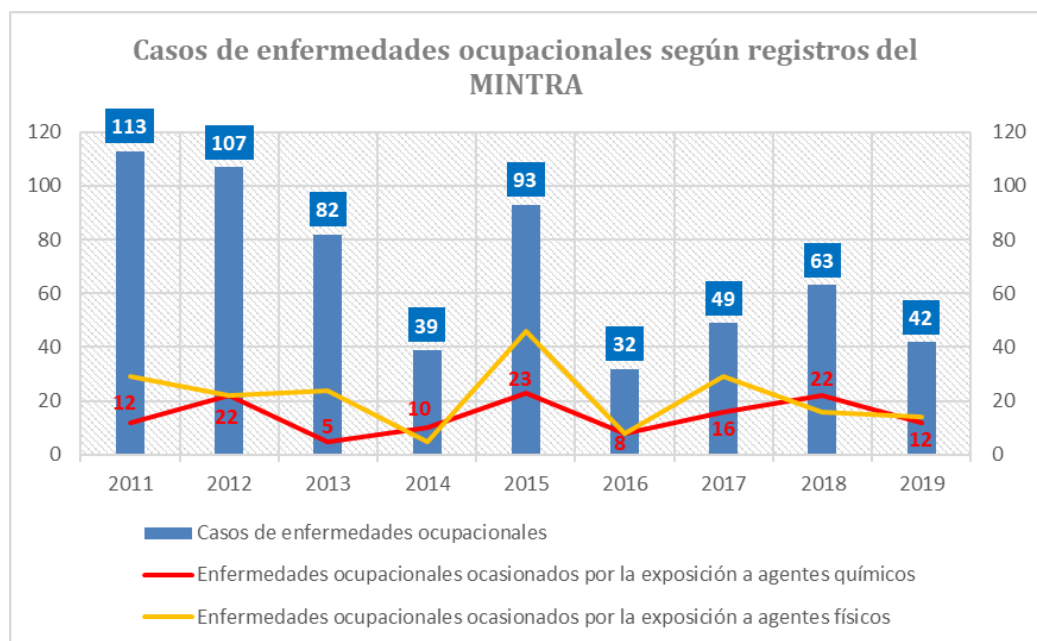


Figura 5. Casos de enfermedades ocupacionales según registros del MINTRA, desde enero 2011 hasta diciembre del 2019. Fuente: Elaboración propia.

Si bien es cierto la tendencia a futuro es que disminuyan los casos de enfermedades ocupacionales, lo mostrado en las figuras 4 y 5 evidencia que en los distintos rubros productivos se necesita mejorar o implementar controles más eficientes, como los de ingeniería, ya que los equipos de protección personal (EPP) no garantizan que el trabajador este protegido en su totalidad.

En general, en nuestro país se observa en varias Empresas que no han implementado un control eficiente de los agentes químicos o físicos en los centros de trabajo, haciendo mayor hincapié a la pequeña y mediana empresa, a pesar de existir mecanismos legales que buscan regular ello, como los mencionados a continuación:

- 1) El empleador asume las implicancias económicas, legales y de cualquier otra índole a consecuencia de un accidente o enfermedad que sufra el trabajador en el desempeño de sus funciones o a consecuencia de él, conforme a las normas vigentes (Ley 29783 “Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo – Principio de Responsabilidad).
- 2) La Política Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo debe tener en cuenta las grandes esferas de acción siguientes, en la medida en que afecten la seguridad y la salud de los trabajadores:
 - a) Medidas para combatir los riesgos profesionales en el origen, diseño, ensayo, elección, reemplazo, instalación, disposición, utilización y mantenimiento de los componentes materiales del trabajo (como los lugares de trabajo, medio ambiente de trabajo, herramientas, maquinaria y equipo, sustancias y agentes químicos, biológicos y físicos, operaciones y procesos). (...) (Ley 29783 “Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo – art.5).
- 3) El empleador prevé que la exposición a los agentes físicos, químicos, biológicos, ergonómicos y psicosociales concurrentes en el centro de trabajo no generen daños en la salud de los trabajadores. (Ley 29783 “Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo – art. 56).
- 4) Listado de enfermedades profesionales
Son aquellas enfermedades en las que se ha establecido la relación causa-efecto, entre los riesgos a los cuales están expuestos los trabajadores, según la actividad económica que desarrollan, con la enfermedad que denuncian; estas enfermedades son identificadas por la Comisión Técnica Médica CTM (Resolución Ministerial N° 360-98-SA/DM) y son usadas como referencia oficial, durante el proceso de evaluación y calificación de la invalidez. En el Perú, la NTS 068-MINSA/DGSP-V.1, aprobada mediante RM 480 2008 MINSA, es el documento que indica el listado de enfermedades profesionales.
- 5) Los valores límite permisibles se establecen para proteger la salud de los trabajadores de toda actividad ocupacional y a su descendencia, mediante la evaluación cuantitativa y para el control de riesgos inherentes a la exposición,

principalmente por inhalación de agentes químicos presentes en los puestos de trabajo (DS 015 2005 SA “Valores límite permisibles para agentes químicos en el ambiente de trabajo”).

- 6) Para el trabajo en fundiciones se tendrá presente las siguientes disposiciones:
(...)
b) En todos los lugares en que haya desprendimiento o que se produzcan polvos, gases o humos, se colocará campanas extractoras para evitar que dichas sustancias contaminen el ambiente de trabajo.
c) En los lugares en que haya hornos, tostadoras, calcinadoras, quemadores, convertidores, sublimadores o cualquier otro reactor pirometalúrgico susceptible de producir emanaciones de gases tóxicos o desprendimiento de polvos nocivos se dispondrá, además de las campanas extractoras, sistemas de control que impidan la concentración peligrosa de tales sustancias por encima de los límites de exposición ocupacional que señala el ANEXO N° 15 del DS 024 2016 EM y su modificatoria.
d) Los dispositivos empleados para el control de contaminantes, como ceniceros, chimeneas y cualquier otro conducto de humos, gases y polvos, serán limpiados con métodos preestablecidos por el titular de actividad minera, evitando la exposición de los trabajadores a dichos contaminantes.
(...)
(DS 024 2016 EM “Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería – Art. 327)

Tras la identificación de peligros y evaluación de riesgos la mayoría de empresas optan por controles de bajo costo y de implementación rápida, por lo que el equipo de protección de personal encaja en los intereses del común denominador de empresas en los distintos sectores industriales; uno puede pensar que con ello disminuirá la exposición a agentes químicos o físicos en los puestos de trabajo de mayor riesgo, pero hay variables que disminuyen su eficiencia, por ejemplo:

- Factor de protección que ofrecen; por ejemplo, en el caso del respirador media cara, el filtro para partículas que se le puede acoplar cuenta con un porcentaje de eficacia de filtrado en el rango de partículas más penetrantes de 95%, 99% y 99.97% (100%) según indica NIOSH.
- Inadecuada colocación y manipulación del respirador; ocasionado por la falta de capacitación, entrenamiento y concientización al trabajador.
- Características anatómicas de quién utiliza el respirador; por lo general se observa que no se entrega la talla adecuada de respirador a los trabajadores que están expuestos a agentes químicos, ni cuentan con los equipos o herramientas necesarias para determinarlo.
- Inadecuado mantenimiento periódico del respirador, filtros y cartuchos; se presenta por la falta de limpieza del equipo de protección personal y falta de repuestos ante deterioros físicos.

- Falta de un adecuado ambiente o recipiente para almacenar el respirador, filtros o cartuchos tras culminar la jornada laboral
- Características ambientales; por ejemplo, labores con alta humedad, filtraciones de líquidos, proyección de partículas, altas temperaturas, entre otros, disminuyen el tiempo de vida útil del equipo de protección respiratoria.

Considero que implementar un equipo de protección personal, sin considerar sus limitaciones y los factores del entorno de trabajo que pueden disminuir su eficiencia, complementado a no considerar las concentraciones del agente químico o nivel del agente físico a la cual se está expuesto, causa en el trabajador una falsa percepción del riesgo, pues en vez de protegerlo lo mantenemos expuesto a concentraciones o niveles no aceptables de agentes químicos o físicos.

Desde un enfoque ocupacional, podemos concluir que es importante minimizar la exposición a los agentes químicos, físicos, biológicos y ergonómicos presentes en el ambiente de trabajo por debajo del límite máximo permisible, mediante la implementación de controles de ingeniería (preventivos y mitigadores), pues son controles eficientes y perdurables en el tiempo, que disminuirán la severidad y probabilidad de exposición, con ello lograr prevenir la ocurrencia de enfermedades ocupacionales, aumentar el bienestar del trabajador, aumentar la productividad, aumentar la calidad y evitar consecuencias legales (multas). Por ello, en esta tesis se demuestra el impacto positivo, respecto al control de la concentración de metales, niveles de ruido y estrés térmico, tras mejorar el sistema de extracción localizada y cambiar el proceso de fundición en una refinería de oro, logrando disminuir el nivel de riesgo de alto a bajo.

1.5. Justificación e importancia

El proceso de fundición se lleva a cabo a temperaturas mayores a 1000°C, esto conlleva a la generación de humos de los metales presentes en el precipitado (mezcla sólida de elementos metálicos valiosos y no metálicos obtenidos luego del proceso de precipitación y filtración). Cuando existe una deficiente extracción localizada en los hornos, las concentraciones de humos metálicos y gases que se generan en el ambiente de trabajo durante el proceso de fundición o re fusión, no se controlan, en consecuencia, la concentración de algunos agentes químicos se encontrarán por encima del límite máximo permisible exponiendo a los trabajadores a contraer una enfermedad ocupacional.

Tras realizar el análisis del material particulado en el ambiente de trabajo en donde se desarrolló esta tesis, se identificaron la presencia de metales cancerígenos y posiblemente cancerígenos, como el arsénico, cadmio y plomo; así mismo, se identificaron agentes físicos cuyo nivel de exposición sobrepasa el límite máximo permisible, es por ello la importancia de mejorar los controles de ingeniería, reforzar la aplicación de los controles administrativos y el uso de los equipos de protección personal.

Además, ya que los objetivos estratégicos de la Empresa son más exigentes cada año y se demanda una mayor producción, en consecuencia, se fundirá mayor cantidad de

precipitado, se requerirá mayor cantidad de insumos, se usarán los equipos con mayor frecuencia y el tiempo de exposición en el ambiente de trabajo variará, por lo que, es importante implementar controles que sean eficientes en el tiempo y adecuados para los cambios de producción planificados, para asegurar el bienestar del trabajador.

Con esta tesis se propone la mejora del sistema de extracción en una refinería de oro, los controles administrativos y uso de equipos de protección personal, para disminuir la concentración de humos metálicos, ruido y estrés térmico en el ambiente de trabajo por debajo del límite máximo permisible para una jornada diaria de 12 horas y un régimen laboral 28x14, en consecuencia, lograr la minimización del riesgo a la salud en los trabajadores; para así disminuir la probabilidad de ocurrencia de enfermedades ocupacionales, mejorar el bienestar del trabajador, aumentar la producción y cumplir con los requerimientos legales nacionales vigentes.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

- a. Determinar la minimización del riesgo a la salud de los trabajadores que se exponen a humos metálicos, ruido y estrés térmico en una refinería de oro, tras la mejora del sistema de extracción localizada y cambio del proceso de fundición.

1.6.2. Objetivos específicos

- a. Determinar las condiciones subestándares iniciales que caracterizan el funcionamiento del sistema de extracción localizada y el proceso de fundición de una refinería de oro.
- b. Determinar el diseño más adecuado para mejorar el sistema de extracción localizada en la refinería de oro.
- c. Evaluar la eficiencia de los controles implementados en la refinería de oro para controlar la exposición a agentes químicos y físicos.

1.7. Hipótesis

Mediante la mejora del sistema de extracción y cambio del proceso de fundición en una refinería de oro se lograría disminuir la concentración de arsénico, cadmio y plomo, (que se presentan en forma de humos en el ambiente de trabajo), el nivel de ruido y nivel de estrés térmico por debajo del límite máximo permisible que puede estar expuesto una persona en una jornada de 12 horas/día y régimen laboral 28x14, en consecuencia, se minimiza el riesgo a la salud en los trabajadores.

1.8. Marco legal

- a. Constitución Política del Perú
- b. Ley N° 29783. Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo, y sus modificatorias.
- c. Ley N° 30222. Ley que modifica la Ley N° 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- d. Ley N° 26842, Ley General de Salud.
- e. Decreto Supremo N° 005-2012-TR. Reglamento de la Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- f. Decreto Supremo N° 006-2014-TR. Modifican el Reglamento de la Ley N° 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo, aprobado por Decreto Supremo N° 005-2012-TR.
- g. Decreto Supremo N° 012-2014-TR. Decreto Supremo que aprueba el Registro Único de Información sobre accidentes de trabajo, incidentes peligrosos y enfermedades ocupacionales y modifica el artículo 110 del Reglamento de la Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- h. Decreto Supremo N° 016-2016-TR. Modifican el Reglamento de la Ley N° 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo, aprobado por Decreto Supremo N° 005-2012-TR.
- i. Decreto Supremo N° 020-2019-TR. Decreto Supremo que modifica el Reglamento de la Ley N° 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo, el Reglamento de la Ley N° 28806, Ley General de Inspección del Trabajo, el Decreto Supremo N° 017-2012-TR y el Decreto Supremo N° 007-2017-TR.
- j. Decreto Urgencia N° 044-2019. Decreto de urgencia que establece medidas para fortalecer la protección de salud y vida de los trabajadores.
- k. Decreto Supremo 002-2020-TR. Aprueban medidas para la promoción de la formalización laboral y la protección de los derechos fundamentales laborales en el sector agrario (Disposición complementaria modificatoria).
- l. Decreto Supremo N° 024-2016-EM. Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.
- m. Decreto Supremo N° 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
- n. Decreto Supremo N° 015 2005 SA. Reglamento sobre valores límite permisibles para agentes químicos en el ambiente de trabajo.
- o. Resolución Ministerial N° 480-2008-MINSA. Aprueban norma técnica de Salud que establece el listado de enfermedades profesionales.
- p. Resolución Ministerial 375-2008-TR. Aprueban la norma básica de ergonomía y de procedimientos de evaluación de riesgos disergonómicos.
- q. Resolución Ministerial N° 510-2005-MINSA. Aprueban manual de Salud Ocupacional.
- r. Resolución Ministerial N° 511-2007-MINSA. Aprueban la Guía Técnica “Guía de Práctica Clínica para el Manejo de Pacientes con intoxicación por Plomo”.
- s. Resolución Ministerial N° 757-2013-MINSA. Aprueban Guías Técnicas: Guía de Práctica Clínica para el Diagnóstico y Tratamiento de la Intoxicación por Mercurio y

Guía de Práctica Clínica para el Diagnóstico y Tratamiento de la Intoxicación por Cadmio.

- t. Resolución Ministerial N° 389-2011-MINSA. Aprueban la Guía Técnica Guía de práctica Clínica para el Diagnóstico y Tratamiento de la Intoxicación por Arsénico”.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. METALES

2.1.1. Método de análisis de metales en el ambiente de trabajo

NIOSH (Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional) es la responsable en EEUU de realizar investigaciones y hacer recomendaciones para la prevención de lesiones y enfermedades ocupacionales. El manual de métodos analíticos de NIOSH propone para la evaluación de la exposición ocupacional a metales el método 7300 versión 3.

2.1.1.1. Método de análisis NIOSH 7300, versión 3

Método escrito originalmente por Mark Millson, NIOSH/DART, y R. DeLon Hull, Ph.D., NIOSH/DSHEFS, James B. Perkins, David L. Wheeler y Keith Nicholson, DataChem Laboratories, Salt Lake City, UT.

Método revisado por Mark Millson y Ronnee Andrews, NIOSH/DART.

Versión 1 y 2

El método 7300 se evaluó por primera vez en 1981. Los datos de precisión y recuperación se determinaron en 2.5 y 1000 µg para cada elemento de cada muestra en filtros fortificados. Las mediciones utilizadas para la evaluación del método de las versiones 1 y 2 se determinaron con un espectrómetro de emisión por plasma de acoplamiento inductivo Jarrell-Ash 1160, utilizado según las instrucciones del fabricante.

Versión 3

En esta actualización del Método 7300 de NIOSH, los datos de precisión y recuperación se determinaron aproximadamente a niveles de 3 y 10 veces los límites de detección instrumental en filtros fortificados adquiridos comercialmente utilizando 25.0 mL como volumen final de la muestra. Los anexos 3 y 4 contienen una lista de los datos de precisión y recuperación, los límites de detección instrumental y las longitudes de onda analíticas para los filtros mixtos de membrana de ésteres de celulosa (MCE) y de cloruro de polivinilo (PVC). Se evaluaron los filtros PVC, que pueden utilizarse para las mediciones de polvo total y después para la medición de los metales, y se determinó que proporcionan buenos resultados. Los valores en los anexos 3 y 4 se determinaron con instrumentos analíticos para la espectrometría de emisión atómica por plasma axial (EOP), utilizados según las instrucciones del fabricante.

Tabla 3

Elementos a analizar según método NIOSH 7300

Elementos a analizar					
aluminio*	calcio	lantano	níquel	estroncio	tungsteno*
antimonio*	cromo*	litio*	potasio	telurio	vanadio*
arsénico	cobalto*	magnesio	fósforo	estaño	itrio
bario	cobre	manganeso*	selenio	talio	zinc
berilio*	hierro	molibdeno*	plata	titanio	circonio*
cadmio	plomo*				

* Algunos compuestos de estos elementos requieren un manejo especial de la muestra.

Tabla 4

Características del equipo a usar para el muestreo, según método NIOSH 7300

Muestreo	
Equipos de muestreo	Filtro (membrana de ésteres de celulosa de 0.8 µm o membrana de cloruro de polivinilo de 5.0 µm)
Índice de flujo	1 L/min a 4 L/min
Volumen mínimo	Anexo 1
Volumen máximo	Anexo 1
Envío	Rutinario
Estabilidad de la muestra	Estable
Blancos	2 a 10 blancos por juego

Tabla 5

Exactitud, según método NIOSH 7300

Exactitud	
Rango estudiado	No determinado
Sesgo	No determinado
Precisión total	No determinado
Exactitud	No determinado

Tabla 6

Características de la medición de metales, según método NIOSH 7300

Medición	
Método	Plasma de Argón acoplado por inducción – espectrometría de emisión atómica (ICP-AES)
Analitos	Los elementos mencionados en la tabla 10
Reactivos para la digestión	HNO ₃ concentrado / HClO ₄ concentrado (4:1), 5 mL, en incrementos de 2 mL según sea necesario.
Condiciones	Temperatura ambiente, 30 min; 150° hasta sequedad casi total
Solución final	HNO ₃ al 4%, HClO ₄ , al 1%, 25 ml
Longitud de onda	Depende del elemento (Anexo 3)

Corrección de fondo	Desviación espectral de la longitud de onda
Calibración	Elementos en HNO ₃ al 4%, HClO ₄ al 1%
Rango	Varía según el elemento
LDD estimado	Anexos 3 y 4
Precisión	Anexos 3 y 4

Tabla 7

Características de la medición de metales, según método NIOSH 7300

Aplicabilidad

Este método tiene un rango de trabajo de 0.005 a 2.0 mg/m³ para cada elemento en una muestra de aire de 500 L. Este es un análisis multielemental simultáneo, no de compuestos específicos. Verificar que los tipos de compuestos de las muestras sean solubles con el procedimiento de digestión seleccionado.

Tabla 8

Interferencias espectrales, según método NIOSH 7300

Interferencias

Las interferencias espectrales son las principales interferencias que ocurren en un análisis ICP-AES. Se pueden minimizar si se utiliza un criterio adecuado en la selección de la longitud de onda, los factores de corrección de los elementos interaccionantes y la corrección de fondo.

Tabla 9

Cálculo para obtener las concentraciones, según método NIOSH 7300

Cálculos

Obtener las concentraciones de la solución para la muestra, C_s (µg/mL), y el promedio del blanco, C_b (µg/mL), del instrumento.

Utilizando los volúmenes de solución de la muestra, V_s (mL), y el blanco, V_b (mL), calcular la concentración, C (mg/m³), de cada elemento del volumen de aire muestreado, V (L):

$$C = \frac{C_s V_s - C_b V_b}{V} \left(\frac{mg}{m^3} \right)$$

2.1.1.2. Límite máximo permisible de exposición a los metales obtenidos por método NIOSH 7300

El método analítico NIOSH 7300 indica el método de muestreo y medición de 32 elementos, pero para fines de esta tesis, los resultados obtenidos tras el análisis de las muestras en laboratorio corresponden a 22 elementos los cuales figuran en la tabla 10, así mismo, se indica su TLV-TWA (Valor límite permisible – media ponderada en el tiempo).

Tabla 10

TLV-TWA de elementos obtenidos por el método NIOSH 7300

Agente químico	TLV - TWA
Aluminio	5 mg/m ³
Antimonio	0.5 mg/m ³
Arsénico	0.01 mg/m ³
Bario	0.5 mg/m ³
Berilio	0.002 mg/m ³
Cadmio	0.01 mg/m ³
Calcio	2 mg/m ³
Cobalto	0.02 mg/m ³
Cobre	0.2 mg/m ³
Cromo	0.5 mg/m ³
Estaño	2 mg/m ³
Fósforo	0.1 mg/m ³
Hierro	5 mg/m ³
Manganeso	0.2 mg/m ³
Níquel	1.5 mg/m ³
Plata	0.1 mg/m ³
Plomo	0.05 mg/m ³
Selenio	0.2 mg/m ³
Talio	0.1 mg/m ³
Titanio	10 mg/m ³
Vanadio	0.05 mg/m ³
Zinc	2 mg/m ³

2.1.2. Procedimiento para monitoreo de material particulado metálico

2.1.2.1. Equipos por utilizar

- a. Bomba gravimétrica de flujo constante con batería para un funcionamiento mínimo de 12 horas.
- b. Filtros de celulosa de 37 mm de diámetro y tamaño de poro 0.8 µm.
- c. Soporte para filtro de 37 mm de diámetro.
- d. Portafiltro o cassette de 2 secciones de 37 mm de diámetro.
- e. Calibrador primario.

La bomba gravimétrica más la manguera de muestreo y el portafiltro con el filtro correspondiente constituyen el "tren de muestreo".

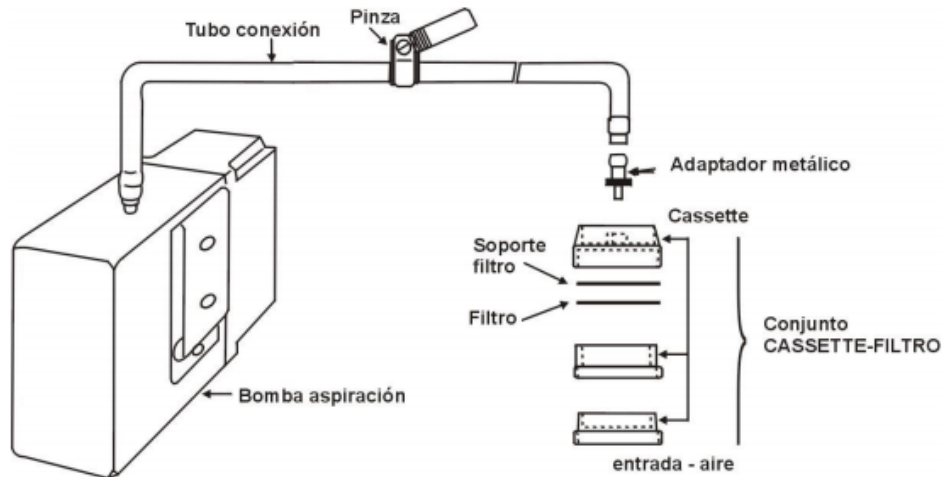


Figura 6. Tren de muestreo. Fuente: Instituto de Salud Pública de Chile (1997) Manual básico sobre mediciones y toma de muestras ambientales y biológicas en salud ocupacional

2.1.2.2. Operación de la bomba a flujo constante

- a. Antes de realizar el monitoreo se debe calibrar la bomba gravimétrica con un “tren de muestreo” similar al que se va a usar y se debe dejar constancia del valor del flujo obtenido (este valor debe ser el promedio de 10 calibraciones sucesivas). Para monitoreo de metales se debe asegurar que la bomba gravimétrica cuente con un flujo de 1000 ccm.
- b. Tras la calibración primaria se procede al monitoreo, registrando la hora de inicio (hora y minuto). Durante el monitoreo, se debe estar atento al funcionamiento de la bomba, a los ruidos y luces que emite y posibles obstrucciones. Si durante el monitoreo se produce una interrupción del mismo, se debe dejar constancia de la hora (hora y minuto) y detenga la bomba, revisando el tren de muestreo para verificar el problema. El muestreo deberá repetirse si no ha alcanzado un tiempo mínimo representativo.
- c. Una vez finalizado el período de monitoreo programado, se debe calibrar nuevamente con el mismo “tren de muestreo” que usó en la calibración inicial. La variación no deberá ser mayor de 5%.

2.1.2.3. Preparación de portafiltros o cassette de dos secciones

El portafiltros es un dispositivo de material plástico que puede estar constituido por dos o tres secciones que van unidas entre sí a presión.

- a. Colocar un tapón azul en el orificio de la sección macho (entrada) del portafiltro).

- b. Colocar un tapón rojo en el orificio de la sección hembra (salida) del portafiltro (la sección con estrías).
- c. Colocar un soporte de filtro (almohadilla de fibras) en la sección hembra del portafiltro.
- d. Sacar un filtro de la caja de filtros y colocarlo encima de la almohadilla de fibras con una pinza especial, de mandíbulas lisas, y tomando del filtro solamente de los bordes, sin tocar el filtro con los dedos.
- e. Colocar inmediatamente la sección macho del portafiltro dentro de la sección hembra del mismo presionándolo para que haga un contacto uniforme a lo largo de todo el borde del filtro. Como medida de precaución, coloque alrededor de la unión de las secciones macho y hembra una cinta de papel engomado autoadhesivo.

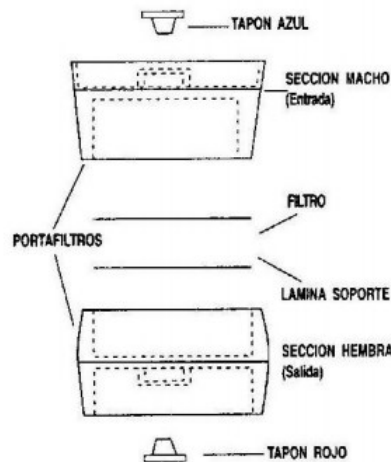


Figura 7. Porta filtro de dos secciones. Fuente: Instituto de Salud Pública de Chile (1997) Manual básico sobre mediciones y toma de muestras ambientales y biológicas en salud ocupacional

2.1.2.4. Instalación y portafiltro de dos secciones en la bomba de muestreo

- a. Conectar un extremo de la manguera de muestreo al orificio de entrada de la muestra en la bomba gravimétrica.
- b. Sacar el tapón rojo del orificio de salida del portafiltro (con el filtro ya montado). Conectar este orificio del portafiltro con el otro extremo de la manguera de muestreo y guardar el tapón rojo porque se usará posteriormente.

2.1.2.5. Instalación y operación del tren de muestreo

- a. Ubicar el “tren de muestreo” en el lugar que corresponda.
- b. Sacar el tapón azul del orificio de estrada de la muestra al portafiltro (cassette) y guardarlo ya que deberá reinstalarse una vez concluido el muestreo.
- c. Haga funcionar la bomba gravimétrica y verificar que el flujo corresponda a la determinada en la calibración.
- d. Registrar la hora (hora y minuto) de comienzo del monitoreo.
- e. Al término del monitoreo detener la bomba gravimétrica y anotar la hora de término del muestreo (hora y minutos).
- f. Colocar el tapón azul en el orificio de entrada de la muestra al cassette, sacar con cuidado el portafiltro de la manguera de muestreo, por último, colocar el tapón rojo en el orificio de salida (zona estrada) del cassette (el que estaba conectado a la manguera).

Junto a todas las muestras que se envíen a analizar a laboratorio se debe adjuntar un portafiltro con filtro instalado, identificado como “blanco”, el cual ha sido sometido a todas las manipulaciones de montaje y desmontaje, antes de iniciar el muestreo, pero sin poner en funcionamiento la bomba gravimétrica.

2.1.3. Ajuste de los límites máximos permisibles para un horario de trabajo específico

Según indica la IRSST (Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail) en la “Guía para el ajuste de los valores permisibles de exposición para los horarios de trabajo habituales”, indica que, las concentraciones máximas de los contaminantes químicos que puede estar expuesto el personal en el entorno laboral han sido estandarizadas por Entidades dedicadas a la prevención de enfermedades ocupacionales, como ACGIH, NIOSH, entre otras; pero al realizar un análisis adecuado sobre la exposición ocupacional a un agente químico hay que considerar que el TLV TWA aplica a los trabajadores con un horario regular de trabajo de 8 horas por día y cinco días a la semana. Por ello, la ACGIH recomendaba desde varios años realizar el ajuste de los TLVs con el modelo de corrección de Scala. Desde 2004, la ACGIH recomienda realizar el ajuste de los TLVs según el modelo desarrollado por la Universidad de Montreal y el Instituto de Investigación Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail de Québec porque los resultados que se generan son más confiables que otros métodos, según modelos toxicocinéticos.

Por el principio de orientación, se debe asegurar un grado equivalente de protección a los trabajadores con un horario convencional de 8 horas por día, 5 días a la semana,

así como a los trabajadores con horarios de trabajo diferentes; en base a esto, se realiza el ajuste de los límites máximos permisibles de los agentes químicos por categorías I, II, III y IV, según se observa en la tabla 11, cuyo respaldo se basa en modelos toxicocinéticos.

Tabla 11

Lista de categorías de ajuste según indica la IRSST

Categoría	Clasificación	Tipo de ajuste
I-a	Sustancias reguladas por un valor máximo	
I-b	Sustancias irritantes o mal olor	
I-c	Asfixiantes simples, sustancias que presentan un riesgo de seguridad o un riesgo de salud muy baja, cuya vida media es de menos de 4 horas. Las limitaciones tecnológicas	No ajuste
II	Las sustancias que producen efectos a corto plazo tras la exposición.	Diario ajuste
III	Las sustancias que producen efectos derivados de la exposición prolongada.	Semanal ajuste
IV	Las sustancias que producen derivados de una exposición a corto plazo.	Ajuste diario o semanal, el más conservador.

En el caso de sustancias de la categoría I, la TWA-EV* no tiene que ser ajustado, independientemente del tipo de programa de trabajo. Para las sustancias pertenecientes a las otras categorías, el TWA-EV* se ajusta mediante la aplicación de una de las siguientes ecuaciones:

$$Fa = 8 / H_d$$

Categoría II sustancias, requiriendo un ajuste diario.

$$Fa = 40 / H_{sem}$$

Categoría III sustancias, requiriendo un ajuste semanal.

Dónde:

- Fa= Factor de ajuste
- Hd= Duración de la exposición en horas por turno
- Hsem= Duración media de los turnos de trabajo por semana sobre la base de un ciclo de trabajo repetitivo.

En el caso de sustancias de la categoría IV, el factor de ajuste debe calcularse para cada una de las dos ecuaciones para las categorías II y III, y el factor de ajuste (Fa) más bajo debe ser aplicado.

A continuación, en la tabla 12, se muestran los factores de ajuste de los horarios de trabajo habituales sobre la base de la duración de los turnos de trabajo (horas / día) y la duración media de semanas de trabajo (horas / semana).

TWA-EV: "La concentración media ponderada en el tiempo para una jornada de 8 horas y una semana laboral de 40 horas de una sustancia química (en forma de gases, polvos, humos, vapores o nieblas) presentes en el aire en la zona respiratoria del trabajador."

Tabla 12
Lista de categorías de ajuste según indica la IRSST

Categoría I	Categoría II	Categoría III	Categoría IV																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
No se requiere ajuste	<table border="1"> <thead> <tr> <th>H/día</th> <th>FA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>8,0</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>8,5</td><td>0,94</td></tr> <tr><td>9,0</td><td>0,89</td></tr> <tr><td>9,5</td><td>0,84</td></tr> <tr><td>10,0</td><td>0,80</td></tr> <tr><td>10,5</td><td>0,76</td></tr> <tr><td>11,0</td><td>0,73</td></tr> <tr><td>11,5</td><td>0,70</td></tr> <tr><td>12,0</td><td>0,67</td></tr> <tr><td>12,5</td><td>0,64</td></tr> <tr><td>13,0</td><td>0,62</td></tr> <tr><td>13,5</td><td>0,59</td></tr> <tr><td>14,0</td><td>0,57</td></tr> <tr><td>14,5</td><td>0,55</td></tr> <tr><td>15,0</td><td>0,53</td></tr> <tr><td>15,5</td><td>0,52</td></tr> <tr><td>16,0</td><td>0,50</td></tr> </tbody> </table>	H/día	FA	8,0	1,00	8,5	0,94	9,0	0,89	9,5	0,84	10,0	0,80	10,5	0,76	11,0	0,73	11,5	0,70	12,0	0,67	12,5	0,64	13,0	0,62	13,5	0,59	14,0	0,57	14,5	0,55	15,0	0,53	15,5	0,52	16,0	0,50	<table border="1"> <thead> <tr> <th>H/sem</th> <th>FA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>40</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>41</td><td>0,98</td></tr> <tr><td>42</td><td>0,95</td></tr> <tr><td>43</td><td>0,93</td></tr> <tr><td>44</td><td>0,91</td></tr> <tr><td>45</td><td>0,89</td></tr> <tr><td>46</td><td>0,87</td></tr> <tr><td>47</td><td>0,85</td></tr> <tr><td>48</td><td>0,83</td></tr> <tr><td>49</td><td>0,82</td></tr> <tr><td>50</td><td>0,80</td></tr> <tr><td>51</td><td>0,78</td></tr> <tr><td>52</td><td>0,77</td></tr> <tr><td>53</td><td>0,75</td></tr> <tr><td>54</td><td>0,74</td></tr> <tr><td>55</td><td>0,73</td></tr> <tr><td>56</td><td>0,71</td></tr> <tr><td>57</td><td>0,70</td></tr> <tr><td>58</td><td>0,69</td></tr> <tr><td>59</td><td>0,68</td></tr> <tr><td>60</td><td>0,67</td></tr> </tbody> </table>	H/sem	FA	40	1,00	41	0,98	42	0,95	43	0,93	44	0,91	45	0,89	46	0,87	47	0,85	48	0,83	49	0,82	50	0,80	51	0,78	52	0,77	53	0,75	54	0,74	55	0,73	56	0,71	57	0,70	58	0,69	59	0,68	60	0,67	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">FA</th> <th colspan="16">Horas/día</th> </tr> <tr> <th>8,0</th><th>8,5</th><th>9,0</th><th>9,5</th><th>10,0</th><th>10,5</th><th>11,0</th><th>11,5</th><th>12,0</th><th>12,5</th><th>13,0</th><th>13,5</th><th>14,0</th><th>14,5</th><th>15,0</th><th>15,5</th><th>16,0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>40,0</td><td>1,00</td><td>0,94</td><td>0,89</td><td>0,84</td><td>0,80</td><td>0,76</td><td>0,73</td><td>0,70</td><td>0,67</td><td>0,64</td><td>0,62</td><td>0,59</td><td>0,57</td><td>0,55</td><td>0,53</td><td>0,52</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>40,5</td><td>0,99</td><td>0,94</td><td>0,89</td><td>0,84</td><td>0,80</td><td>0,76</td><td>0,73</td><td>0,70</td><td>0,67</td><td>0,64</td><td>0,62</td><td>0,59</td><td>0,57</td><td>0,55</td><td>0,53</td><td>0,52</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>41,0</td><td>0,98</td><td>0,94</td><td>0,89</td><td>0,84</td><td>0,80</td><td>0,76</td><td>0,73</td><td>0,70</td><td>0,67</td><td>0,64</td><td>0,62</td><td>0,59</td><td>0,57</td><td>0,55</td><td>0,53</td><td>0,52</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>41,5</td><td>0,96</td><td>0,94</td><td>0,89</td><td>0,84</td><td>0,80</td><td>0,76</td><td>0,73</td><td>0,70</td><td>0,67</td><td>0,64</td><td>0,62</td><td>0,59</td><td>0,57</td><td>0,55</td><td>0,53</td><td>0,52</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>42,0</td><td>0,95</td><td>0,94</td><td>0,89</td><td>0,84</td><td>0,80</td><td>0,76</td><td>0,73</td><td>0,70</td><td>0,67</td><td>0,64</td><td>0,62</td><td>0,59</td><td>0,57</td><td>0,55</td><td>0,53</td><td>0,52</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>42,5</td><td>0,94</td><td>0,94</td><td>0,89</td><td>0,84</td><td>0,80</td><td>0,76</td><td>0,73</td><td>0,70</td><td>0,67</td><td>0,64</td><td>0,62</td><td>0,59</td><td>0,57</td><td>0,55</td><td>0,53</td><td>0,52</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>43,0</td><td>0,93</td><td>0,93</td><td>0,89</td><td>0,84</td><td>0,80</td><td>0,76</td><td>0,73</td><td>0,70</td><td>0,67</td><td>0,64</td><td>0,62</td><td>0,59</td><td>0,57</td><td>0,55</td><td>0,53</td><td>0,52</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>43,5</td><td>0,92</td><td>0,92</td><td>0,89</td><td>0,84</td><td>0,80</td><td>0,76</td><td>0,73</td><td>0,70</td><td>0,67</td><td>0,64</td><td>0,62</td><td>0,59</td><td>0,57</td><td>0,55</td><td>0,53</td><td>0,52</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>44,0</td><td>0,91</td><td>0,91</td><td>0,89</td><td>0,84</td><td>0,80</td><td>0,76</td><td>0,73</td><td>0,70</td><td>0,67</td><td>0,64</td><td>0,62</td><td>0,59</td><td>0,57</td><td>0,55</td><td>0,53</td><td>0,52</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>44,5</td><td>0,90</td><td>0,90</td><td>0,89</td><td>0,84</td><td>0,80</td><td>0,76</td><td>0,73</td><td>0,70</td><td>0,67</td><td>0,64</td><td>0,62</td><td>0,59</td><td>0,57</td><td>0,55</td><td>0,53</td><td>0,52</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>45,0</td><td>0,89</td><td>0,89</td><td>0,89</td><td>0,84</td><td>0,80</td><td>0,76</td><td>0,73</td><td>0,70</td><td>0,67</td><td>0,64</td><td>0,62</td><td>0,59</td><td>0,57</td><td>0,55</td><td>0,53</td><td>0,52</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>45,5</td><td>0,88</td><td>0,88</td><td>0,88</td><td>0,84</td><td>0,80</td><td>0,76</td><td>0,73</td><td>0,70</td><td>0,67</td><td>0,64</td><td>0,62</td><td>0,59</td><td>0,57</td><td>0,55</td><td>0,53</td><td>0,52</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>46,0</td><td>0,87</td><td>0,87</td><td>0,87</td><td>0,84</td><td>0,80</td><td>0,76</td><td>0,73</td><td>0,70</td><td>0,67</td><td>0,64</td><td>0,62</td><td>0,59</td><td>0,57</td><td>0,55</td><td>0,53</td><td>0,52</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>46,5</td><td>0,86</td><td>0,86</td><td>0,86</td><td>0,84</td><td>0,80</td><td>0,76</td><td>0,73</td><td>0,70</td><td>0,67</td><td>0,64</td><td>0,62</td><td>0,59</td><td>0,57</td><td>0,55</td><td>0,53</td><td>0,52</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>47,0</td><td>0,85</td><td>0,85</td><td>0,85</td><td>0,84</td><td>0,80</td><td>0,76</td><td>0,73</td><td>0,70</td><td>0,67</td><td>0,64</td><td>0,62</td><td>0,59</td><td>0,57</td><td>0,55</td><td>0,53</td><td>0,52</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>47,5</td><td>0,84</td><td>0,84</td><td>0,84</td><td>0,84</td><td>0,80</td><td>0,76</td><td>0,73</td><td>0,70</td><td>0,67</td><td>0,64</td><td>0,62</td><td>0,59</td><td>0,57</td><td>0,55</td><td>0,53</td><td>0,52</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>48,0</td><td>0,83</td><td>0,83</td><td>0,83</td><td>0,83</td><td>0,80</td><td>0,76</td><td>0,73</td><td>0,70</td><td>0,67</td><td>0,64</td><td>0,62</td><td>0,59</td><td>0,57</td><td>0,55</td><td>0,53</td><td>0,52</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>48,5</td><td>0,82</td><td>0,82</td><td>0,82</td><td>0,82</td><td>0,80</td><td>0,76</td><td>0,73</td><td>0,70</td><td>0,67</td><td>0,64</td><td>0,62</td><td>0,59</td><td>0,57</td><td>0,55</td><td>0,53</td><td>0,52</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>49,0</td><td>0,82</td><td>0,82</td><td>0,82</td><td>0,82</td><td>0,80</td><td>0,76</td><td>0,73</td><td>0,70</td><td>0,67</td><td>0,64</td><td>0,62</td><td>0,59</td><td>0,57</td><td>0,55</td><td>0,53</td><td>0,52</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>49,5</td><td>0,81</td><td>0,81</td><td>0,81</td><td>0,81</td><td>0,80</td><td>0,76</td><td>0,73</td><td>0,70</td><td>0,67</td><td>0,64</td><td>0,62</td><td>0,59</td><td>0,57</td><td>0,55</td><td>0,53</td><td>0,52</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>50,0</td><td>0,80</td><td>0,80</td><td>0,80</td><td>0,80</td><td>0,80</td><td>0,76</td><td>0,73</td><td>0,70</td><td>0,67</td><td>0,64</td><td>0,62</td><td>0,59</td><td>0,57</td><td>0,55</td><td>0,53</td><td>0,52</td><td>0,50</td></tr> </tbody> </table>	FA	Horas/día																8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	15,5	16,0	40,0	1,00	0,94	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50	40,5	0,99	0,94	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50	41,0	0,98	0,94	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50	41,5	0,96	0,94	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50	42,0	0,95	0,94	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50	42,5	0,94	0,94	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50	43,0	0,93	0,93	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50	43,5	0,92	0,92	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50	44,0	0,91	0,91	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50	44,5	0,90	0,90	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50	45,0	0,89	0,89	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50	45,5	0,88	0,88	0,88	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50	46,0	0,87	0,87	0,87	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50	46,5	0,86	0,86	0,86	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50	47,0	0,85	0,85	0,85	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50	47,5	0,84	0,84	0,84	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50	48,0	0,83	0,83	0,83	0,83	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50	48,5	0,82	0,82	0,82	0,82	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50	49,0	0,82	0,82	0,82	0,82	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50	49,5	0,81	0,81	0,81	0,81	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50	50,0	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50
	H/día	FA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	8,0	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	8,5	0,94																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	9,0	0,89																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	9,5	0,84																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	10,0	0,80																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	10,5	0,76																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	11,0	0,73																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	11,5	0,70																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	12,0	0,67																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	12,5	0,64																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	13,0	0,62																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	13,5	0,59																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	14,0	0,57																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	14,5	0,55																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	15,0	0,53																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	15,5	0,52																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	16,0	0,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	H/sem	FA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
40	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
41	0,98																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
42	0,95																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
43	0,93																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
44	0,91																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
45	0,89																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
46	0,87																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
47	0,85																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
48	0,83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
49	0,82																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
50	0,80																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
51	0,78																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
52	0,77																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
53	0,75																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
54	0,74																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
55	0,73																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
56	0,71																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
57	0,70																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
58	0,69																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
59	0,68																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
60	0,67																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
FA	Horas/día																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	15,5	16,0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
40,0	1,00	0,94	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
40,5	0,99	0,94	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
41,0	0,98	0,94	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
41,5	0,96	0,94	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
42,0	0,95	0,94	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
42,5	0,94	0,94	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
43,0	0,93	0,93	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
43,5	0,92	0,92	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
44,0	0,91	0,91	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
44,5	0,90	0,90	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
45,0	0,89	0,89	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
45,5	0,88	0,88	0,88	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
46,0	0,87	0,87	0,87	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
46,5	0,86	0,86	0,86	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
47,0	0,85	0,85	0,85	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
47,5	0,84	0,84	0,84	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
48,0	0,83	0,83	0,83	0,83	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
48,5	0,82	0,82	0,82	0,82	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
49,0	0,82	0,82	0,82	0,82	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
49,5	0,81	0,81	0,81	0,81	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
50,0	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
			<p>Azul: El ajuste diario más conservador. Rojo: El ajuste semanal más conservador.</p>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
<p>La duración de los turnos de trabajo debe ser igual de un día para otro</p>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															

Categoría I

Cuando un agente químico es de categoría I, no se requiere aplicar un factor de ajuste al TLV TWA.

Categoría II - Ajuste diario

Aplica a agentes químicos de categoría II, cuyo ajuste debe hacerse sobre una base diaria y si los turnos de trabajo tienen la misma duración de un día a otro.

Si los turnos de trabajo no son todos de la misma duración no se puede aplicar el ajuste diario, debido a un razonamiento toxicológico, ya que podría dar lugar a situaciones en las que el estándar no aplique. Entonces se hace necesario ajustar la TWA-EV para cada turno de trabajo y duración, para ponderar los resultados de acuerdo con la duración del turno de trabajo correspondiente.

Categoría III - Ajuste semanal

Aplica a agentes químicos de categoría III, las cuales requieren un ajuste de semanal, consisten en todas las sustancias cuyos efectos aparecen después de una exposición a largo plazo. El ajuste sobre la base de la duración de la exposición promedio en horas por semana (h/sem) basado en un ciclo de trabajo repetitivo es lógico toxicológicamente.

El factor de ajuste sólo se utiliza para calcular el valor de exposición promedio ajustado. La ponderación de la(s) medición(es) de concentración para verificar el cumplimiento del estándar debe calcularse a lo largo de la duración de la jornada de trabajo. Si los turnos de trabajo tienen una duración desigual de un turno a otro, la ponderación debe realizarse durante la duración de cada uno de los turnos de trabajo.

Categoría IV - Ajuste diario o semanal (El más conservador de los dos)

Para sustancias de la categoría IV, se debe calcular el ajuste más conservador de los ajustes diarios o semanales. Los mismos criterios de cálculo para el valor de exposición promedio ajustado y la ponderación de los resultados se aplican a esta categoría.

2.1.4. Toxicología de los metales a analizar

Para fines de esta tesis se analizarán tres metales: arsénico, cadmio y plomo.

2.1.4.1. Arsénico (As)

Albiano N. y Villaamil E. en el libro Toxicología Laboral (2015) exponen que el arsénico es un metaloide de color gris-plateado, brillante, quebradizo y amorfo, de olor aliáceo, que en contacto con el aire húmedo se oxida fácilmente formando Trióxido de Arsénico o Anhídrido Arsenioso o Arsénico blanco. Se obtiene habitualmente en forma de trióxido de As, como producto secundario en la industria del cobre, plomo, cinc, estaño y oro, ya que se encuentra como impureza de muchos metales.

Por intoxicación aguda, el arsénico causa irritación de vías respiratorias, trastornos nerviosos, trastornos digestivos, cianosis facial, conjuntivitis y dermatitis de los párpados.

Por exposición crónica el arsénico es un cancerígeno, incluido en el listado de la IARC (International Agency for Research on Cancer) en el grupo 1 "cancerígeno para los seres humanos". La evidencia científica ha probado que la exposición a arsénico genera cáncer a la piel, cáncer pulmonar y angiosarcoma de hígado.

2.1.4.1.1. Toxicocinética del arsénico

A continuación, en la tabla 13, se presenta la toxicocinética del arsénico, según indica Ramirez A. en el artículo “Exposición ocupacional y ambiental al arsénico. Actualización bibliográfica para investigación científica” (Ramirez, 2013).

Tabla 13
Toxicocinética del arsénico

Agente químico	Absorción	Distribución	Eliminación
Arsénico (As)	<p>Inhalación: En el aire del ambiente laboral predomina el As⁺³; las partículas más grandes se depositan en el tracto respiratorio superior y desde allí pueden ser removidas por las vibrisas o por el moco hacia el exterior o al tubo digestivo donde dependiendo de su solubilidad se absorberán bien. En el pulmón, las partículas menores de 7 µm se absorben entre 75% y 85%.</p> <p>Ingestión: Las especies de As disueltos en agua llegan a una absorción del 95% por la vía digestiva. El iAs³⁺ es más soluble en lípidos y el iAs⁵⁺ se absorbe mejor por el intestino.</p> <p>Contacto cutáneo: Por la piel las especies de arsénico húmedos se absorben bien, pero secos su absorción solo alcanza 2%.</p>	<p>El arsénico llega a la sangre y se une a las globulinas. Su post distribución dentro de las primeras 24 horas lo lleva, entre otros órganos, a hígado, pulmón, riñón y bazo, donde al acoplarse a los grupos sulfidrilo de las proteínas se acumula. Dentro de las siguientes 30 horas, se deposita en cabello y uñas. Los niveles de As en secciones de pelo indican el tiempo transcurrido desde el inicio de la exposición.</p>	<p>La vida media del As es de 6 horas. Los porcentajes de excreción renal son para el DMA (ácido dimetilarsínico) de 50% a 70%, para el MMA (ácido monometilarsónico) de 15 a 20% y alrededor del 20% se excreta sin metilar.</p>

2.1.4.1.2. Toxicodinámica del arsénico

A continuación, en la tabla 14, se presenta la toxicodinámica del arsénico, según indica Ramirez A. en el artículo “Exposición ocupacional y ambiental al arsénico. Actualización bibliográfica para investigación científica” (Ramirez, 2013).

Tabla 14
Toxicodinámica del arsénico

Biotransformación	Cuadro clínico	
<p>La toxicidad de los compuestos arsenicales es compleja y depende de la vía de ingreso, de su valencia y de su forma química. El iAs es el responsable de la intoxicación en el humano y la arsina es el compuesto más tóxico. Su metabolismo ocurre en el hígado con intervención de procesos secuenciales de metilación oxidativa. Así, la biotransformación del iAs+3 requiere de un primer paso de metilación para obtener ácido monometilarsónico (MMA) y luego en una segunda metilación se alcanza el ácido dimetilarsínico (DMA). La S-adenosinmetionina actuaría como donador de los grupos metilo y el glutatión, un tripéptido no proteínico, como principal agente reductor y detoxificador al donar electrones y transportar al As según se indica en la figura 8.</p>	Órgano blanco	Signos y síntomas
	Mucosas, piel y faneras	Irritación, edema facial acompañado de melanosis y descamación, líneas de Mees en uñas; hiperpigmentación de pezones, cicatrices de cuello y axilas o leucomelanodermias, que progresan a hiperqueratosis palmo plantar o a enfermedad de Bowen y pueden terminar en carcinoma de piel.
	Sistema nervioso	Neuritis periférica simétrica, neuropatía dolorosa en los segmentos distales de las extremidades, con parestesias e hipofunción motora, encefalopatía, temblor y degeneración axonal.
	Sistema gastrointestinal	Anorexia, dispepsia, náuseas, vómitos y diarreas. Ictericia, hepatomegalia, cirrosis, incremento de las transaminasas, hemangioendotelioma.
	Riñón	Nefritis y cáncer.
	Sangre y sistema cardiovascular	Disminución en las tres series, punteado basófilo, cariorrexis, compromiso miocárdico. Acrocianosis, acrodermatitis atrofiante.
	Pulmón	Signos bronquíticos y cáncer.
	Sistema muscular	Miopatía y rabdomiólisis.

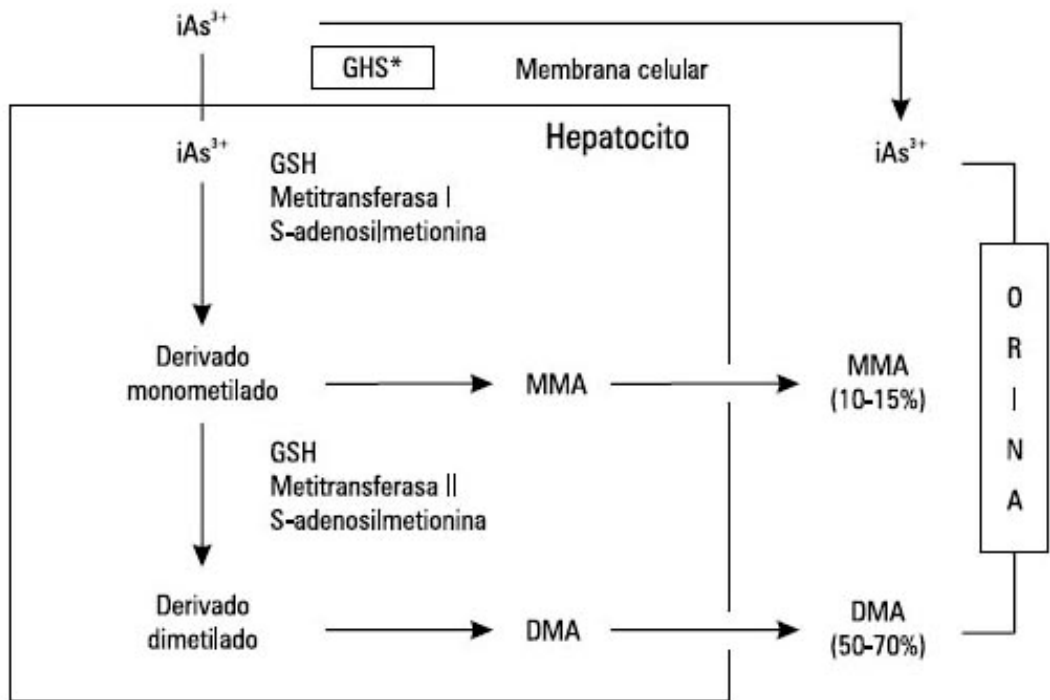


Figura 8. Biotransformación del arsénico. Fuente: Offergelt JA, Roels H, Buchet JP, Boeckx JP and Lawrerys R, Relation between airborne arsenic trioxide and urinary excretion of inorganic arsenic and his methylated metabolites. Br J Ind Medicine, 1992; 49:397-3.

2.1.4.2. Cadmio (Cd)

Albiano N. y Villaamil E. en el libro Toxicología Laboral (2015) exponen que el cadmio es un metal electropositivo suave, dúctil, maleable, de color blanco plateado. Sus minerales están estrechamente ligados a los del cinc y plomo. Resistente a la corrosión se lo utiliza para electrodeposición en otros metales, especialmente el acero y el hierro. Los principales compuestos utilizados en la industria son: óxido, sulfuro, cloruro, bromuro y sulfato.

Por intoxicación aguda, el cadmio, en forma de humo, causa un cuadro seudogripal seguido de tos, disnea y cianosis.

Por exposición crónica el cadmio es un cancerígeno, incluido en el listado de la IARC en el grupo 1 "cancerígeno para los seres humanos". La evidencia científica ha probado que la exposición a cadmio genera cáncer de pulmón y próstata.

2.1.4.2.1. Toxicocinética del cadmio

A continuación, en la tabla 15, se presenta la toxicocinética del cadmio, según indica Ramirez A. en el artículo “Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos” (Ramírez, 2002).

Tabla 15
Toxicocinética del cadmio

Agente químico	Absorción	Distribución	Eliminación
Cadmio (Cd)	<p>Inhalación: La inhalación de material particulado es la ruta principal de ingreso. La cuota de absorción vía respiratoria depende de la composición química, del tamaño de las partículas y de su retención en el pulmón. El depósito en el pulmón de partículas menores de 5 µm de diámetro es del orden del 25% y de ellas aproximadamente el 60% pasa a la sangre (o sea típicamente unos 15% del cadmio inhalado llega al flujo sanguínea) (La Dou 1999). Las partículas de mayor tamaño (>10 µm) depositadas en la nasofaringe, tráquea y bronquios son transportadas por mecanismo mucociliar a la faringe, desde donde entran parcialmente al tracto gastrointestinal (La Dou 1999, Kjellstrom et al. 1978).</p> <p>Ingestión: El material particulado que contiene cadmio es ingerido directamente a través de alimentos o bebidas contaminadas o fumando cigarrillos con tabaco que naturalmente contiene cadmio. Hay también un porcentaje de partículas por encima de unos 10 µm que después de haber sido inhalado posteriormente son vertidos al tubo digestivo por los mecanismos de aclaramiento pulmonar.</p> <p>Contacto cutáneo: La absorción percutánea ocurre solamente por contacto con los compuestos orgánicos del cadmio.</p>	<p>Una vez absorbido en la sangre, la mayoría del cadmio es transportado vinculado a proteínas, como la albumina y la metalotioneína. Tras la absorción, el cadmio se almacena principalmente en el hígado y los riñones; en caso de cesar la exposición, la carga de cadmio en el hígado tiende a disminuir trasladándose a los riñones.</p>	<p>El tiempo de vida media es aproximadamente 30 años, por lo que puede ser detectado mucho tiempo después de la exposición. Las principales vías de excreción son orina y heces. Por orina, diariamente se elimina 0.007% del contenido corporal y por heces 0.03%. La vida media de excreción urinaria es de hasta 40 años. Tan sólo una pequeña fracción del cadmio del compartimento sanguíneo y otra del hígado, a través de la vía biliar, se elimina por heces.</p>

2.1.4.2.2. Toxicodinámica del cadmio

A continuación, en la tabla 16, se presenta la toxicodinámica del arsénico, según indica Ramirez A. en el artículo “Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos” (Ramírez, 2002).

Tabla 16
Toxicodinámica del cadmio

Biotransformación	Cuadro clínico	
El riñón es más sensible al cadmio que pulmón e hígado y el epitelio del túbulo renal proximal es el punto blanco. Su deterioro se pone de manifiesto por el incremento de proteínas de peso molecular bajo, lo que causa “proteinuria de peso molecular bajo”. Simultáneamente, hay alteración de la filtración glomerular, por cambios en la restricción electrostática para la filtración de las proteínas polianiónicas, lo que disminuye su reabsorción y conduce a incrementar la excreción urinaria de proteínas de peso molecular alto, que origina “proteinuria de peso molecular alto”. Teóricamente, la acción tóxica del cadmio se debería a su afinidad por radicales de los grupos –SH, –OH, carboxilo, fosfatil, cisteinil e histidil y a su acción competitiva con otros elementos funcionalmente esenciales, Zn, Cu, Fe y Ca.	Órgano blanco	Signos y síntomas
	Pulmones	Neumonitis química y enfisema pulmonar. Cáncer.
	Riñones	Disfunción renal con proteinuria y microproteinuria.
	Sistema gastrointestinal	Síntomas irritativos (se presenta sabor metálico, cólicos violentos, vómitos, diarreas sanguinolentas y toxicidad hepatorenal).

2.1.4.3. Plomo (Pb)

Albiano N. y Villaamil E. en el libro Toxicología Laboral (2015) exponen que el plomo es un metal gris azulado, maleable y dúctil, cuyo punto de fusión es a los 327 °C. Resistente al ácido sulfúrico, se disuelve rápidamente en ácido nítrico y es solubilizado por ácidos orgánicos.

Por exposición crónica el plomo, la IARC lo incluye en el grupo 2B “posible carcinógeno para el hombre”.

2.1.4.3.1. Toxicocinética del plomo

A continuación, en la tabla 17, se presenta la toxicocinética del plomo, según indica el “Protocolo de vigilancia sanitaria específica para los trabajadores expuestos a plomo” (Ministerio de Sanidad y Consumo de España, 1999).

Tabla 17
Toxicocinética del plomo

Agente químico	Absorción	Distribución	Eliminación
Plomo (Pb)	<p>Inhalación: Es la vía de entrada más importante, penetrando por inhalación de vapores, humos y partículas del polvo. El 50% del Pb depositado en los pulmones se encuentra en sangre circulante tras aproximadamente 50 horas, pasando un porcentaje a tejidos o siendo eliminado. El grado de absorción de plomo por esta vía depende de la concentración ambiental en el puesto de trabajo, del tiempo de exposición, de la forma física (vapores, humos, tamaños de las partículas) y química del plomo inhalado, de factores personales (edad, tipo de ventilación), y de las condiciones de trabajo (temperatura, humedad y ventilación</p>	<p>Una vez que el plomo pasa a sangre se establece un intercambio dinámico entre los diferentes tejidos a los que el plomo se dirige.</p> <p>Tras la inhalación o ingestión el plomo absorbido pasa al torrente sanguíneo, desde donde se distribuye a los diferentes compartimentos. El 95 % del plomo sanguíneo está unido a los eritrocitos. La vida media del plomo en el compartimento sanguíneo es de 35 días, pero pueden existir grandes variaciones individuales. El segundo compartimento lo constituyen los tejidos blandos (tejido nervioso, riñón, hígado, etc.). La vida media del plomo en este caso es de 40 días.</p>	<p>El plomo absorbido es eliminado principalmente a través de la orina. Una pequeña parte es eliminada a través de la bilis en las heces. La porción de plomo que ha sido ingerida y no absorbida es igualmente eliminada por las heces. Otras vías de eliminación son la saliva, el sudor las faneras y la leche. En el caso de baja exposición al plomo existe un equilibrio entre el aporte del tóxico y la eliminación. Pero una vez pasado un cierto nivel, la</p>

<p>ambientales, y nivel de esfuerzo físico).</p> <p>Ingestión: Las partículas de polvo de plomo son ingeridas directamente a través de las manos, alimentos, bebidas o cigarrillos contaminados en el ambiente de trabajo. Constituye la segunda vía de entrada, en importancia, de plomo en el organismo. Hay también un porcentaje de plomo que después de haber sido inhalado es posteriormente vertido al tubo digestivo por los mecanismos de aclaramiento pulmonar. Del 5% al 10% del plomo ingerido por esta vía pasa a sangre, siendo el resto eliminado por las heces.</p> <p>Contacto cutáneo: La absorción por esta vía es débil en el caso del plomo inorgánico al contrario que en el del plomo orgánico.</p>	<p>De entre todos los compartimentos el esqueleto es quien contiene la gran mayoría (80-90 %) del plomo almacenado en el organismo. La vida media del plomo en el hueso es de 20 a 30 años. Una parte del plomo depositado a nivel óseo (tejido óseo trabecular) se encuentra en forma inestable, y por tanto fácilmente movilizable en determinadas condiciones (acidosis, decalcificación) y en equilibrio con la sangre. El resto queda almacenado (tejido óseo compacto) y va aumentando progresivamente a medida que continúa la exposición.</p> <p>Tanto los tejidos blandos como la sangre constituyen las unidades de intercambio activo, mientras que el esqueleto constituye la unidad de almacenamiento o de intercambio lento.</p>
--	--

2.1.4.3.2. Toxicodinámica del plomo

A continuación, en la tabla 18, se presenta la toxicodinámica del plomo, según indica el artículo “Intoxicación por plomo” (Valdivia, 2005).

Tabla 18
Toxicodinámica del plomo

Biotransformación	Cuadro clínico	
	Órgano blanco	Signos y síntomas
<p>El plomo tiene gran afinidad por los grupos sulfhidrilo, en especial por las enzimas dependientes de zinc. El mecanismo de acción es complejo; en primer lugar, parece ser que el plomo interfiere con el metabolismo del calcio, sobre todo cuando el metal está en concentraciones bajas, el plomo altera el calcio de las siguientes formas:</p> <p>a) Reemplaza al calcio y se comporta como un segundo mensajero intracelular, alterando la distribución del calcio en los compartimentos dentro de la célula.</p> <p>b) Activa la proteinquinasa C, una enzima que depende del calcio y que interviene en múltiples procesos intracelulares.</p> <p>c) Se une a la calmodulina más ávidamente que el calcio, ésta es una proteína reguladora importante.</p> <p>d) Inhibe la bomba de Na-K-ATPasa, lo que aumenta el calcio intracelular.</p> <p>Finalmente, esta alteración a nivel del calcio traería consecuencias en la</p>	Sistema nervioso central	Fatiga, malestar, irritabilidad, ánimo deprimido, disminución de la libido, alteración de la función neuropsicológica, cefalea, tremor y encefalopatía.
	Sistema nervioso periférico	Debilidad motora
	Sistema gastrointestinal	Anorexia, náusea, constipación, pérdida de peso, dolor abdominal y ribete de Burton.
	Sangre	Anemia y punteado basófilo.
	Sistema renal	Insuficiencia renal crónica, nefritis intersticial y proteinuria leve.

<p>neurotransmisión y en el tono vascular lo que explicaría en parte la hipertensión y la neurotoxicidad.</p>	Sistema reumatológico	Mialgias, artralgias y gota.
<p>Por otro lado, el plomo es tóxico para las enzimas dependientes del zinc, los órganos más sensibles a la toxicidad son el sistema hematopoyético, el sistema nervioso central y el riñón. Interfiere con la síntesis del hem, ya que se une a los grupos sulfhidrilos de las metaloenzimas como son la d aminolevulínico deshidratasa, coproporfirinógeno oxidasa y la ferroquelatasa, siendo el resultado final, el aumento de las protopofirinas como la zinc-protoporfirina(ZPP) y la anemia; según se muestra en la figura 9.</p>	Cardiovascular	Hipertensión.
<p>A nivel renal interfiere con la conversión de la vitamina D a su forma activa, hay inclusiones intranucleares en los túbulos renales, produce una tubulopatía, que en estadios más avanzados llega a atrofia tubular y fibrosis sin compromiso glomerular, caracterizándose por una proteinuria selectiva. Varias funciones del sistema nervioso central están comprometidas, principalmente porque el plomo altera en muchos pasos el metabolismo y función del calcio. El plomo se acumula en el espacio endoneural de los nervios periféricos causando edema, aumento de la presión en dicho espacio y finalmente daño axonal. El hueso es órgano blanco ya que el plomo altera el desarrollo óseo.</p>	Sistema reproductivo	Oligospermia.

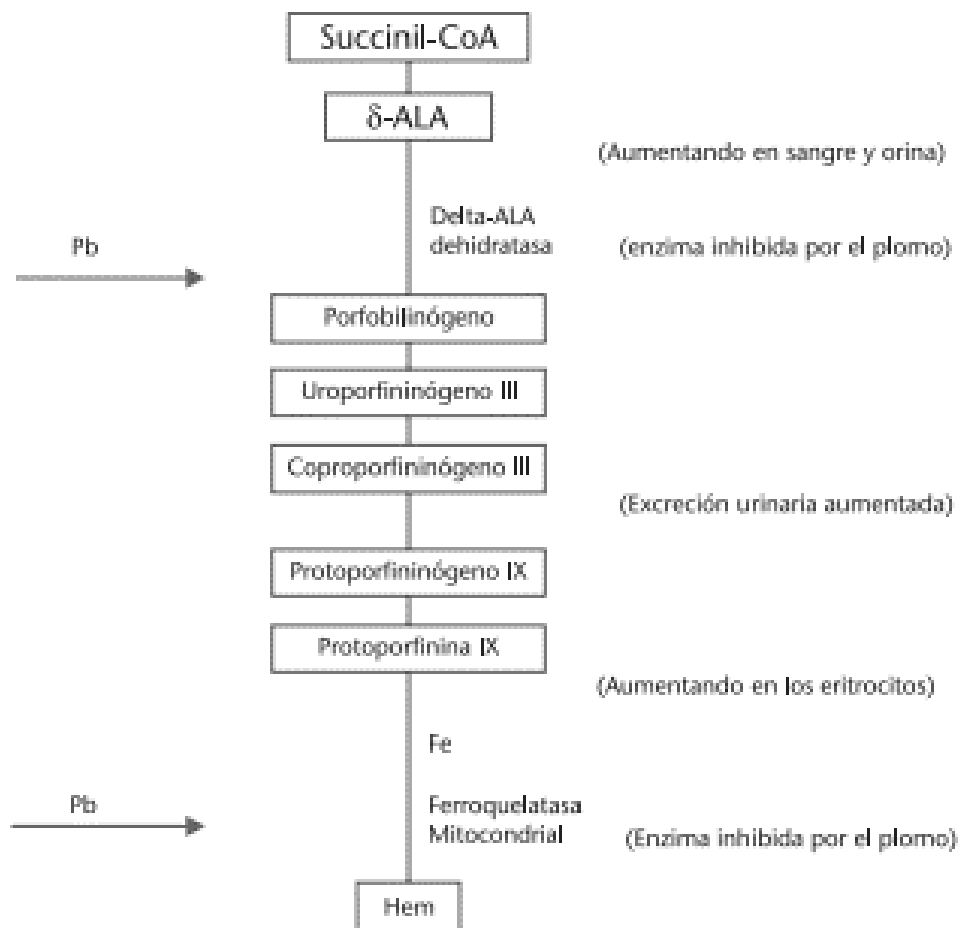


Figura 9. Ellenhorn (1988) Efectos del plomo en la síntesis del hem.

2.2. ESTRÉS TÉRMICO

2.2.1. Método de análisis del estrés térmico en el ambiente de trabajo: "Índice TGBH"

Mediante las siguientes ecuaciones se obtiene el índice TGBH:

- $TGBH_i = 0.7TBH + 0.3TG$, en el interior de edificaciones o en el exterior, sin influencia de la radiación solar
- $TGBH_e = 0.7TBH + 0.2TG + 0.1TA$, en exteriores, bajo influencia de la radiación solar.

Cuando la temperatura no es constante en los alrededores del puesto de trabajo, de forma que puede haber diferencias notables entre mediciones efectuadas a diferentes alturas, debe hallarse el índice TGBH realizando tres mediciones, a nivel de tobillos, abdomen y cabeza, utilizando la expresión:

$$TGBH = \frac{TGBH \text{ (cabeza)} + 2 TGBH \text{ (abdomen)} + TGBH \text{ (tobillos)}}{4}$$

Las mediciones deben realizarse a 0.1 m, 1.1 m, y 1.7 m del suelo si la posición en el puesto de trabajo es de pie, y a 0.1 m, 0.6 m, y 1.1 m, si es sentado. Si el ambiente es homogéneo, basta con una medición a la altura del abdomen.

Este índice así hallado expresa las características del ambiente y no debe sobrepasar un cierto valor límite que depende del calor metabólico que el individuo genera durante el trabajo (M).

Mediante lectura de la tabla 19 se determina la temperatura máxima que puede alcanzar el índice TGBH según la categoría que adopta el consumo metabólico, calculado usando las tablas 20 y 21.

Tabla 19
Valores límite de referencia para estrés térmico

Ubicación del trabajo dentro de un ciclo de trabajo-descanso	Valor límite (TGBH °C)				Nivel de acción (TGBH °C)			
	Leve	Moderada	Pesada	Muy pesada	Leve	Moderada	Pesada	Muy pesada
75% a 100%	31	28	--	--	28	25	--	--
50% a 75%	31	29	27.5	--	28.5	26	24	--
25% a 50%	32	30	29	28	29.5	27	25.5	24.5
0% a 25%	32.5	31.5	30.5	30	30	29	28	27

Las mediciones de las variables que intervienen en este método de valoración deben realizarse, preferentemente, bajo las condiciones más calurosas de la jornada.

2.2.1.1. Consumo metabólico (M)

La cantidad de calor producido por el organismo por unidad de tiempo es una variable que es necesario conocer para la valoración del estrés térmico. Para estimarla se puede utilizar el dato del consumo metabólico, que es la energía total generada por el organismo por unidad de tiempo (potencia), como consecuencia de la tarea que desarrolla el individuo, despreciando en este caso la potencia útil (puesto que el rendimiento es muy bajo) y considerando que toda la energía consumida se transforma en calorífica.

El término M puede medirse a través del consumo de oxígeno del individuo, o estimarlo mediante tablas. Esta última forma es la más utilizada, pese a su

imprecisión, por la complejidad instrumental que comporta la medida del oxígeno consumido.

Existen varios tipos de tablas que ofrecen información sobre el consumo de energía durante el trabajo. Unas relacionan, de forma sencilla y directa, el tipo de trabajo con el término M estableciendo trabajos concretos (escribir a máquina, descargar camiones etc.) y dando un valor de M a cada uno de ellos. Otras, como la que se presenta en la tabla 20, determinan un valor de M según la posición y movimiento del cuerpo, el tipo de trabajo y el metabolismo basal. Este último se considera de 1 Kcal / min como media para la población laboral, y debe añadirse siempre.

Tabla 20
Estimación del consumo metabólico M

A. Posición y Movimiento del Cuerpo			
			KCal/min
Sentado			0.3
De pie			0.6
Andando			2.0 – 3.0
Subida de una pendiente andando			Añadir 0.8 por m de subida
B. Tipo de trabajo			
Parte del Cuerpo	Intensidad	Media KCal/min	Rango KCal/min
Trabajo Manual	Ligero	0.4	0.2 – 1.2
	Pesado	0.9	
Trabajo con un Brazo	Ligero	1.0	0.7 – 2.5
	Pesado	1.8	
Trabajo con dos Brazos	Ligero	1.5	1.0 – 3.5
	Pesado	2.5	
Trabajo con el cuerpo	Ligero	3.5	2.5 – 15.0
	Moderado	5.0	
	Pesado	7.0	
	Muy Pesado	9.0	
C. Gasto Metabólico Basal			
1 Kcal/min			

Datos aplicables a una persona de 70Kg de peso, para pesos diferentes se debe corregir los resultados aplicando el siguiente factor = $\frac{\text{Peso}}{70}$.

El consumo metabólico se expresa en unidades de potencia o potencia por unidad de superficie corporal. La relación entre ellas es la siguiente:
1 Kcal/hora = 1,16 vatios = 0,64 vatios/m² (para una superficie corporal media de 1,8 m²).

Para la aplicación del límite máximo permisible habrá que determinar cuál es el gasto metabólico total de la actividad realizada y ubicarlo dentro de una de las categorías que figuran en la tabla 21:

Tabla 21

Intensidad del trabajo respecto al Gasto Metabólico en Kcal/hora

Gasto Metabólico (Kcal/h)	Categoría de intensidad de trabajo	Ejemplo de actividad
< 100	Descanso	Sentado.
100-200	Ligero	Sentado con trabajo ligero con las manos y/o brazo.
200-300	Moderado	Trabajo constante moderado con las manos y brazos.
300-400	Pesado	Trabajo intenso con manos tronco, excavación manual caminando apresuradamente.
>400	Muy Pesado	Actividad muy intensa.

2.2.1.2. Variación de las condiciones de trabajo con el tiempo

Durante la jornada de trabajo pueden variar las condiciones ambientales o el consumo metabólico, al realizar tareas diferentes o en diferentes ambientes. En estos casos se debe hallar el índice TGBH o el consumo metabólico, ponderados en el tiempo, aplicando las expresiones siguientes:

$$TGBH = \frac{\sum_{i=1}^n TGBHi \times ti}{\sum_{i=1}^n ti}$$

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n Mi \times ti}{\sum_{i=1}^n ti}$$

Esta forma de ponderar sólo puede utilizarse bajo la condición de que:

$$\sum_{i=1}^n ti \leq 60$$

Esto se debe a que las compensaciones de unas situaciones térmicas con otras no ofrecen seguridad en periodos de tiempos largos.

2.2.1.3. Limitaciones a la aplicación del método

La simplicidad del método hace que esté sujeto a ciertas limitaciones, debidas a las obligadas restricciones en algunas variables. Así, por ejemplo,

la curva límite sólo es de aplicación a individuos cuya vestimenta ofrezca una resistencia térmica aproximada de 0,6 clo, que corresponde a un atuendo veraniego. En caso contrario, deberá aumentarse el valor TGBH encontrado según lo indicado en la tabla 22.

Tabla 22

Factores de corrección de acuerdo al tipo de vestimenta

Tipo de ropa	Sumar al TGBH (°C)
Ropa de trabajo (manga larga en camisa y pantalón)	0
Mamelucos (material tejido)	0
Ropa tejida de doble capa	+3
Ropa sintética poco porosa	+0.5
Ropa de trabajo de uso limitado que sirve de barrera al paso del vapor	+11

Si la ropa usada para el trabajo no permite el paso del aire (no facilita la evaporación) y no se tiene factor de corrección para el TGBH, entonces deberá considerarse un cambio en el material como una medida preventiva.

Cuando la situación de trabajo no se adapte al campo de aplicación del método, es decir, que la velocidad del aire o el vestido sean muy diferentes de lo indicado, debe recurrirse a métodos más precisos de valoración, como el índice de sobrecarga calórica.

2.2.2. Método de análisis del estrés térmico en el ambiente de trabajo: “Índice de sobrecarga calórica (ISC)”

El método se basa en el cálculo de la magnitud de los intercambios térmicos entre la persona y el ambiente por medio de los tres mecanismos fundamentales a través de los cuales tiene lugar dicho intercambio térmico: convección, radiación y evaporación, además de la producción de calor metabólico generado por la actividad. El ISC es la relación existente entre la evaporación requerida (Ereq) para lograr el equilibrio térmico y la evaporación máxima posible (Emax) en ese ambiente.

$$ISC = (E_{req}/E_{m\acute{a}x}) \cdot 100$$

Las evaporación requerida y máxima se calculan como se menciona a continuación:

$$E_{req} = M \pm R \pm C \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$E_{max} = K_1 \cdot v_a^{0.6} \cdot (56 - p_a) \text{ (W/m}^2\text{)}$$

Donde:

- Ereq = Evaporación necesaria para el equilibrio (W/m²).
- Emax = Evaporación máxima posible (W/m²) [límite 390W/m²]
- M es el calor generado por la persona (W/m²).

- R es el calor perdido o ganado por radiación (W/m²).
✓ $R = K2 (TRM - 35)$
✓ TRM es la temperatura radiante media (°C).
- C es el calor perdido o ganado por convección (W/m²).
✓ $C = K3 v_a^{0.6} (t_a - 35)$
- t_a es la temperatura del aire (°C).
- v_a es la velocidad del aire (m/s).
- p_a es la presión parcial del vapor de agua (hPa)

Además, se fija un límite para la capacidad de sudoración de una persona, cuyo valor se asume de $S_{max} = 390$ W/m². Por tanto, si al calcular E_{max} su valor sobrepasa al de S_{max} , se toma igual a 390 W/m².

Las constantes K1, K2 y K3 adoptan los valores que figuran en la tabla 23, según el índice de indumentaria (en clo):

Tabla 23

Constante a usar en el cálculo de la evaporación requerida y máxima

Constante	Persona con indumentaria veraniega (0.6clo)	Persona desnuda (0clo)
K1	7	11.7
K2	4.4	7.3
K3	4.6	7.6

2.2.2.1. Interpretación del índice de sobrecarga calórica

En la tabla 24 se muestra la escala de valoración del ISC, así mismo, se establece una clasificación de las implicaciones fisiológicas e higiénicas para exposiciones de ocho horas a varios tipos de estrés térmico.

Tabla 24

Clasificación del Riesgo en base al Índice de ISC

Valor del ISC	Situación	Comentario
$-20 \leq ISC \leq -10$	Sobrecarga por frío	En sitios donde el individuo descansa de situaciones térmicas muy altas.
$-10 < ISC < 10$	Confort térmico	No hay sobrecarga térmica.
$10 \leq ISC \leq 30$	Sobrecarga calórica suave (10–20)	Afectaría a trabajadores intelectuales.
	Moderada (20–30).	Afectaría a trabajadores intelectuales.
$30 < ISC \leq 60$	Sobrecarga calórica severa	Puede conllevar riesgos para la salud. Se necesita que la persona esté aclimatada y tiempos de recuperación.

60 < ISC < 100	Sobrecarga calórica muy severa	Pocas personas son capaces de soportar esta situación.
ISC = 100	Sobrecarga máxima permisible	Para recuperar el equilibrio se necesitaría una evaporación máxima.
ISC > 100	Condiciones críticas	Gran riesgo para la salud.

2.2.2.2. Tiempo de exposición permisible (TEP) y tiempo de recuperación (TR)

Si el ISC es mayor a 100, la evaporación necesaria para mantener el equilibrio térmico tendría que ser superior a la máxima, por lo que se provoca un almacenamiento de calor, y se define entonces un tiempo máximo de exposición permisible (TEP). Basados en el tiempo que tarda en incrementarse 1.8°C la temperatura interna del cuerpo para un calor específico medio del organismo de 0.82kcal kg⁻¹°C⁻¹ (3.433 kJ kg⁻¹°C⁻¹) proponen, para calcular el tiempo máximo de exposición:

$$TEP = 2440 / (E_{req} - E_{m\acute{a}x})$$

Donde:

- TEP: tiempo máximo de exposición permisible (minutos).
- Ereq: evaporación requerida (W/m²)
- Emax: evaporación máxima (W/m²)

Y para calcular el tiempo de recuperación se aplica la siguiente expresión:

$$TR = (58 P_c \Delta^{\circ}C) / [(E'_{m\acute{a}x} - E'_{req}) SC]$$

Donde:

- E'máx y E'req se calculan para las nuevas condiciones de trabajo o descanso en las que se recupera la persona.
- TR: tiempo de recuperación (minutos).
- Pc: peso del sujeto (kg).
- Δ°C: incremento de temperatura corporal (habitualmente se admite 1°C como límite máximo).
- SC: superficie corporal (m²).

2.2.3. Procedimiento para monitoreo de estrés térmico

2.2.3.1. Equipo a utilizar en el monitoreo de estrés térmico

- a. Medidor de estrés térmico.
- b. Trípode y accesorios de sujeción.
- c. Calibrador primario.

2.2.3.2. Calibración primaria del medidor de estrés térmico

- a. Antes de iniciar la calibración primaria verificar la carga de la batería del medidor de estrés térmico y si cuenta con certificado de calibración vigente.
- b. La pre calibración se realizará con el conector comprobador de calibración antes de cada medición.

2.2.3.3. Operación del medidor de estrés térmico

- a. Cuando la temperatura no es constante en los alrededores del puesto de trabajo, de tal forma que puede haber diferencias notables entre mediciones efectuadas a diferentes alturas, debe hallarse el índice TGBH realizando tres mediciones a nivel de tobillos, abdomen y cabeza. Se utilizará para el cálculo de TGBH la siguiente expresión:

$$TGBH = \frac{TGBH(cabeza) + 2 TGBH(abdomen) + TGBH(tobillos)}{4}$$

Las mediciones deben realizarse a 0.1m; 1.1m y 1.7m del suelo si la posición en el puesto de trabajo es de pie. Si es sentado a 0.1m; 0.6m y 1.1m.

- b. Si el ambiente es homogéneo, ubicar el área donde se va a realizar la medición y colocar el equipo a la altura del abdomen, entre 1.20 m – 1.50 m sobre el nivel del piso.
- c. Asegurar el medidor de estrés térmico en el trípode.
- d. Para encender el equipo se debe subir el switch de encendido ubicado al costado de la batería, dejar transcurrir de 1- 2 segundos donde aparecerá en la pantalla de inicio con la frase >VISTA TIEMPO, SETUP, IMPRI y RESTAB, presionar el botón I/o Enter para iniciar la medición.
- e. La duración de cada medición por punto dependerá del tiempo de estabilización de los termómetros del equipo utilizado, según indique el fabricante, caso contrario la duración no será menor de 20 minutos.
- f. Después de esperar el tiempo programado de medición con el equipo, se procederá a tomar nota en la libreta de campo los siguientes valores de medición:
 - Temperatura de bulbo seco (Ts)
 - Temperatura de bulbo húmedo (Tbh)

- Temperatura de globo (Tg)
 - Temperatura de globo y de bulbo húmedo (TGBH)
- g. Con el anemómetro tomar la magnitud de las siguientes variables ambientales:
- Velocidad promedio del aire (v)
 - Humedad relativa (HR)
- h. Además, se debe evaluar las actividades / tareas que realiza el(los) trabajador(es) considerando la duración de cada una de ellas, para determinar el gasto metabólico promedio durante la jornada laboral.
- i. Apuntar la ubicación del área de trabajo, hora, fecha de muestreo, tipo de ropa que usan el(los) trabajador(es) evaluados y peso (en kg) de cada uno en la libreta de apuntes.

2.3. RUIDO

2.3.1. Método de análisis del ruido en el ambiente de trabajo

2.3.1.1. Estrategia de medición

La selección de una estrategia de medición adecuada depende de varios factores, tales como el objetivo de las mediciones, la complejidad de la situación de trabajo, el número de trabajadores implicados, la duración efectiva de la jornada laboral, el tiempo disponible para la medición y el análisis.

Las estrategias de medición para determinar la exposición al ruido en el lugar de trabajo son las siguientes:

- a. Medición basada en la tarea: Se analiza el trabajo realizado durante la jornada y se divide en un cierto número de tareas representativas y, para cada tarea, se hacen mediciones por separado del nivel de presión sonora.
- b. Medición basada en la función: Se toma un cierto número de muestras aleatorias del nivel de presión sonora durante la realización de funciones particulares.
- c. Medición de una jornada completa: Se mide el nivel de presión sonora de forma continua a lo largo de jornadas laborales completas.

2.3.1.2. Tiempo de exposición máximo en una jornada laboral

Para calcular el tiempo de exposición máximo según el nivel de ruido equivalente continuo obtenido en la medición, se usa la siguiente fórmula:

$$T = \frac{8}{2^{\frac{L-85}{3}}}$$

Donde:

T: Es el tiempo de exposición máximo para el nivel de ruido "L".

L: Es el nivel de ruido en decibeles en la escala de ponderación "A (dBA) para el cual se quiere saber cuál es su tiempo de exposición máximo.

2.3.1.3. Cálculo de la dosis de ruido

Para calcular la dosis de ruido teniendo un nivel de ruido equivalente continuo "L" y un tiempo de exposición de "T" horas, se usa la siguiente fórmula:

$$\%Dosis = \left(\frac{T}{8}\right) \cdot 2^{(L-85)/3}$$

Donde:

T: Es el tiempo que el trabajador estuvo expuesto al nivel de ruido L.

L: Es el nivel equivalente de ruido en decibeles en la escala de ponderación "A" (dBA), obtenido luego de medir durante el tiempo "T" en horas. Se desea saber la dosis de ruido durante este tiempo "T".

2.3.1.4. Cálculo del nivel equivalente de ruido

Para hallar el nivel de ruido equivalente resultante de varias mediciones de tiempos conocidos se deberá usar la siguiente fórmula:

$$LEQ = 10 \cdot \log_{10} \left[\frac{t_1 \cdot 10^{L_1/10} + t_2 \cdot 10^{L_2/10} + \dots + t_N \cdot 10^{L_N/10}}{t_1 + t_2 + \dots + t_N} \right]$$

Donde:

t1: Es el tiempo que duró el evento L1.

L1: Nivel de ruido equivalente continuo (dBA) medido para el tiempo t1.

2.3.1.5. Cálculo de la exposición a ruido de los trabajadores

- a. Dosis de Ruido: Se evaluará si para la jornada diaria la dosis supera el 100%, de ser el caso, se dirá que la exposición ha superado el límite permisible, es decir, es considerado como nivel de riesgo alto. Las dosis mayores al 50%, pero menores al 100%, se consideran como nivel de riesgo medio, siendo recomendadas actividades de capacitación para prevención de pérdida auditiva. Para dosis mayores al 100% es necesario implementar medidas correctivas para disminuir la exposición, y mientras se implementen se deberá usar equipo de protección auditiva (tapones auditivos, orejeras o ambos).
- b. Nivel equivalente de Ruido: Podrá ser comparado directamente con el valor obtenido de acuerdo al tiempo que dura la jornada del trabajador y cumpliendo como mínimo un monitoreo del 70% del tiempo de la jornada, sin obviar actividades ruidosas.

2.3.2. Procedimiento para monitoreo de ruido

2.3.2.1. Equipo a utilizar en el monitoreo de ruido

- a. Dosímetro acústico doble canal con análisis frecuencial 1/1 octava.
- b. Micrófono.
- c. Pantalla cortaviento.
- d. Tarjeta microSD 8 gb.
- e. Calibrador acústico, debe cumplir los requisitos especificados para la clase 1 de la Norma IEC 60942:2003.



Figura 10. Dosímetro de ruido

2.3.2.2. Calibración primaria del dosímetro de ruido

- a. Verificar la carga de la batería del dosímetro de ruido y si cuenta con certificado de calibración vigente.

- b. Colocar el micrófono del dosímetro de ruido en la abertura del calibrador acústico primario (la abertura del calibrador acústico debe ser idóneo para el diámetro y forma del micrófono).
- c. Programar el calibrador acústico para que emita un tono puro a 114 dB.
- d. Guardar el factor de ajuste obtenido en el dosímetro de ruido.

2.3.2.3. Operación del dosímetro acústico

- a. Encender el dosímetro de ruido y asegurarse que esté programado en ponderación "A", respuesta lenta "slow" y tasa de cambio 3 dB.
- b. Contactarse con el trabajador a ser evaluado, explicándole las razones del monitoreo a realizar y los cuidados que debe tener mientras lleva el equipo:
 - Llevar el equipo durante toda su jornada o el tiempo indicado por el personal que realiza el monitoreo de ruido.
 - Evitar obstruir o golpear el micrófono.
 - Cuidar que la pantalla cortaviento permanezca colocado en el micrófono.
 - No debe tapar el micrófono.
- c. Para dosímetros de ruido con micrófono externo, insertar el cable del micrófono en el canal del dosímetro que registrará la data del monitoreo.
- d. Tras colocar el dosímetro de ruido al trabajador, instalar el micrófono sobre el hombro, a mitad de distancia del cuello y del borde del hombro, apuntando hacia arriba. En el caso que la exposición sea mayor por un lado (exposición direccional a ruido), la elección de la posición del micrófono del dosímetro deberá considerar ese lado específico.
- e. Siempre que sea práctico, colocar el equipo y el cable del micrófono por debajo de la ropa externa para evitar que pueda quedar enganchado. Tratar de pegar el cable del micrófono con cintas adhesivas.
- f. Encender el dosímetro de ruido y registre la hora de inicio.
- g. El monitoreo se realizará como mínimo el 70% del tiempo total de la jornada, sin embargo, para poder dar por válida una medición entre el 70% a menos del 100% de la jornada laboral se deberá garantizar que los valores medidos entre ese periodo son representativos de las actividades realizadas y que no se está obviando actividades ruidosas.
- h. Durante el monitoreo se deberá apuntar las actividades que se realizan y la hora de ejecución, para tener una mejor interpretación de la gráfica

“nivel de ruido vs tiempo” a obtenerse con apoyo del software del equipo, así mismo, se realizan las tomas fotográficas correspondientes.

- i. Al finalizar el tiempo programado de medición, se procederá a tomar nota en la libreta de campo los datos relevantes como número de serie del dosímetro de ruido, nivel equivalente continuo de ruido (Leq), %dosis, picos (mínimos y máximos) y datos del trabajador evaluado.

2.4. APR - HO

2.4.1. Análisis preliminar de riesgos de higiene ocupacional

El análisis preliminar de riesgos de higiene ocupacional (APR-HO) se inicia a través de la caracterización básica o reconocimiento de la exposición ocupacional a los agentes ocupacionales. Esta actividad consiste en la recopilación, elaboración de tablas y análisis de datos relacionados con las instalaciones físicas, proceso productivo, métodos de trabajo, números de personas expuestas, actividades o tareas desarrolladas, etc, que permitan estimar el tiempo y tipo de contacto (por inhalación, vía cutánea, auditiva, digestiva, y visual) con las diferentes formas, energía o sustancias químicas o microorganismos suspendidos en el aire (agentes físicos, químicos, biológicos y ergonómicos).

La elaboración del APR-HO contempla las siguientes etapas o pasos:

- Recopilación de datos sobre las instalaciones;
- Lista de los agentes ocupacionales (riesgos físicos, químicos, biológicos y ergonómicos);
- Lista de los trabajadores por función, actividad y tareas similares;
- Descripción de las medidas de control existentes;
- Atribución de la potencialidad de alteración, daño o lesión de la salud de cada agente ocupacional;
- Definición del Perfil de la Exposición Ocupacional;
- Categorización del GHE/GES (Grupo Homogéneo de Exposición / Grupo de Exposición Similar);
- Análisis cualitativo de la exposición ocupacional.

Las etapas principales del APR-HO se representan gráficamente en la figura 11:

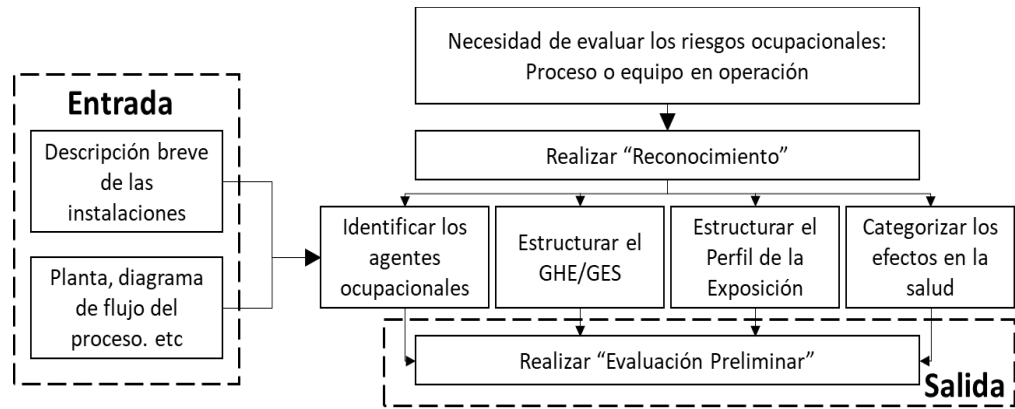


Figura 11. Diagrama de flujo parcial: Reconocimiento. Fuente: Strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures” - AIHA (American Industrial Hygiene Association)

La figura 11 apunta al uso de la vista de la planta industrial, croquis, distribución o cualquier ilustración gráfica del local de trabajo que permita identificar correctamente ese local o ambiente de trabajo, las fuentes principales de los agentes ocupacionales y hasta el área de circulación de los trabajadores. Es imprescindible describir la forma y material de construcción de las instalaciones, informando las condiciones de ventilación natural (puertas, ventanas, vanos) y artificial.

A continuación, se detallan las etapas del APR-HO con otros detalles de la lista de los agentes ocupacionales y la definición del GHE/GES.

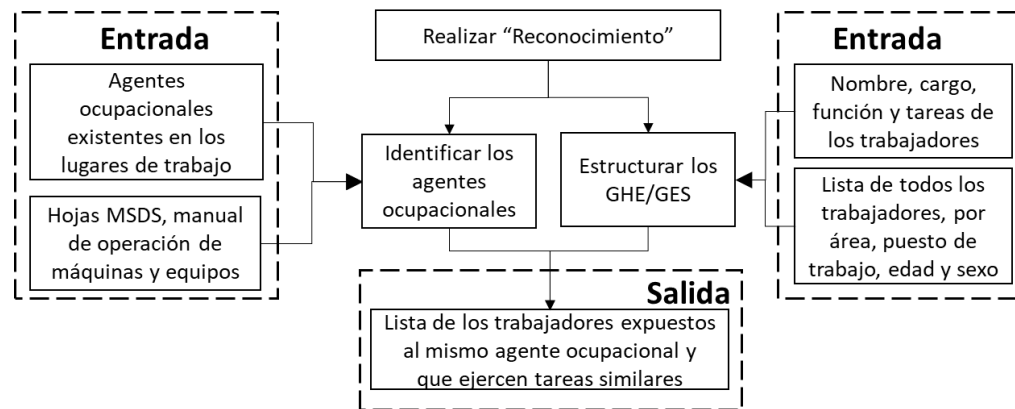


Figura 12. Diagrama de flujo parcial: Agentes ocupacionales y GHE/GES. Fuente: Strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures” - AIHA (American Industrial Hygiene Association)

Como resultado de la etapa dispuesta en la figura 12 se debe elaborar una lista de los GHE/GES.

La identificación de los agentes ambientales debe ser resultado de la observación en el entorno de trabajo, de la entrevista con los trabajadores o del análisis de las hojas MSDS, en los casos de sustancias químicas, entre otros.

La Figura 13 muestra el proceso para categorizar el Perfil de Exposición y los efectos en la salud (Severidad).

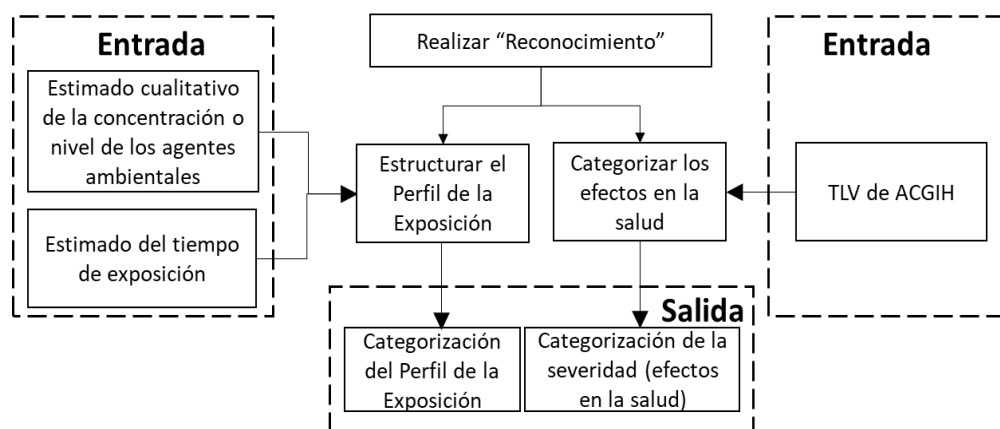


Figura 13. Diagrama de flujo parcial: Categorización del “Perfil de la Exposición” y de los “Efectos para la salud”. Fuente: Strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures” - AIHA (American Industrial Hygiene Association)

El estimado cualitativo de la concentración o nivel de los agentes ocupacionales se realiza con base en el criterio definido en la tabla 25, y se puede corroborar por datos cuantitativos disponibles y confiables de evaluaciones ocupacionales realizadas en el lugar.

Tabla 25

Criterio para estimar cualitativamente la concentración o el nivel

Índice	Abrev.	Descripción
1	NP	No Perceptible Cualitativamente (ejm. La acumulación de polvo no es visible. Nivel de ruido que permite una conversación sin elevar la voz.)
2	DT	Detectada, pero Tolerable (ejm. local caliente, pero no causa incomodidad al empleado ni interrupciones frecuentes del trabajo)
3	DI	Detectada por causar incomodidad (ejm. el empleado queda estresado al final de la jornada; nivel de ruido que dificulta la conversación o calor que causa sudor)
4	DIR	Detectada por causar fuerte irritación visual, térmica, auditiva, respiratoria, dérmica, inestabilidad corporal parcial o total, pérdida de equilibrio o una combinación de éstas. (ejm. impide la permanencia del empleado sin el uso de EPP)
5	EX	Concentraciones o Niveles extremadamente elevados. (ejm. Causan inmediato malestar e imposibilidad de permanencia en el local. Exigen EPP especiales y personal de apoyo, liberación de área, etc., para realizar las tareas.)

El tiempo de exposición al agente ambiental, considerado en la definición del GHE/GES, se estima sobre la base de los criterios definidos en la tabla 26:

Tabla 26
Criterio para estimar el tiempo de exposición

Índice	Descripción
1	Inferior a 4 horas/mes (<4 h/mes)
2	Inferior a 4 horas/semana (<4 h/semana)
3	Entre 4 y 8 horas/semana (4-8 h/semana)
4	Inferior a 4 horas/día (<4 h/día)
5	Entre 4 y 8 horas/día (4-8 h/día)

El Perfil del GHE/GES es definido por cinco categorías, obtenidas como resultado de la multiplicación de los índices otorgados al tiempo de exposición y la concentración o nivel (resultado de la multiplicación de la tabla 25 por la tabla 26), obteniéndose los criterios que se definen en la tabla 27.

Tabla 27
Criterio para definir el perfil de exposición

Resultado de la Multiplicación (Índice de la Concentración-Nivel) x (Índice del Tiempo de Exposición)	Categoría del Perfil de Exposición
17 - 25	13
12 - 16	8
8 - 11	5
4 - 7	3
1 - 3	2

El efecto en la salud (severidad) es categorizada en función de las consecuencias de la exposición a los agentes ocupacionales, según se observa en la tabla 28.

Tabla 28
Criterio para categorizar los efectos en la salud

Categoría	Categoría de los efectos en la salud
32	Efecto inmediato en la salud, con riesgo de muerte o incapacidad permanente. Incluyéndose las sustancias de toxicidad muy alta.

16	Efectos irreversibles y/o acciones corrosivas. Carcinogénicos o mutagénicos comprobados en humanos. Efectos adversos irreversibles que generan la incapacidad de realizar actividades en la función, pero no impiden la continuidad de vida, sin embargo, puede ocurrir la disminución de su calidad. Se incluyen sustancias de toxicidad alta.
8	Efectos irreversibles. Carcinogénicos o mutagénicos basados en experimentos en animales.
4	Efectos reversibles. Sustancias irritantes o sospechosas (por falta de datos suficientes) de acción carcinogénica. Efectos nocivos (adversos) subclínicos o leves, reversibles. Se incluyen sustancias químicas de toxicidad muy baja.
2	Baja toxicidad y sin sintomatología específica. Efecto no significativo o desconocido.

La etapa final del APR-HO es la evaluación preliminar de la exposición ocupacional, y consiste en la asociación del Perfil de la Exposición a las Categorías atribuidas a los efectos en la salud (severidad).

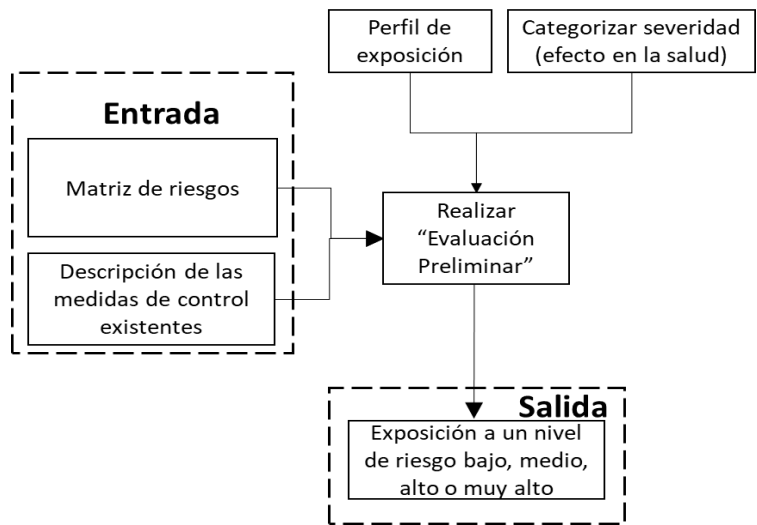


Figura 14. Diagrama de flujo parcial: Etapa final de la APR-HO: Evaluación Preliminar. Fuente: Strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures” - AIHA (American Industrial Hygiene Association)

Con base en la figura 14, se obtendrá la exposición ocupacional de cada GHE/GES a través de la Matriz de Exposición Ocupacional, que se muestra en la figura 15.

La etapa final del APR-HO es la Evaluación Preliminar de la exposición ocupacional, y consiste en la asociación del Perfil de la Exposición a las Categorías atribuidas a los Efectos en la Salud, que genera un análisis profesional de las evidencias de riesgo para los empleados.

Categorización de la Exposición: Con base en ese sistema, la exposición ocupacional de cada GHE/GES se graduará a través de la “Matriz de Graduación de la Exposición Ocupacional”, que se presenta a continuación, a partir de la multiplicación de los índices del Perfil de la Exposición y de los Efectos en la Salud.

Efectos en la Salud	32	64	96	160	256	416
	16	32	48	80	128	208
	8	16	24	40	64	104
	4	8	12	20	32	52
	2	4	6	10	16	26
		2	3	5	8	13
Perfil de la Exposición						

Figura 15. Matriz de Graduación de la Exposición Ocupacional.

Los resultados de la multiplicación se deben interpretar de la siguiente forma:

Resultado de la Multiplicación	Riesgos de Exposición Ocupacional
416 - 160	MUY ALTO
80 - 128	ALTO
26 - 64	MEDIO
4 - 24	BAJO

Figura 16. Matriz de Graduación de la Exposición Ocupacional.

Resultados de la Evaluación Preliminar: Una vez concluida la evaluación preliminar, el resultado deberá desencadenar las acciones que figuran en la tabla 29.

Tabla 29

Interpretación de la Matriz de Graduación de la Exposición Ocupacional

Resultado de la Multiplicación	Riesgos de Exposición Ocupacional	Acciones	Plazo
160 - 416	MUY ALTO	Los riesgos en esta categoría se deben eliminar. Las Recomendaciones se consideran obligatorias y de responsabilidad del director del área de negocio o del emprendimiento.	Implementación inmediata.
80 - 128	ALTO	Los riesgos en esta categoría se deben reducir. Las Recomendaciones se consideran obligatorias y de responsabilidad de la gerencia general del área de negocio o emprendimiento.	Implementación con un plazo máximo de 1 (un) año.
26 - 64	MEDIO	Se puede convivir con escenarios en este nivel de riesgo, pero se debe reducir en el largo plazo. Las Recomendaciones se consideran obligatorias y de responsabilidad de la gerencia del área .	Implementación con un plazo máximo de 3 (tres) años.
04 - 24	BAJO	Escenarios con nivel de riesgo considerado tolerable, pero que se puede reducir en caso de medidas con baja inversión. Las Sugerencias no se consideran obligatorias . La evaluación de la implementación y de responsabilidad de la gerencia del área . En caso de que el riesgo "Bajo" evaluado no sea concluyente, o no se tenga evidencia de que se ha realizado una evaluación cuantitativa, ésta se deberá realizar.	Implementación en caso de que el costo sea bajo con poco esfuerzo.

Los agentes ocupacionales cuyas situaciones de riesgo sean "muy alto", "alto" o "medio" en la fase cualitativa deberán ser analizadas mediante monitoreos ocupacionales a fin de cuantificar la exposición a los agentes ocupacionales.

En el caso de las situaciones con riesgo "BAJO", se deberá realizar una evaluación cuantitativa cuando:

- La Empresa no tenga registros de los resultados de las evaluaciones cuantitativas de un determinado agente ocupacional;
- La Empresa cuente con registros de los resultados de las evaluaciones cuantitativas del determinado agente ocupacional, pero a pesar de ello, el resultado es incierto.

2.5. VENTILACIÓN INDUSTRIAL

2.5.1. Definiciones básicas

Densidad del aire: Se expresa habitualmente como en kg/m³ o lb/ft³. A la presión de 1 atm y 20°C su valor es 1.2 kg/m³ o 0.075 lb/ft³, estos valores se obtienen de la siguiente ecuación:

$$P = dRT/M$$

Donde:

P = presión absoluta

d = densidad

R = constante de los gases perfectos

M = peso molecular del aire

T = Temperatura absoluta

Caudal: Es el flujo volumétrico de aire que se ocasiona por la existencia de una diferencia de presión entre los dos puntos. Esta diferencia de presión origina una fuerza en el aire, provocando que el aire fluya de zonas de alta presión a zonas de baja presión. El caudal (Q) y la velocidad de flujo (V) están relacionadas según la ecuación:

$$Q = A \times V$$

Esta ecuación determina el flujo del aire para todas las condiciones

Donde:

Q = Flujo de aire (cfm)

A = Área de la sección transversal a través del cual el aire fluye (pie²)

V = Velocidad (fpm)

Presión estática o static pressure (SP): Es la presión que tiende a hinchar o colapsar un conducto y se expresa en "H₂O.

Presión dinámica o velocity pressure (VP): Es la presión requerida para acelerar el aire desde la velocidad cero hasta una velocidad mayor, es proporcional a la energía cinética de la corriente de aire. La relación entre VP y V viene dada por:

$$V = 1096 \sqrt{\frac{VP}{\rho}} \quad \text{o} \quad VP = \rho \left(\frac{V}{1096} \right)^2$$

Donde:

V = velocidad (fpm)

VP = presión dinámica ("H₂O)

A condiciones standard, la ecuación anterior se reduce a:

$$VP = \left(\frac{V}{4005}\right)^2$$

Presión total o total pressure (TP): Es la suma algebraica de la presión estática y dinámica.

$$TP = SP + VP$$

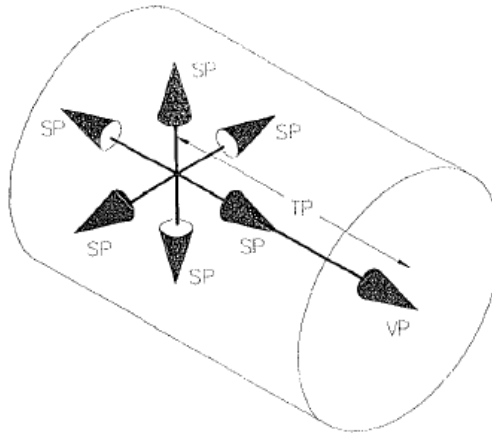


Figura 17. ACGIH (2010) SP, VP y TP en un punto del conducto de ventilación. Industrial Ventilation. A Manual of recommended practice for design 27th edition.

2.5.2. Ecuaciones fundamentales del movimiento de fluidos

Las ecuaciones fundamentales del movimiento de fluidos aplicables a la ventilación son:

1) La ecuación de continuidad (ley de conservación de masas)
 $Q = A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2 = A \times V = \text{Cte.}$ considerando un fluido incompresible.

2) La ecuación de Bernoulli (ley de conservación de energía)

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 = \text{Cte,}$$

Considerando un desplazamiento de fluido sin fricción y un fluido incompresible.

Donde:

- P = Presión (kg/m²)
- V = Velocidad (m/s)
- γ = Peso específico (N/m³)

Este teorema puede ser enunciado así:

En ausencia de trabajo externo y de rozamiento, a lo largo de cualquier línea de corriente, la suma de las alturas cinéticas ($V^2/2g$), piezométricas (P/ρ) y potencial (Z) es constante.

Para el diseño de ductos tenemos que si se tiene aire contaminado fluyendo a través de tuberías, parte de la energía se disipa en forma de calor, a la cual se le denomina pérdida de carga (h_f).

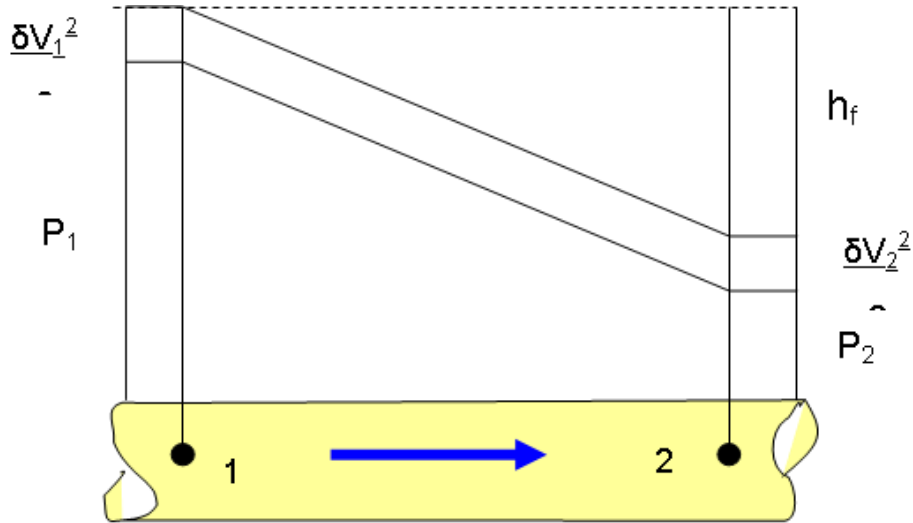


Figura 18. J. Narciso (2009). Conservación de la energía.

$$\frac{\delta V_1^2}{2} + P_1 = \frac{\delta V_2^2}{2} + P_2 + h_f$$

Las pérdidas de presión estática, se presentan por fricción en codos, entradas de ramales, orificios, expansiones, contracciones, entrada al ventilador, chimenea y otras pérdidas por fricción o turbulencia del sistema.

2.5.3. Características de los flujos de aire impulsado y extraído

Cuando el aire es impulsado a través de una pequeña abertura mantiene su efecto direccional durante una distancia considerable más allá del plano de la abertura. Sin embargo, si el flujo de aire a través de la misma abertura fuera invertido, de manera que actuará como una extracción con el mismo caudal, el flujo se volvería casi no direccional y su radio de influencia se vería fuertemente reducido. Por esta razón la extracción localizada no debe emplearse cuando el proceso no pueda desarrollarse en la proximidad inmediata de la campana.

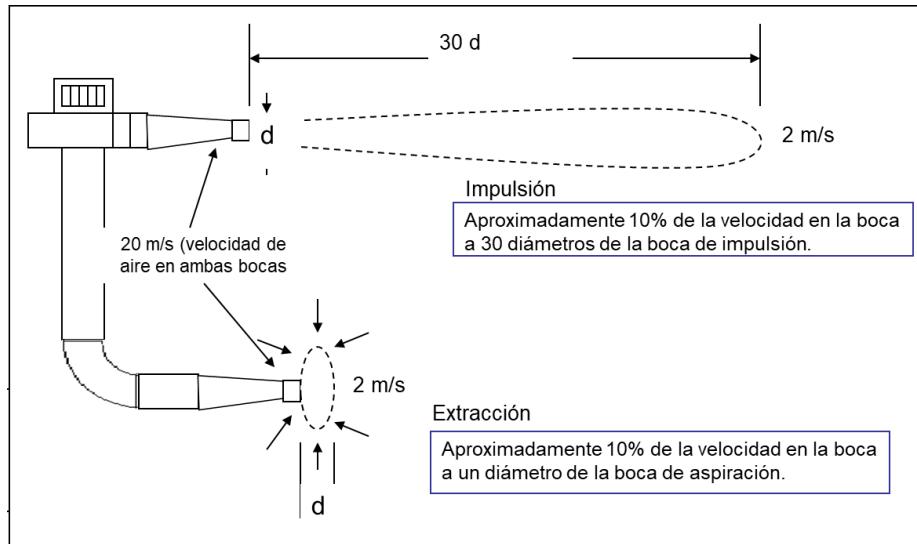


Figura 19. ACGIH (2010) Comparación entre aspiración e impulsión. Industrial Ventilation. A Manual of recommended practice for design 27th edition.

2.5.4. Métodos de diseño

Para determinar el diseño más adecuado de un sistema de extracción localizada para el control de la concentración de agentes químicos en un ambiente de trabajo se deben seguir los siguientes pasos:

1. Seleccionar, o diseñar, todas las campanas de captación ajustándose a la operación a controlar y calcular el caudal de diseño.
2. Establecer la velocidad mínima en los conductos, indicados en la tabla 32.
3. Calcular la sección del conducto dividiendo el caudal de diseño por la velocidad mínima. Se debe elegir el conducto comercial disponible con la sección inmediatamente inferior a la calculada con el fin de asegurar que la velocidad real sea superior a la mínima necesaria.
4. Determinar a partir del esquema del trazado de la red de conductos, la longitud de cada tramo, el número y tipo de uniones y codos necesarios.
5. Calcular la pérdida de carga del sistema de extracción localizad. La pérdida de carga debida al rozamiento y a los accesorios puede ser calculada por el método de la presión dinámica o por el de la longitud equivalente, pero para fines de esta tesis se realizarán los cálculos de pérdida de carga por el método de la presión dinámica.
6. Comprobar el equilibrio de presión en los puntos de unión de dos conductos y ajustar el caudal, diámetro del conducto o diseño de la campana para conseguir un equilibrio correcto.
7. Seleccionar el depurador y ventilador tomando como datos el caudal final y la pérdida de carga del sistema.

Tabla 30

Métodos para diseño de sistemas de ventilación industrial

Método de la presión dinámica	Método de la longitud equivalente
Las pérdidas de carga (por rozamiento en conductos y resistencia en accesorios) son función de la presión dinámica (VP)	Para el cálculo de las pérdidas de carga los accesorios se sustituyen por la longitud de un conducto recto que tenga la misma pérdida de carga. La pérdida por conductos rectos se calcula igual que en el método de la presión dinámica.

2.5.5. Velocidad de captura

Se denomina velocidad de captura a la velocidad mínima del aire, producida por la campana, que es necesaria para capturar y dirigir hacia ella al contaminante. La velocidad de aire lograda es función del caudal de aire aspirado y de la forma de la campana.

Tabla 31

Parámetros a considerar para seleccionar la velocidad de captura

Condiciones de dispersión del contaminante	Velocidad de captura (m/s)	Velocidad de captura (fpm)	Ejemplos
AMBIENTE QUIETO Dispersión a muy baja velocidad	0.25 – 0.5	50 – 100	Evaporación desde tanques, operaciones de desgrasado
AMBIENTE MODERADO Dispersión a regular velocidad	0.5 – 1	100 – 200	Caseta de Pintado, llenado de bolsas, punto de transportadoras, operaciones de soldadura, ollas de fusión de metales
AMBIENTE AGITADO Dispersión activa	1 – 2.5	200 - 500	Transferencias de fajas a alta velocidad, chancadoras, aplicación de pintura a pistola.
AMBIENTE TURBULENTO Dispersión violenta	2.5 - 10	500 - 2000	Pulverizado por discos, enarenado, esmerilado.

Se adoptarán valores en la zona inferior o superior de cada rango según los siguientes criterios:

A. Para tomar el valor más bajo del rango:

- Corrientes de aire en el local son mínimas o favorables a la captura del contaminante.
- Contaminante de baja toxicidad o únicamente molestos.
- Producción de contaminantes baja o intermitente.
- Campana de gran tamaño o con una gran masa de aire en movimiento.

B. Para tomar el mayor valor del rango:

- Corrientes de aire distorsionantes en el local.
- Contaminantes de alta toxicidad (bajo TLV).
- Gran producción, uso continuo.
- Campana pequeña, únicamente control local.

2.5.6. Velocidad mínima en el conducto

La presión dinámica en el conducto empleada para determinar la pérdida de carga en la campana se determina a partir de la velocidad del aire en la zona del conducto inmediatamente posterior a la conexión de este con la campana. Esta velocidad viene fijada por el tipo de material que se transporta en el conducto.

Para sistemas que manejan partículas es necesario establecer una velocidad mínima de diseño a fin de impedir su deposición y el taponamiento del conducto. Por otra parte, velocidades demasiado elevadas implican un derroche de energía y pueden causar rápidamente la abrasión de los conductos, además, de perjudicar procesos donde puede extraerse material particulado de gran valor. Las velocidades de diseño mínimas recomendadas son superiores a los valores teóricos y experimentales a fin de tener en cuenta contingencias tales como las siguientes:

1. Si una o más ramas se obstruyen o son puestas fuera de servicio se reducirá el caudal total en el sistema y por tanto disminuirá la velocidad en algunas de las partes del mismo.
2. El deterioro de los conductos aumentará la resistencia y disminuirá el caudal y la velocidad en la parte dañada del sistema.
3. Las fugas en los conductos aumentarán el caudal y la velocidad aguas abajo de la fuga, pero disminuirá el caudal aguas arriba y en otras partes del sistema.
4. La corrosión o la erosión de las palas del ventilador o el deslizamiento de la correa de tracción del mismo reducirá el caudal y las velocidades.
5. Las velocidades deben ser adecuadas para atrapar o arrastrar de nuevo el polvo que haya podido depositarse a causa de una utilización inadecuada del sistema de extracción.

Tabla 32

Parámetros a considerar para seleccionar la velocidad en conductos

Naturaleza del contaminante	Velocidad de diseño	Velocidad de diseño
Vapores, gases, humos de combustión	Indiferente (la velocidad óptima económicamente suele encontrarse entre 5m/s y 10m/s)	Indiferente (la velocidad óptima económicamente suele encontrarse entre 1000 fpm y 2000 fpm)
Humos de soldadura	10m/s a 12.5m/s	2000 fpm a 2500 fpm
Polvo muy fino y ligero	12.5m/s a 15m/s	2500 fpm a 3000 fpm
Polvos secos	15m/s – 20m/s	3000 fpm a 4000 fpm
Polvo ordinario	17.5m/s – 20m/s	3500 fpm a 4000 fpm
Polvos pesados	20m/s – 22.5m/s	4000 fpm – 4500 fpm
Polvo pesado húmedo	> 22.5m/s	> 4500 fpm

2.5.7. Caudal de aspiración

El caudal de aspiración en un sistema de ventilación está gobernado por el principio de la conservación de la masa y por el principio de la conservación de la energía. A continuación, se mencionan las hipótesis que se incluyen en los principios de diseño de sistemas de ventilación:

- Se deprecian los efectos de intercambio térmico. Si la temperatura en el interior del conducto es significativamente distinta de la del aire en los alrededores del conducto, se producirá un intercambio de calor, en consecuencia, tendrá lugar un cambio en la temperatura del aire en el interior del conducto y se modificará el caudal.
- Se considera que el aire es incompresible. Si la pérdida global de presión en el sistema supera 20 "H₂O, aproximadamente, la densidad cambiará alrededor de 5% y el caudal también se modificará.
- Se supone que el aire es seco. La presencia de vapor de agua en el aire reduce la densidad de éste, por lo que debe efectuarse una corrección para tener en cuenta este efecto.
- Se ignoran el peso y el volumen del contaminante presente en la corriente de aire. Se trata de una hipótesis admisible en la gama de concentraciones que son habituales en los sistemas típicos de extracción localizada. Si existen altas concentraciones de sólidos, deben efectuarse correcciones para tener en cuenta su efecto.

Las variables que determinan el caudal de aspiración son la geometría de la boca de la campana, la distancia desde la boca de la campana hasta el fondo más alejado de liberación del contaminante y la velocidad de captura.

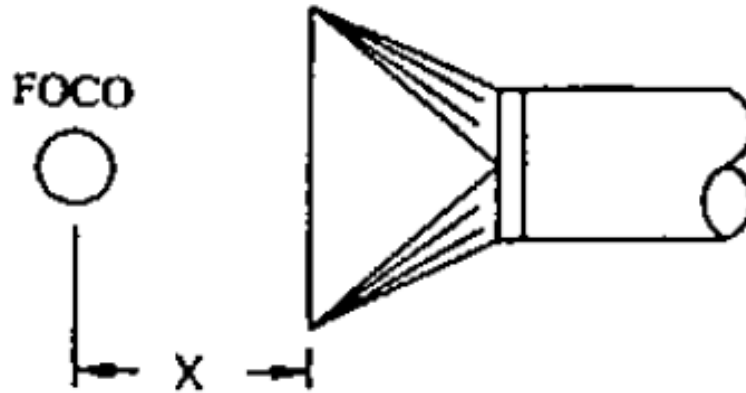
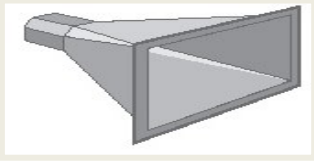
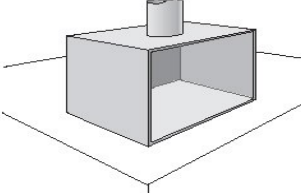
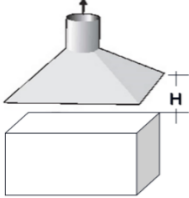


Figura 20. ACGIH (2010) Caudal de aspiración depende de la distancia que se encuentre el foco contaminante a la campana. Industrial Ventilation. A Manual of recommended practice for design 27th edition.

A continuación, en la tabla 33 se presenta el caudal requerido para algunos tipos de campana:

Tabla 33
Caudal según tipo de campana

Tipo de campana	Descripción	Caudal
	Sumidero puntual	$Q = 12.57VX^2$
	Rendija	$Q = 3.7LVX$
	Rendija con pestaña	$Q = 2.6LVX$
	Campana simple	$Q = V(10X^2 + AL)$

	Campana simple con pestaña	$Q = 0.75V(10X^2 + AL)$
	Cabina	$Q = VAL$
	Campana elevada	$Q = 1.4PHV$ P = Perímetro H = Altura sobre la operación

Donde:

V = Velocidad de captura a distancia

X = Distancia desde la boca de la campana hasta el foco del contaminante.

2.5.8. Pérdida de presión en la entrada de la campana

En un sistema extracción localizada, el ventilador crea presión estática negativa, esto hace que la presión atmosférica empuje aire hacia la campana en un esfuerzo por igualar las presiones. Pero el ventilador continúa girando y en unos pocos segundos se establece una condición estable entre el medio y el sistema.

Como el aire posee masa y momento, cuando se encuentra en movimiento, le es difícil voltear esquinas agudas muy rápidamente, es decir cuando se mueve a alta velocidad. Por esta razón se forma la vena contracta.

Cuando el aire es forzado a ingresar a un ducto se produce una distribución de flujo característico que se representa en la siguiente figura, en donde a una pequeña distancia de la entrada se produce la máxima contracción de la vena, que posteriormente se expande hasta alcanzar su régimen normal.

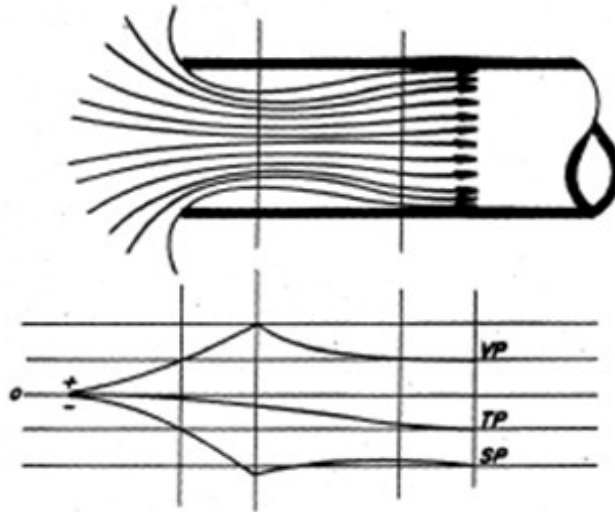


Figura 21. ACGIH (2010) Distribución de flujo en la vena contracta. Industrial Ventilation. A Manual of recommended practice for design 27th edition.

La formación de la vena contracta es acompañada por una conversión de presión estática (SP) en presión dinámica (VP) y viceversa, así:

Cuando el aire es forzado a través de una abertura estrecha u orificio, su velocidad aumenta. Se requiere más presión estática para que la velocidad del aire alcance la velocidad de la vena contracta, es decir, parte de la presión estática se transforma en presión dinámica. Entonces, cuando el aire se expande y se pone más lento, es decir, después de la vena contracta, hay tanta turbulencia que muy poco de la presión estática se gana; esto quiere decir que la presión estática usada para acelerar el aire hasta la velocidad de la vena contracta, se pierde como calor.

Por lo tanto, la presión estática de la campana (SP), tiene dos componentes básicos: la presión dinámica (VP) y las pérdidas a la entrada (He), lo cual se representa de la siguiente forma:

$$SP_h = VP + H_e$$

Cada uno de los términos de esta ecuación es positivo, aunque se sabe que la SP_h es una cantidad negativa, ya que se encuentra ubicada antes del ventilador. La mayor pérdida a la entrada del sistema ocurre normalmente al principio del ducto debido a la vena contracta.

La eficiencia de una campana puede describirse por la relación entre el flujo real y el ideal. Esta relación se llama coeficiente de entrada (C_e). El flujo ideal se obtiene cuando toda la presión estática en la campana se convierte en presión dinámica, es decir, no hay pérdidas a la entrada de la campana. Sin embargo, esto es imposible, ya que nunca hay una conversión con un 100% de eficiencia de presión estática a presión dinámica.

Así tenemos lo siguiente:

$$C_e = \frac{Q_{real}}{Q_{ideal}} = \frac{4005A\sqrt{VP_{real}}}{4005A\sqrt{VP_{ideal}}}$$

Dónde: $VP_{ideal} = SPh$

$$\text{Entonces: } 4005A\sqrt{VP_{real}} = 4005AC_e\sqrt{SPh}$$

$$C_e^2 = (VP_{real} / SPh)$$

El coeficiente de entrada (C_e) está en función de la forma de la campana, por lo tanto, nunca cambia a menos que cambie la forma de la campana. Las pérdidas a la entrada de la campana pueden calcularse con base a la presión dinámica y C_e .

$$SPh = VP + He \quad \text{y} \quad C_e^2 = (VP / SPh)$$

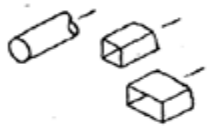
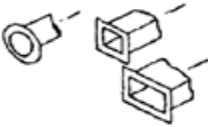
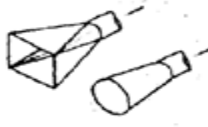
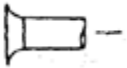
$$\text{Luego: } C_e^2 = (VP / VP + He)$$

$$He \ C_e^2 = VP (1 - C_e^2)$$

$$He = \frac{(1 - C_e^2)VP}{C_e^2} = \text{Pérdida a la entrada}$$

Tabla 34

Pérdida de presión estática según tipo de campana

Tipo de campana	Descripción	Coficiente de entrada (C_e)	Pérdida a la entrada
	Abertura plana	0.72	0.93 VP
	Abertura con pestaña	0.82	0.49 VP
	Campana rectangular o cónica	Varía con el ángulo de la campana	
	Entrada con boca acampanada	0.98	0.04 VP

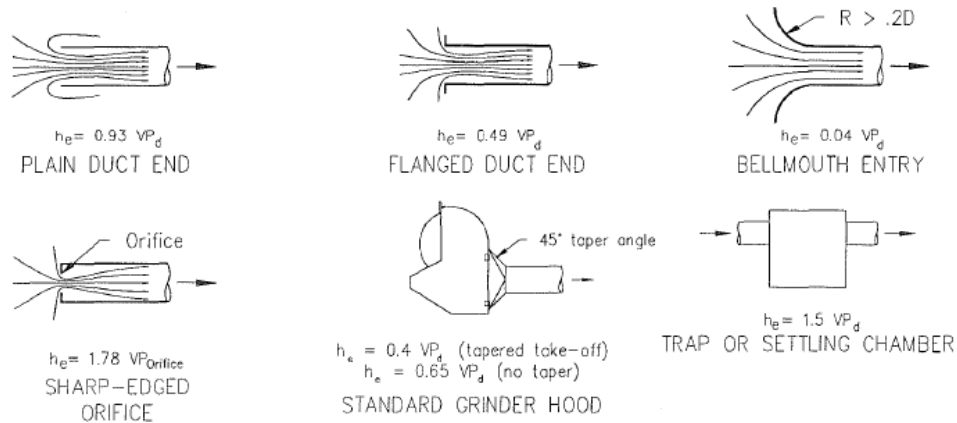


Figura 22. ACGIH (2010) Pérdida de presión estática según tipo de entrada. Industrial Ventilation. A Manual of recommended practice for design 27th edition.

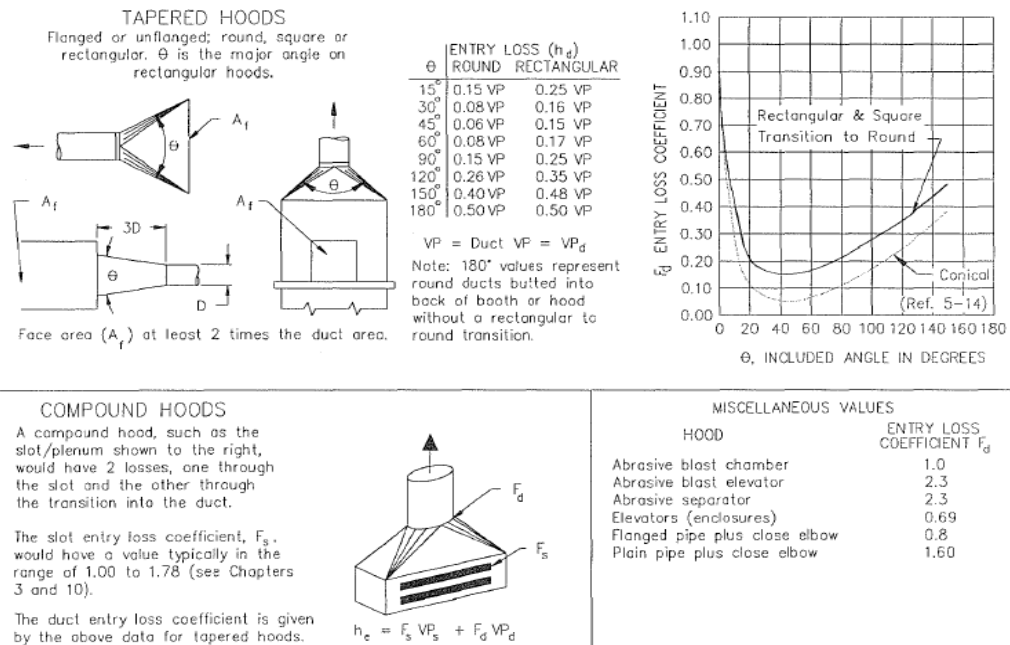


Figura 23. ACGIH (2010) Pérdida de presión estática según ángulo de una campana suspendida. Industrial Ventilation. A Manual of recommended practice for design 27th edition.

2.5.9. Pérdida de presión en tramos rectos

La pérdida de presión en tramos rectos está en función de la velocidad del aire, del diámetro del conducto, de la densidad y viscosidad del aire, y de la rugosidad superficial del conducto.

Para conocer las características del flujo dentro de un conducto se calcula el número de Reynolds (Re) que es un valor adimensional que relaciona los efectos de la velocidad, diámetro del conducto, densidad y viscosidad, según la siguiente fórmula:

$$Re = \frac{dVD}{\mu}$$

Donde:

- d = Densidad
- D = Diámetro
- V = Velocidad
- μ = Viscosidad

El efecto de la rugosidad superficial se da usualmente mediante el cálculo de la rugosidad relativa, que es el cociente entre la altura absoluta de las rugosidades (ϵ), definida como la altura de las rugosidades para un material determinado y diámetro del conducto. En la tabla 35 se presentan algunos valores típicos de rugosidad absoluta.

Tabla 35

Rugosidad superficial absoluta de algunos materiales

Material	Rugosidad absoluta (ϵ), cm
Chapa galvanizada	0.015
Acero	0.005
Aluminio	0.005
Acero inoxidable	0.005

Mediante el diagrama de Moody, figura 24 se determina el factor de fricción (f) conociendo el número de Reynolds y la rugosidad relativa.

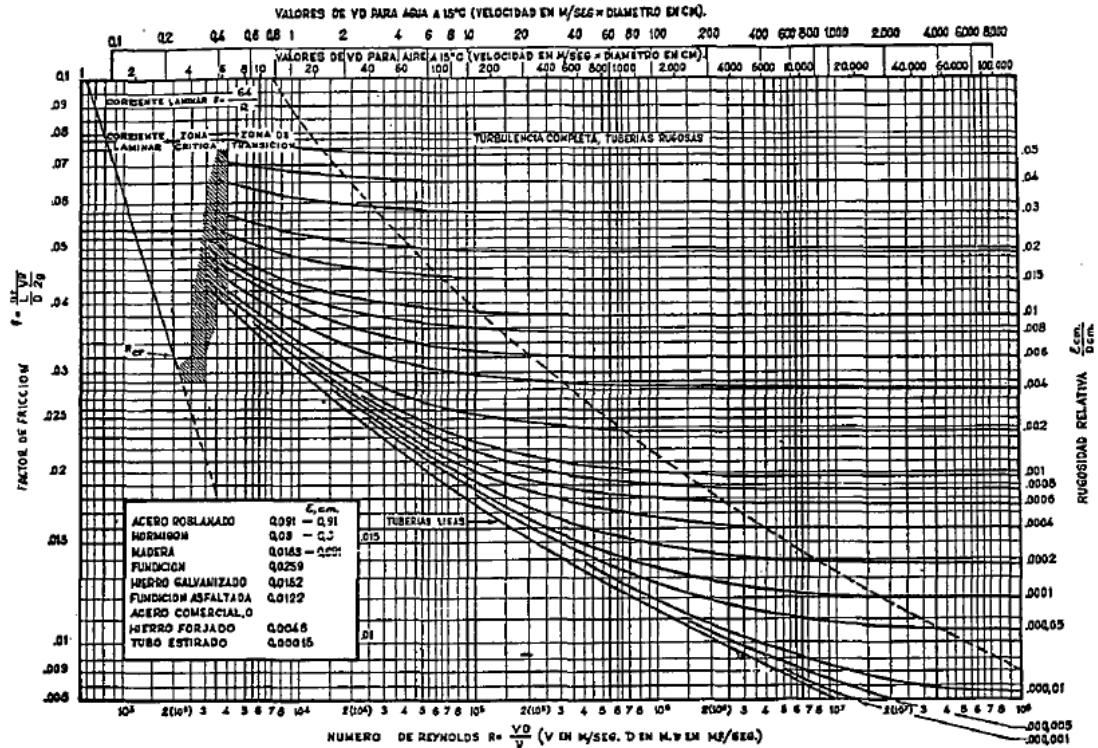


Figura 24. ACGIH (2010) Diagrama de Moody. Industrial Ventilation. A Manual of recommended practice for design 27th edition.

Una vez determinado el factor de fricción se utiliza la ecuación del factor de fricción de Darcy-Weisbach a fin de determinar la pérdida de carga global en el tramo del conducto.

$$h = f \frac{L}{D} VP$$

Donde:

- h = Pérdida de carga en el conducto
- f = Factor de fricción del diagrama de Moody
- L = Longitud del tramo
- D = Diámetro del conducto
- VP = Presión dinámica

Una de las propuestas para simplificar el cálculo de la pérdida de carga en tramos rectos es el trabajo de Loeffler, cuyas ecuaciones son útiles para el empleo del método de cálculo de "presión dinámica". Mediante el empleo de los valores standard de rugosidad superficial se obtuvieron ecuaciones que pueden combinarse con la de Darcy-Weisbach, como se muestra a continuación:

$$h = H_f L (VP)$$

El valor H_f se determinó experimentalmente para el flujo de aire standard en conductos de varios materiales, obteniéndose ecuaciones que proporcionan una buena exactitud (error inferior al 5%) de la forma:

$$H_f = \frac{a V^b}{Q^c}$$

La constante a y exponentes b y c varían en función del material, como se indica en la tabla 36.

Tabla 36

Constantes de la ecuación para determinar la pérdida de carga en el conducto

Material	ϵ , ft	a	b	c
Aluminio, acero, acero inoxidable	0.00015	0.0425	0.465	0.602
Chapa galvanizada	0.00051	0.0307	0.533	0.612
Conducto flexible, alma recubierta	0.0035	0.0311	0.604	0.639

Empleando la ecuación con las constantes de la tabla 36 para conducto de chapa de acero galvanizado se desarrollan los diagramas de la figura 25 y 26.

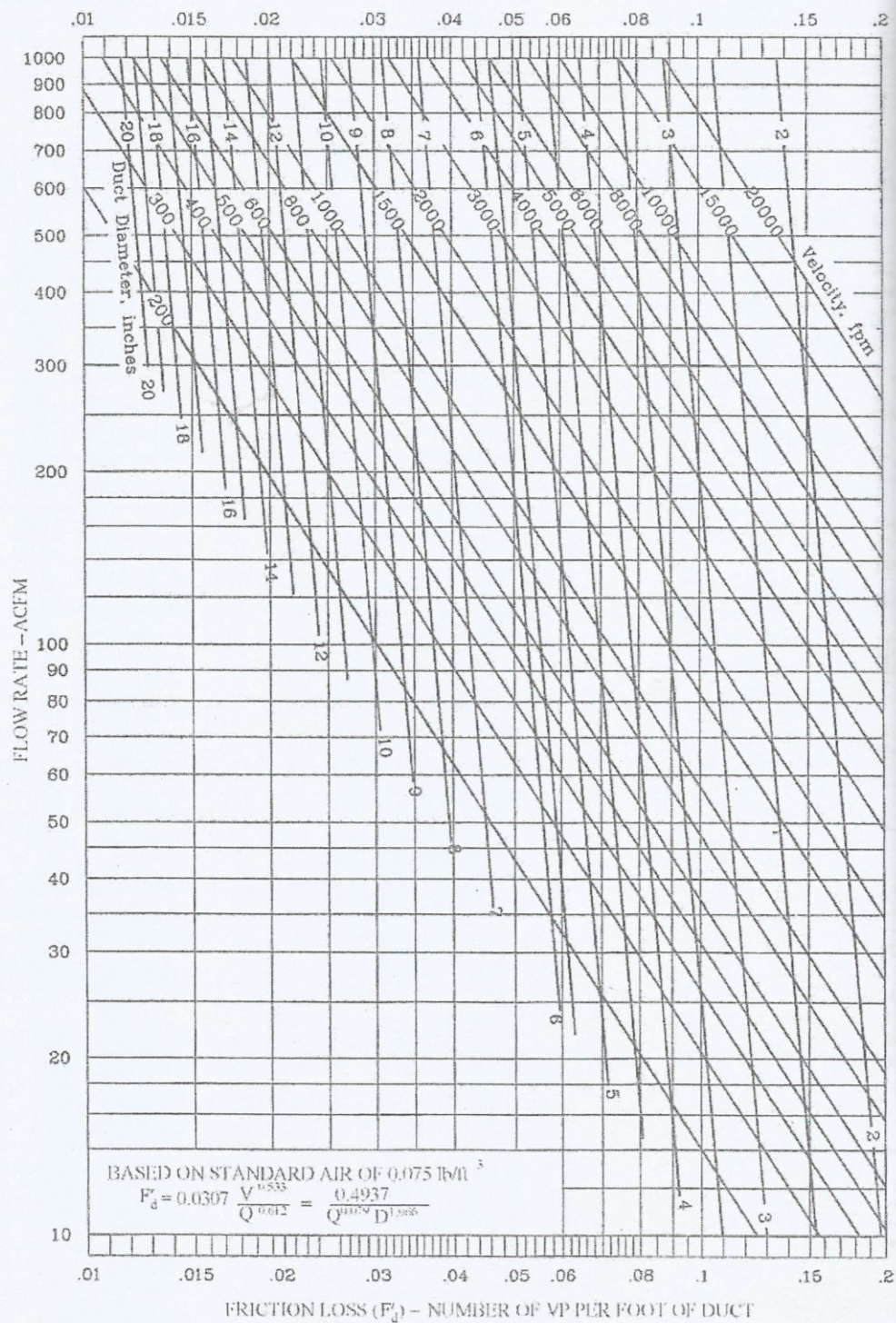


Figura 25. ACGIH (2010) Pérdida por fricción en conductos. Industrial Ventilation. A Manual of recommended practice for design 27th edition.

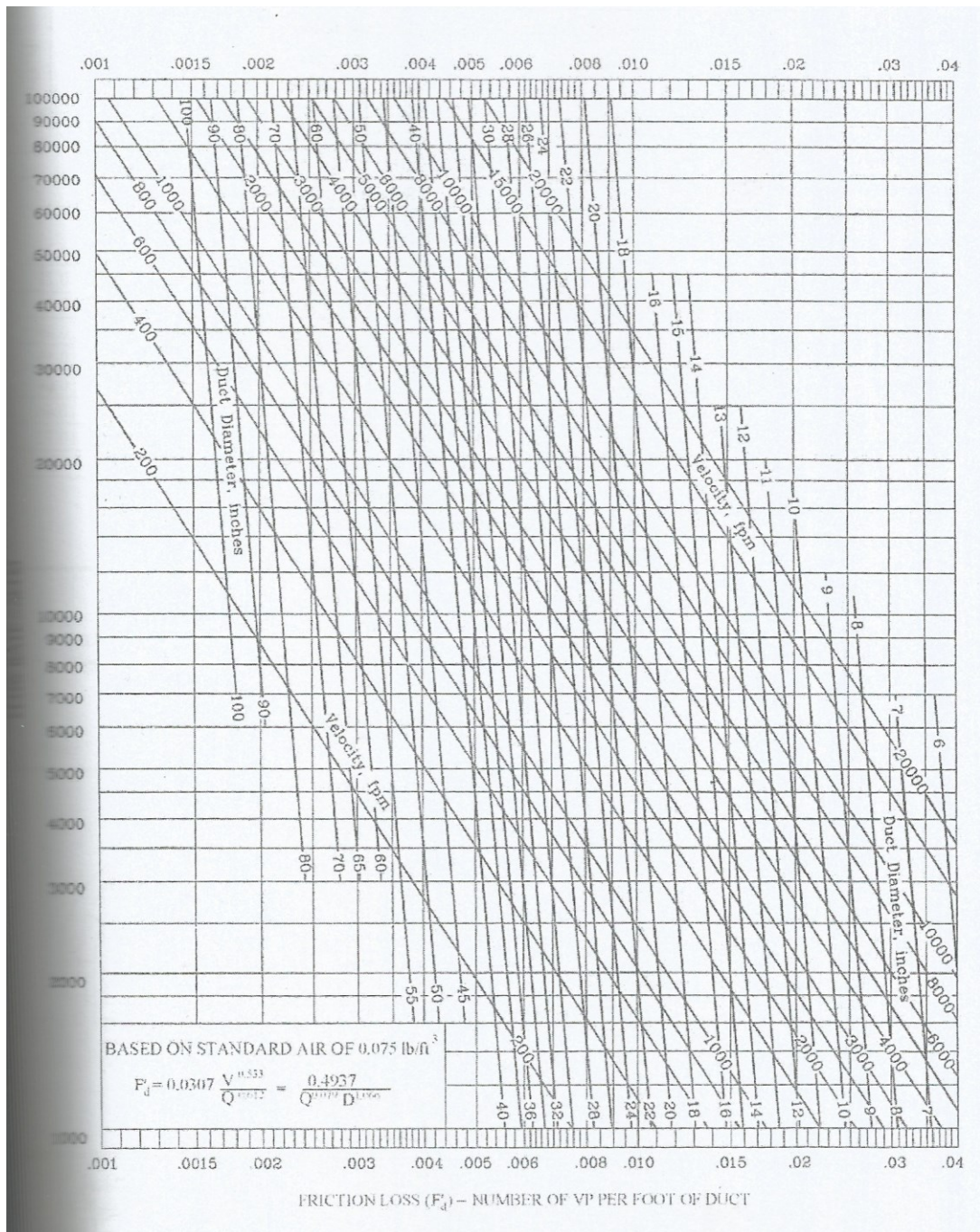


Figura 26. ACGIH (2010) Pérdida por fricción en conductos. Industrial Ventilation. A Manual of recommended practice for design 27th edition.

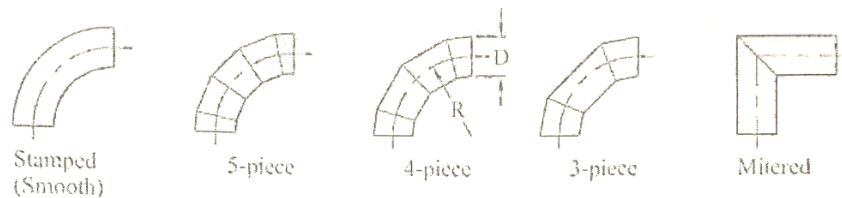
2.5.10. Pérdida de presión en puntos singulares

Los puntos singulares de un conducto, como codos, uniones, ensanchamientos, contracciones, etc, producen una pérdida de presión total que debe ser considerado al momento de la selección del ventilador.

2.5.10.1. Pérdida en codos

Para el caso de codos que formen un ángulo de 90° se debe determinar la relación R / D , donde R es el radio de curvatura del eje del codo y D es el diámetro del conducto circular, así mismo, se debe determinar el número de piezas que está formado el codo. Tras obtener los datos antes mencionados, mediante el cuadro que se observa en la figura 27, se obtiene el factor a multiplicar por la presión dinámica para obtener la pérdida de presión estática por el codo a evaluar.

Si el codo forma un ángulo α , diferente a 90°, se debe multiplicar el factor obtenido por $\alpha/90$.



	R / D				
	0.75	1.00	1.50	2.00	2.50
Stamped	0.33	0.22	0.15	0.13	0.12
5-piece	0.46	0.33	0.24	0.19	0.17*
4-piece	0.50	0.37	0.27	0.24	0.23*
3-piece	0.54	0.42	0.34	0.33	0.33*

* extrapolated from published data

Figura 27. ACGIH (2010) Pérdida de presión estática en codos, considerando el número de piezas que está formado. Industrial Ventilation. A Manual of recommended practice for design 27th edition.

2.5.10.2. Ganancia de presión por ensanchamiento del conducto

Los ensanchamientos en los conductos se presentan cuando es necesario ajustar el conducto a la entrada de un equipo o para reducir la velocidad en el conducto.

Para que en el sistema la presión total no se altere, al ensanchar un conducto la presión dinámica disminuye, en consecuencia, la presión estática aumenta, este aumento de presión se expresa como se menciona a continuación:

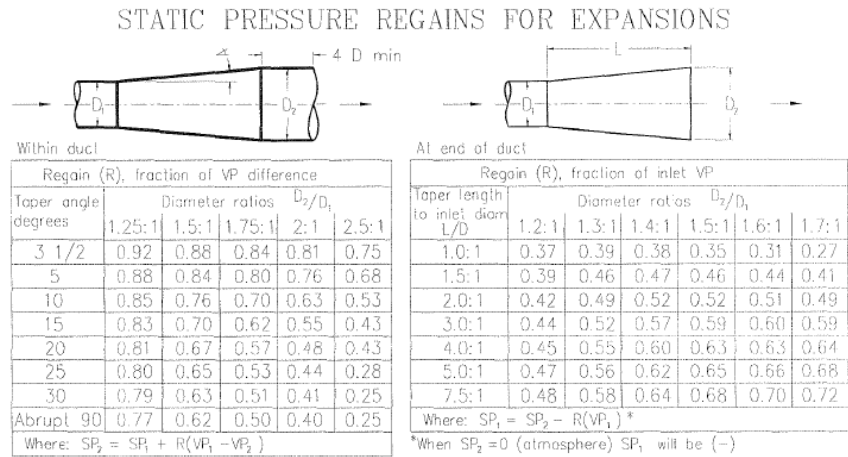
$$R (VP1 - VP2)$$

Donde:

R = Ganancia (según indica la figura 28)

VP1 = Presión dinámica antes del ensanchamiento

VP2 = Presión dinámica después del ensanchamiento



The regain (R) will only be 70% of value shown above when expansion follows a disturbance or elbow (including a fan) by less than 5 duct diameters.

Figura 28. ACGIH (2010) Ganancia de presión estática en ensanchamientos. Industrial Ventilation. A Manual of recommended practice for design 27th edition.

2.5.10.3. Pérdidas de presión por contracción del conducto

Las contracciones en los conductos se presentan cuando es necesario ajustar el conducto a la brida de entrada de un equipo o para conseguir una velocidad de descarga alta en el extremo de la chimenea.

Para que en el sistema la presión total no se altere, al contraer un conducto la presión dinámica aumenta, en consecuencia, la presión estática disminuye, esta disminución de presión se expresa como se menciona a continuación:

$$(1 + L) \times (VP2 - VP1)$$

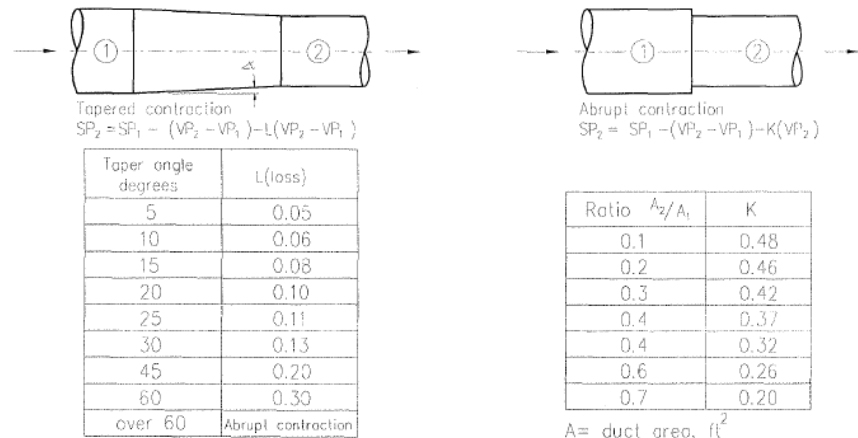
Donde:

L = Pérdida (según indica la figura 29)

VP1 = Presión dinámica antes de la contracción

VP2 = Presión dinámica después de la contracción

STATIC PRESSURE LOSSES FOR CONTRACTIONS



Note:

In calculating SP for expansion or contraction use algebraic signs: VP is (+), and usually SP is (+) in discharge duct from fan, and SP is (-) in inlet duct to fan.

Figura 29. ACGIH (2010) Pérdida de presión estática en contracciones. Industrial Ventilation. A Manual of recommended practice for design 27th edition.

2.5.10.4. Balance de presión en las uniones de un sistema de extracción

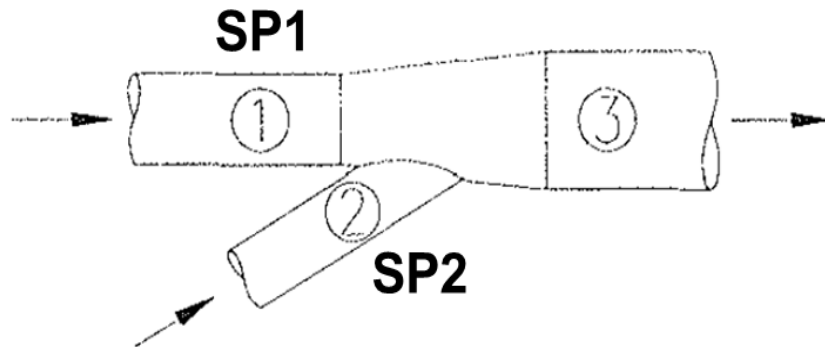


Figura 30. ACGIH (2010) Balance de presión en la unión de dos conductos. Industrial Ventilation. A Manual of recommended practice for design 27th edition.

En la unión de un conducto secundario (conducto 2) a un conducto principal (conducto 1) se debe asegurar el equilibrio de las presiones, por lo que se realizarán modificaciones al diseño de ventilación tras una variación mayor al 5%, según se indica en la tabla 37.

El cálculo del porcentaje en que difieren las presiones estáticas se calcula como se indica a continuación:

$$\frac{(SP1 - SP2)}{SP1} \times 100\%$$

Donde:

- SP1 = Presión estática en el conducto 1
- SP2 = Presión estática en el conducto 2

El ducto que gobierna es aquel que cuenta con la pérdida de presión estática mayor, por lo que, el ducto que no gobierna es el que tiene menor necesidad de presión estática y es aquella a la cual se realizarán las modificaciones, si la variación de presión es mayor a 5%.

Tabla 37

Reglas para efectuar el balance de las presiones estáticas

Procedimiento seguido	Diferencia de presión estática en la unión, en porcentaje (%)
Ignorarlo	0 – 5
Corregir el flujo en el ducto que no gobierna	6 - 20
Rediseñar el ducto o proporcionar pérdida adicional de presión estática	Más de 20

Si la diferencia de presión estática en la unión se encuentra entre 6% y 20% se debe corregir el caudal en el ducto que no gobierna, como se menciona a continuación:

$$Q \text{ corregido} = Q \text{ original} \left(\sqrt{\frac{SP \text{ gobierna}}{SP \text{ original}}} \right)$$

Si la diferencia de presión estática en la unión es mayor a 20% se debe disminuir el diámetro del conducto que posee pérdidas de presión menor, como se menciona a continuación:

$$D \text{ corregido} = D \text{ original} \left(\frac{SP \text{ original}}{SP \text{ gobierna}} \right)^{1/5}$$

2.5.10.5. Corrección para cambios de velocidad tras la unión de dos conductos

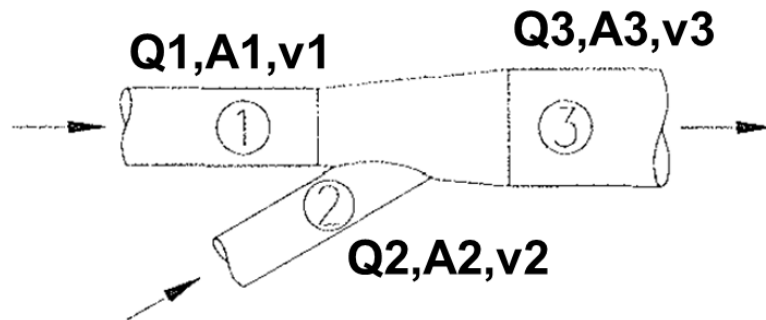


Figura 31. ACGIH (2010) Corrección de presión para cambios de velocidad tras la unión de dos conductos. Industrial Ventilation. A Manual of recommended practice for design 27th edition.

Cuando la velocidad en el conducto principal tras la unión es mayor a las velocidades en los conductos antes de la unión. Si la diferencia es importante el incremento de presión dinámica deberá ser compensado con una disminución en la presión dinámica.

La corrección se realiza calculando la presión dinámica resultante (V_{Pr}) que corresponde a una velocidad ficticia de las dos corrientes de aire que llegan a la unión, se calcula como se menciona a continuación:

$$V_{Pr} = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{4005 (A_1 + A_2)} \right)^2$$

Donde:

- Q_1 = Caudal en el conducto 1
- Q_2 = Caudal en el conducto 2
- A_1 = Área transversal del conducto 1
- A_2 = Área transversal del conducto 2

Si la presión dinámica tras la unión (V_{P3}) es menor que V_{Pr} se produce una desaceleración y no es necesario realizar correcciones. Si V_{P3} es mayor a V_{Pr} se produce una aceleración y la diferencia entre V_{P3} y V_{Pr} es la pérdida de presión estática necesaria para recompensar el aumento de energía cinética para pasar de V_{Pr} a V_{P3} .

Previamente la presión estática del conducto 1 y conducto 2 están equilibradas en la unión, como se mencionó en el apartado 2.5.10.4, por

lo que el valor corregido de presión estática se calcula con la siguiente fórmula:

$$SP3 = SP1 - (VP3 - VPr)$$

$$\text{Si } V3 > V2 \wedge V3 > V1 \wedge VP3 - VPr \geq 0.10$$

Donde:

- VPr = Presión dinámica resultante
- VP3 = Presión dinámica en el conducto 3 (conducto principal)
- SP3 = Presión estática en el conducto 3 (conducto principal)
- SP1 = Presión estática en el conducto 1 = SP2

2.5.11. Procesos a temperaturas elevadas

El diseño de campanas para procesos de temperatura elevada considera aspectos técnicos diferentes que en procesos fríos.

A medida que el aire caliente asciende se mezcla de forma turbulenta con el aire circulante, esto produce un aumento en el diámetro de la columna ascendente, así como de su caudal.

Para la extracción de agentes químicos en procesos calientes es conveniente el uso de campanas suspendidas, procurando escoger un adecuado caudal para el diseño del sistema ya que si el caudal de generación en la fuente es mayor al caudal de extracción se ocasionará un desborde, que bordeará la parte baja de la campana para escapar al ambiente general.

El caudal total en la campana a considerar en el diseño de procesos a temperaturas elevadas es:

$$Q \text{ campana} = Q \text{ inducido} + Q \text{ exceso}$$

$$Q \text{ inducido} = V_f A_c$$

$$Q \text{ exceso} = V_r (A_f - A_c)$$

Donde:

- Q campana = Caudal total que ingresa en la campana
- V_f = Velocidad de la columna de aire caliente en la boca de la campana.
- A_c = Área de la columna de aire caliente en la boca de la campana
- V_r = Velocidad del aire requerida en el resto de la boca de la campana
- A_f = área total de la boca de la campana

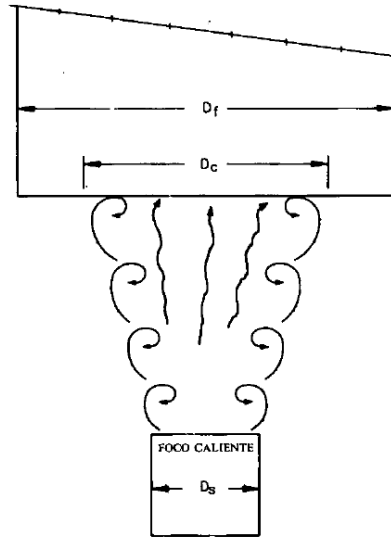


Figura 32. ACGIH (2010) Caudal ascendente en procesos a temperatura elevada. Industrial Ventilation. A Manual of recommended practice for design 27th edition.

2.5.12. Cambios de caudal de una campana con la densidad

Si la densidad de aire que ingresa por una campana es diferente a la del aire standard debido a cambios en la altura de operación, presión atmosférica, temperatura o humedad, se debe modificar el caudal volumétrico en la campana de forma que se mantenga el mismo caudal másico que si se tratará de aire en condiciones standard. Este cálculo se consigue multiplicando el caudal volumétrico necesario en la campana en condiciones standard por la relación de densidades del aire en condiciones standard y en las condiciones de operación, como se indica a continuación:

$$Q \text{ másico } 1 = Q \text{ másico } 2$$

$$Q_{vs} \times \rho_{as} = Q_{vo} \times \rho_{ao}$$

$$\text{Pero, } \rho_{ao} = \rho_{as} \times (\text{Factor densidad})$$

$$\rightarrow Q_{vo} = Q_{vs} / (\rho_{ao} / \rho_{as}) = Q_{vs} / (\text{Factor de densidad})$$

Donde:

- Q_{vs} = Caudal volumétrico a condiciones standard
- Q_{vo} = Caudal volumétrico a condiciones de operación
- ρ_{as} = Densidad del aire a condiciones standard
- ρ_{ao} = Densidad del aire a condiciones de operación

El factor de densidad según altura y temperatura de operación se detalla en la figura 33.

		ALTITUDE RELATIVE TO SEA LEVEL, ft															
		-5000	-4000	-3000	-2000	-1000	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
		Barometric Pressure															
"Hg		35.74	34.51	33.31	32.15	31.02	29.92	28.86	27.82	26.82	25.84	24.89	23.98	23.09	22.22	21.39	20.57
"w		486.74	469.97	453.67	437.84	422.45	407.50	392.98	378.89	365.21	351.93	339.04	326.54	314.42	302.66	291.26	280.21
Temp., F		Density Factor, df															
-40		1.51	1.46	1.40	1.36	1.31	1.26	1.22	1.17	1.13	1.09	1.05	1.01	0.97	0.94	0.90	0.87
0		1.38	1.33	1.28	1.24	1.19	1.15	1.11	1.07	1.03	1.00	0.96	0.92	0.89	0.86	0.82	0.79
40		1.27	1.22	1.18	1.14	1.10	1.06	1.02	0.99	0.95	0.92	0.88	0.85	0.82	0.79	0.76	0.73
70		1.19	1.15	1.11	1.07	1.04	1.00	0.96	0.93	0.90	0.86	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71	0.69
100		1.13	1.09	1.05	1.02	0.98	0.95	0.91	0.88	0.85	0.82	0.79	0.76	0.73	0.70	0.68	0.65
150		1.04	1.00	0.97	0.93	0.90	0.87	0.84	0.81	0.78	0.75	0.72	0.70	0.67	0.65	0.62	0.60
200		0.96	0.93	0.89	0.86	0.83	0.80	0.77	0.75	0.72	0.69	0.67	0.64	0.62	0.60	0.57	0.55
250		0.89	0.86	0.83	0.80	0.77	0.75	0.72	0.69	0.67	0.64	0.62	0.60	0.58	0.55	0.53	0.51
300		0.83	0.80	0.78	0.75	0.72	0.70	0.67	0.65	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54	0.52	0.50	0.48
350		0.78	0.75	0.73	0.70	0.68	0.65	0.63	0.61	0.59	0.57	0.54	0.52	0.50	0.49	0.47	0.45
400		0.74	0.71	0.69	0.66	0.64	0.62	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51	0.49	0.48	0.46	0.44	0.42
450		0.70	0.67	0.65	0.63	0.60	0.58	0.56	0.54	0.52	0.50	0.48	0.47	0.45	0.43	0.42	0.40
500		0.66	0.64	0.61	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51	0.49	0.48	0.46	0.44	0.43	0.41	0.39	0.38
550		0.63	0.61	0.58	0.56	0.54	0.52	0.51	0.49	0.47	0.45	0.44	0.42	0.40	0.39	0.38	0.36
600		0.60	0.58	0.56	0.54	0.52	0.50	0.48	0.46	0.45	0.43	0.42	0.40	0.39	0.37	0.36	0.34
700		0.55	0.53	0.51	0.49	0.47	0.46	0.44	0.42	0.41	0.39	0.38	0.37	0.35	0.34	0.33	0.31
800		0.50	0.49	0.47	0.45	0.44	0.42	0.41	0.39	0.38	0.36	0.35	0.34	0.32	0.31	0.30	0.29
900		0.47	0.45	0.43	0.42	0.40	0.39	0.38	0.36	0.35	0.34	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27
1000		0.43	0.42	0.40	0.39	0.38	0.36	0.35	0.34	0.33	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25

Figura 33. ACGIH (2010) Factor de corrección por densidad según altura y temperatura de operación. Industrial Ventilation. A Manual of recommended practice for design 27th edition.

2.5.13. Selección del ventilador

A continuación, se describen las consideraciones para la selección de un ventilador:

- Caudal a la entrada del ventilador
- Presión estática del ventilador (FSP) o presión total del ventilador (FTP). Si la presión está indicada para aire a condiciones distintas al standard se debe corregir el dato con el factor de densidad.
- Agente químico a transportar.
- Limitaciones de espacio y acceso.
- Disposiciones de la transmisión.
- Ruido.
- Seguridad y accesorios

2.5.14. Relación de presión en los ventiladores

Los ventiladores están determinados por el caudal y la presión. Hay dos métodos aceptados para designar la presión del ventilador, estos son:

- La presión total del ventilador (TP)
- La presión estática del ventilador (SP)

2.5.14.1. Presión total del ventilador (TP)

Representa toda la energía requerida para mover el aire a través del sistema de ventilación. Esta presión se calcula sumando los valores absolutos de las presiones totales encontradas en el ventilador.

$$TP \text{ ventilador} = TP \text{ salida} - TP \text{ entrada}$$

Como $TP = SP + VP$, sustituyendo en la ecuación anterior:

$$TP \text{ ventilador} = (SP + VP) \text{ salida} - (SP + VP) \text{ entrada}$$

Como la VP de salida es igual a la VP de entrada, se tiene:

$$TP \text{ ventilador} = SP \text{ salida} - SP \text{ entrada}$$

2.5.14.2. Presión estática del ventilador (SP)

Se define como la presión total del ventilador menos la presión dinámica promedia al salir del ventilador.

$$SP \text{ ventilador} = TP \text{ ventilador} - VP \text{ salida}$$

Como $TP \text{ ventilador} = (SP + VP) \text{ salida} - (SP + VP) \text{ entrada}$, sustituyendo en la ecuación anterior:

$$SP \text{ ventilador} = (SP + VP) \text{ salida} - (SP + VP) \text{ entrada} - VP \text{ salida}$$

Como la VP de salida es igual a la VP de entrada, se tiene:

$$SP \text{ ventilador} = SP \text{ salida} - SP \text{ entrada} - VP \text{ salida}$$

La presión estática del ventilador (FAN sp) representa las pérdidas de carga del sistema.

2.5.15. Leyes de los ventiladores

La norma UNE 100230:1995 menciona “si el ventilador debe funcionar a condiciones diferentes ensayadas, no es práctico ni económico efectuar nuevos ensayos para determinar sus prestaciones”, es decir, cuando un ventilador se somete a condiciones diferentes a las iniciales de operación, pueden calcularse por anticipado los resultados que se obtendrán por medio de unas leyes.

2.5.15.1. Variación de la velocidad

En esta ley permanece constante el sistema, la densidad del aire, el diámetro del ventilador y varían las revoluciones del ventilador, es decir, su velocidad de rotación y se expresa de la siguiente manera:

$$Q_2 = Q_1 \times \frac{RPM_2}{RPM_1}$$

$$SP_2 = SP_1 \times \left(\frac{RPM_2}{RPM_1}\right)^2$$

$$BHP_2 = BHP_1 \times \left(\frac{RPM_2}{RPM_1}\right)^3$$

Donde:

- RPM1 = Revoluciones por minuto iniciales
- RPM2 = Revoluciones por minuto finales
- Q₂ = Caudal final
- Q₁ = Caudal inicial
- SP₂ = Presión estática final
- SP₁ = Presión estática inicial
- BHP₂ = Potencia inicial
- BHP₁ = Potencia final

2.5.15.2. Variación de la densidad

Esta ley se utiliza cuando hay cambios de temperatura y de altitud del lugar de uso. Permanecen constantes el flujo de aire, el sistema, el tamaño del ventilador, la velocidad de rotación y varía la densidad del aire; se expresa de la siguiente manera:

$$Q_2 = Q_1$$

$$SP_2 = SP_1 \times \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

$$BHP_2 = BHP_1 \times \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

Donde:

- ρ₁ = Densidad del aire transportado inicial
- ρ₂ = Densidad del aire transportando final
- Q₂ = Caudal final
- Q₁ = Caudal inicial
- SP₂ = Presión estática final
- SP₁ = Presión estática inicial
- BHP₂ = Potencia inicial
- BHP₁ = Potencia final

2.5.15.3. Variación del diámetro

Esta ley se utiliza cuando hay cambios en el tamaño del ventilador a implementar. Se expresa de la siguiente manera:

$$Q_2 = Q_1 \times \left(\frac{Dr2}{Dr1}\right)^3$$

$$SP_2 = SP_1 \times \left(\frac{Dr2}{Dr1}\right)^2$$

$$BHP_2 = BHP_1 \times \left(\frac{Dr2}{Dr1}\right)^5$$

Donde:

- Dr1 = Diámetro de hélice/rodete del ventilador inicial
- Dr2 = Diámetro de hélice/rodete del ventilador final
- Q₂ = Caudal final
- Q₁ = Caudal inicial
- SP₂ = Presión estática final
- SP₁ = Presión estática inicial
- BHP₂ = Potencia inicial
- BHP₁ = Potencia final

2.5.15.4. Variación de la densidad manteniendo constante la presión

Se utiliza cuando se requiere mantener constante la presión estática, a pesar de que ocurran cambios en la densidad del aire.

Permanecen constantes la presión estática, el sistema, el tamaño del ventilador y varía la densidad. Se expresa de la siguiente manera:

$$Q_2 = Q_1 \times \left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$RPM_2 = RPM_1 \times \left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$BHP_2 = BHP_1 \times \left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

- ρ₁ = Densidad del aire transportado inicial
- ρ₂ = Densidad del aire transportando final

- Q_2 = Caudal final
- Q_1 = Caudal inicial
- RPM1 = Revoluciones por minuto iniciales
- RPM2 = Revoluciones por minuto finales
- BHP_2 = Potencia inicial
- BHP_1 = Potencia final

2.5.15.5. Variación de la densidad manteniendo constante la masa del aire por unidad de tiempo

Permanece constante la masa del aire por unidad de tiempo, el sistema, el tamaño del ventilador y varía la densidad del aire. Se expresa de la siguiente manera:

$$Q_2 = Q_1 \times \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

$$RPM_2 = RPM_1 \times \left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)$$

$$SP_2 = SP_1 \times \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

$$BHP_2 = BHP_1 \times \left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)^2$$

Donde:

- ρ_1 = Densidad del aire transportado inicial
- ρ_2 = Densidad del aire transportando final
- Q_2 = Caudal final
- Q_1 = Caudal inicial
- SP_2 = Presión estática final
- SP_1 = Presión estática inicial
- RPM1 = Revoluciones por minuto iniciales
- RPM2 = Revoluciones por minuto finales
- BHP_2 = Potencia inicial
- BHP_1 = Potencia final

CAPÍTULO III. PROCESO PRODUCTIVO

3.1. Proceso productivo en Planta concentradora

Los bancos de mineral extraídos de interior mina presentan diversos tamaños, estos se trasladan a la Planta concentradora para la obtención de oro tras los sub procesos que figuran en la figura 34, y que se explican a continuación:

- a. Acopio de mineral. – Consiste en el apilamiento de mineral, abarca desde la entrada de mineral al área de balanza para ser pesado y posterior traslado a las tolvas o al área de descarga del mineral.
- b. Chancado. - Proceso de reducción del tamaño de las partículas de mineral a través de métodos físicos, cuyo objetivo es el de iniciar la liberación de las partículas de mena y su separación de la ganga. Dependiendo de la dureza del mineral puede dividirse en chancado primario, secundario y terciario.
- c. Molienda. – Proceso que permite la reducción del mineral a tamaños menores a 10 micrómetros, al igual que en la etapa de chancado permite la liberación de la mena y también obtener un tamaño de partícula según los requerimientos de los siguientes sub procesos.
- d. Lixiviación con cianuro. – La cianuración se refiere a la recuperación de oro a través del uso de soluciones cianuradas. La concentración óptima de cianuro varía en función a las características del mineral, utilizándose normalmente una concentración de 500 ppm a 2000 ppm, este reactivo es agregado desde molienda y posteriormente en el primer tanque de lixiviación. La cal o hidróxido de sodio deben ser agregadas a la solución antes del cianuro con el fin de mantener el pH entre 10.5 y 11.5. Un exceso de estos reactivos ocasiona el consumo excesivo de cianuro. Cabe resaltar que la baja concentración de cianuro no solo reduce los costos sino también evita la disolución de impurezas.
- e. Etapas del proceso de Merrill Crowe:
 - *Separación solido-liquido:* Para la separación de fase sólida y fase líquida en un proceso de lixiviación por agitación en pulpa, se necesita de una etapa de espesamiento y una de clarificación, mientras que para un proceso de lixiviación solo se requerirá de una etapa de clarificación. La eficiencia de separación de fases dependerá del porcentaje de sólidos de la solución clarificada. En esta etapa la eliminación de la mayor cantidad de sólidos evita dificultades en la cementación asegurando que el rendimiento del zinc sea exitoso.

- *Clarificación:* Después de la separación de sólidos, la solución rica pasa a un tanque de almacenamiento tipo cónico donde se van sedimentando las partículas que no pudieron ser removidas en la etapa anterior, posteriormente esta solución es impulsada a través de una bomba hacia un filtro clarificador de hojas rectangulares; el lavado de estos filtros se realiza semanalmente y en caso de tratarse de una solución cianurada con alto contenido de cal se utilizara ácido clorhídrico.

La eficiencia de la cementación se logra agregando primero la solución clarificada, luego la dosificación de zinc y posteriormente la de plomo, esta última representa entre en 5 a 10% de la cantidad de zinc total, el zinc precipitará al plomo en su superficie dando origen a un par galvánico que mejorará la velocidad de cementación.

- *Desaireación:* La solución clarificada con menos de 10 ppm de solido pasa a un tanque de desoxigenación el cual consta de un cilindro cuyo interior posee rejillas dispuestas de manera horizontal, generalmente se elimina de 4 a 8 ppm de oxígeno disuelto.
- *Adición de polvo de zinc:* Este proceso es comúnmente llamado cementación, en esta etapa la solución desoxigenada pasa a un tanque mezclador donde se dosifica polvo de zinc a través de una faja transportadora o alimentadores vibratorios. El zinc es añadido para solidificar el oro. Aquí también se añaden sales de plomo para mejorar la cinética de la reacción.
- *Filtración del precipitado de oro:* Después de precipitar el oro la mezcla es enviada hacia unos filtros prensa los cuales sirven para separar los metales preciosos de la solución, cada placa del filtro está dispuesta paralelamente, lo que permite la limpieza de alguna de ellas mientras las demás estén en operación normal. La “retorta” obtenida es soplada con aire para secarla, posteriormente se abren los filtros y se descarga la retorta en unas bandejas con ruedas.

- f. Fundición y refinería. - El proceso de fundición se realiza a fin de obtener el lingote de oro, aquí es necesario controlar variables para lograr una alta pureza del producto y mínimas pérdidas en la escoria.
El precipitado obtenido de la retorta de los filtros es fundido en un horno de alta temperatura, en presencia de fundentes a una temperatura que no supere los puntos de fusión del oro y la plata.

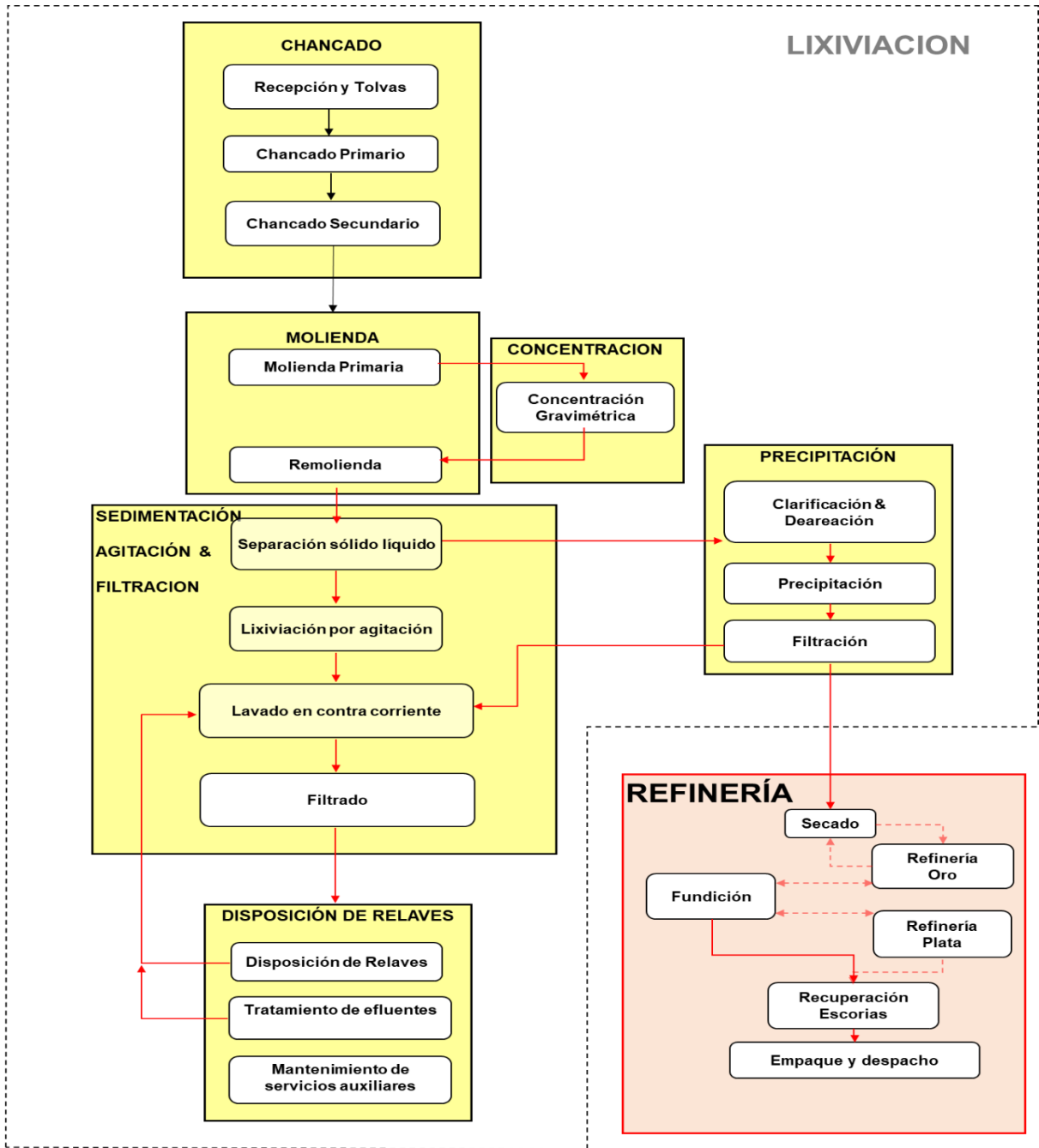


Figura 34. Diagrama de flujo en la Planta concentradora

3.2. Proceso productivo en Refinería

Según se observa en el diagrama de flujo de la figura 35, primero hay obtener el precipitado de los filtros prensa y colocarlo en la bandeja de cosecha para su traslado hacia la balanza. El precipitado “cosechado” tiene una humedad entre 38% a 45%. Tras obtener su peso, se procede a colocarlo en bandejas para su secado en los hornos secadores eléctricos, a una temperatura promedio de 300°C durante 12 o 17 horas para obtener una humedad relativa de 1% del precipitado.

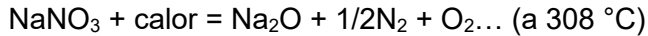
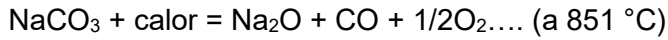
Tras retirar el precipitado seco de los hornos secadores se homogeniza en el mezclador rotatorio o cono mezclador, en paralelo se agregan los fundentes (bórax decahidratado, carbonato de sodio y nitrato de sodio) para lograr una mezcla homogénea de precipitado – fundente. Se procede a retirar la mezcla y se almacena en bolsas de polietileno para ser fundido; las bolsas están clasificadas por el peso del contenido, se cuenta con bolsas de 20 kg, 25 kg, 10 kg y 5 kg.

El precipitado que se obtiene en los filtros prensa cuenta con impurezas como SiO₂, Zn, Pb, Al, As, Cu, Fe, Mg, Ca, Ni, Ti, Ba, Mn y V, el objetivo de agregar fundentes a la carga es que reaccionen químicamente con las impurezas para quedarse con el mineral valioso (oro y plata). Los fundentes que se aplican se clasifican en:

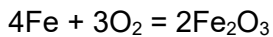
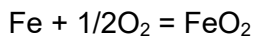
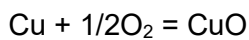
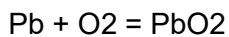
- a. Fundentes oxidantes: Proporcionan oxígeno para convertir los metales base en óxidos y escorificarlos. En la Refinería a analizar usan el nitrato de sodio (NaNO₃).
- b. Fundentes reductores: Eliminan el oxígeno, o se combinan con él, y pasan a la escoria; transformando los óxidos metálicos a metales. Para fines de la Refinería a analizar es requerido para transformar el óxido de plomo a plomo metálico, por lo que se usa el carbonato de sodio (NaCO₃).
- c. Fundentes neutros o reguladores: Son los que no producen oxidación ni reducción, sirven como solvente de las impurezas producidas por la acción de los fundentes oxidantes y reductores. En la Refinería a analizar usan el bórax decahidratado (B₄O₇.10H₂O).

La fundición inicia encendiendo el sistema de extracción localizada, luego se encienden los dos hornos basculantes (el horno basculante es un tipo de horno de crisol que se inclina o bascula para vaciar la carga) con inyección de aire y petróleo, se calientan aproximadamente por 30 minutos y se procede a cargar las bolsas con la mezcla precipitado–fundentes, en ciclos de 10 minutos hasta completar la capacidad del crisol. El objetivo es obtener metal bullón en presencia de fundentes formadores de escoria a temperaturas que excedan el punto de fusión de todos los componentes del precipitado, entre los 1200°C y 1300°C, ya que el punto de fusión del oro y la plata es 1063°C y 962, respectivamente, pero cuando se encuentran en aleación el punto de fusión se incrementa dependiendo del contenido de oro.

Los primeros cambios químicos que se producen durante la fundición se deben al efecto del calor con el cual se origina la descomposición de los fundentes carbonato de sodio (NaCO_3) y nitrato de sodio (NaNO_3):

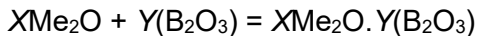
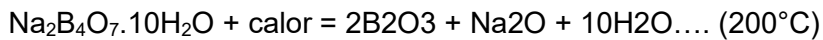


Con la presencia de oxígeno proveniente de la descomposición de los fundentes oxidantes, se inicia la oxidación de metales base, que están en el precipitado como impurezas:

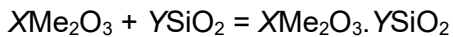
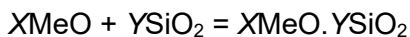


Como última etapa se forman los boratos y silicatos, al reaccionar químicamente el borax y la sílice con los óxidos de los metales (Me) base:

Con el bórax:



Con la sílice:



Para lograr la retención de impurezas de metales en la escoria se debe asegurar la oxidación para formar compuestos boratados y silicatados.

Al agregar gran cantidad de fundentes oxidantes crea una atmósfera oxidante dentro del crisol, esto es perjudicial ya que se desprende gran cantidad de oxígeno que provoca una excesiva espumación durante la fusión de la carga, esto hace que el oro y la plata, metales valiosos, queden atrapados mecánicamente en la escoria; a fin de minimizar esto se necesita de un tiempo de retención adicional, a fin que la espuma desaparezca y dar tiempo a que el oro y la plata atrapados en la escoria puedan separarse por simple sedimentación.

El tiempo total de fundición en la Refinería analizada es entre 3 y 4 horas, la escoria forma una fase que se separa del bullón, y debido a su inmiscibilidad y menor densidad se ubica sobre éste. Luego se basculan los hornos para separar las escorias del bullón formado; las escorias son recogidas en conos y almacenadas para su posterior tratamiento, en cambio, el bullón es retirado una vez enfriado el horno, para proceder con la re-fusión.

Las escorias producidas son tratadas para recuperar el material valioso que pueden contener, por lo que son molidas, tamizadas y pasadas por un separador vibratorio. De este sub proceso se obtienen dos productos: un concentrado, que es fundido para obtener un bullón, y relave de escorias, el cual es bombeado a la Planta de cianuración.

Para moldear y eliminar impurezas de plomo al bullón obtenido en la fundición, se re-funde en el horno de re-fusión, obteniéndose el doré oro – plata con un peso aproximado de 28 kg por barra, una ley de plomo menor al 1% y ley oro – plata mayor al 75%.

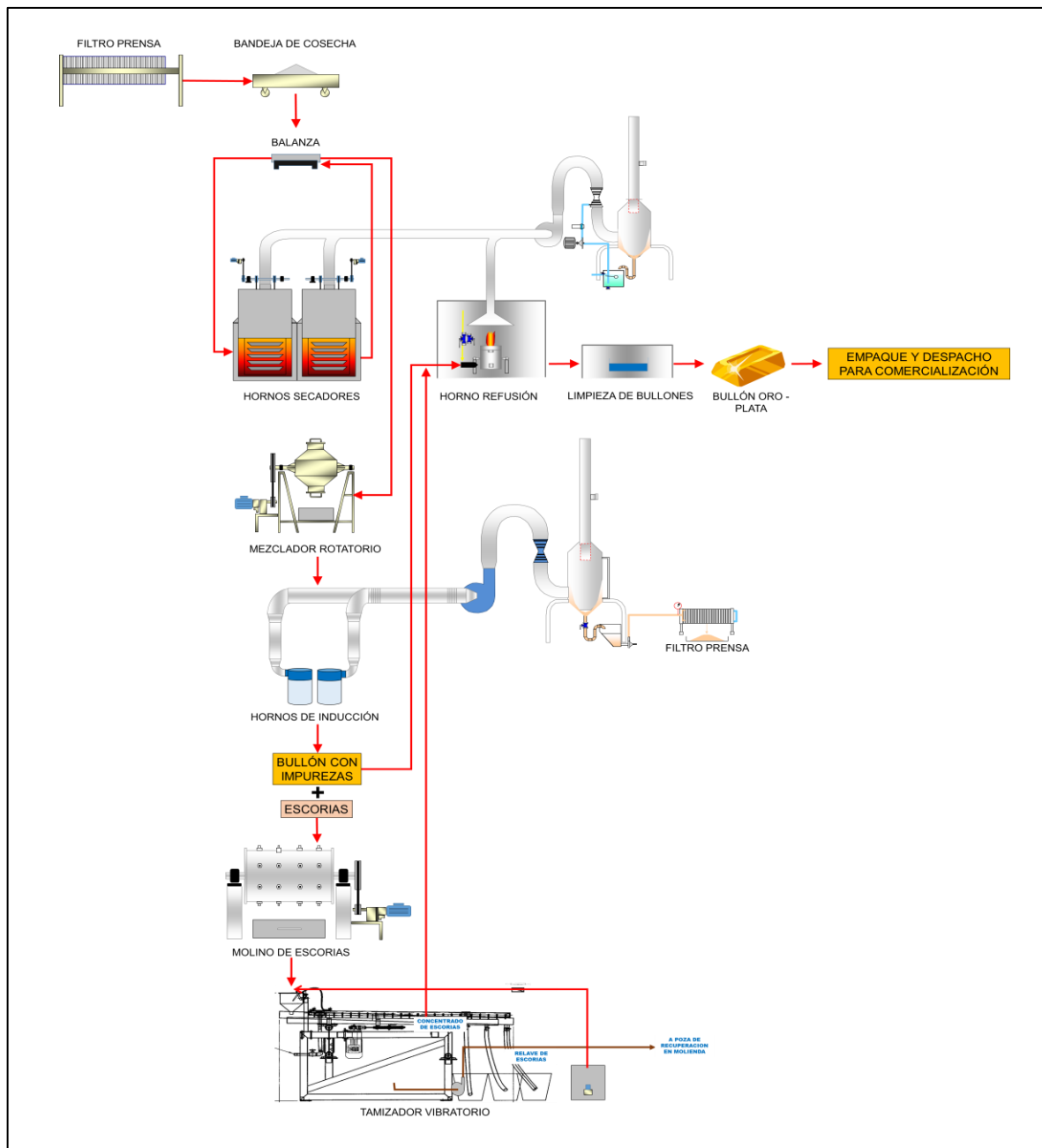


Figura 35. Diagrama de flujo Refinería

CAPÍTULO IV. CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS OCUPACIONALES

La presente tesis se realizó en una refinería de oro ubicada a 1250 msnm. Donde encontramos 3 (tres) puestos de trabajo: el jefe de refinería, fundidor y ayudante fundidor, como se indica en la tabla 38.

Tabla 38

Puestos de trabajo en Fundición

Ítem	Puesto de trabajo	Cantidad
1	Jefe de refinería	Tres (02)
2	Fundidor	Uno (01)
3	Ayudante fundidor	Dos (02)

Como primer criterio para caracterizar la exposición a agentes ocupacionales, en la tabla 39 se diferencia las actividades o tareas que realiza cada puesto de trabajo.

Tabla 39

Actividades que realizan cada puesto de trabajo

Ítem	Puesto de trabajo	Actividad	Tareas
1	Jefe de refinería	Fundición	<ul style="list-style-type: none"> • Administrativas. • Supervisión de la fundición de metales. • Muestreo del dore con taladro
		Empaque y despacho	<ul style="list-style-type: none"> • Codificado, pesado y empacado de bullones de oro y granallas de plata. • Despacho de la producción.
2	Fundidor	Secado	<ul style="list-style-type: none"> • Cosecha de precipitado
		Fundición	<ul style="list-style-type: none"> • Descarga manual de bandejas con precipitado del horno secador. • Operación de montacarga para traslado de bandejas con precipitado. • Descarga de precipitado en la tolva. • Operación de montacarga para traslado de tolva. • Descarga de precipitado a cono mezclador. • Adición de carga (borax y carbonato de sodio) y fundente (Nitrato de sodio y óxido de cobre). • Pesaje de mezcla carga-fundente-precipitado y distribución en bolsas de polietileno. • Encendido de los hornos basculantes y sistema de extracción localizada. • Adición de la mezcla carga-fundente-precipitado a los hornos basculantes.

			<ul style="list-style-type: none"> • Colada. • Traslado del bullón al horno de re-fusión. • Adición de carga y fundente. • Re-fusión de bullones. • Colada.
3	Ayudante fundidor	Secado	<ul style="list-style-type: none"> • Cosecha de precipitado
		Fundición	<ul style="list-style-type: none"> • Descarga manual de bandejas con precipitado del horno secador. • Muestreo de precipitado al encontrarse en el cono mezclador. • Apoyo en la fundición con los hornos basculantes. • Trituración y traslado de escorias. • Carga y descarga de escorias al molino. • Control en el separador vibratorio. • Apoyo en la re-fusión de bullones • Lavado de la barra de doré oro-plata con ácido nítrico. • Traslado de doré para su almacenamiento en la bóveda de seguridad. • Orden y limpieza.

Como segundo criterio para caracterizar la exposición a agentes ocupacionales, los monitoreos ha realizar serán clasificados según el precipitado obtenido por Unidad de Producción de la Empresa Minera, ya que presenta diferentes concentraciones de metales según su origen, es decir, la concentración de metales en el ambiente al momento de la fundición dependerá del precipitado que se esté procesando. Se cuenta con las siguientes Unidades de Producción:

- Unidad de Producción A = UP A
- Unidad de Producción B = UP B

La exposición a agentes ocupacionales en cada trabajador varía según las características del proceso productivo, las condiciones de los equipos o máquinas, las actividades que realizan los trabajadores, el tiempo de exposición en cada actividad, las características inherentes a cada agente ocupacional que se presenta, la condición actual de los controles existentes (de ingeniería, administrativos o de protección personal), entre otros. Por ello, para identificar los agentes ocupacionales que está expuesto el trabajador en la refinería a evaluar, y estimar su grado de riesgo, se realiza un análisis preliminar de riesgos o evaluación cualitativa inicial.

La evaluación cualitativa debe dar como resultado la clasificación del riesgo de exposición ocupacional a los agentes ocupacionales, en base a las siguientes etapas: identificación de agentes ocupacionales, estructuración del GES, estructuración del perfil de exposición y categorización de los efectos a la salud.

Posteriormente, se procederá a cuantificar la exposición de aquellos agentes ocupacionales clasificados como de riesgo “muy alto”, “alto” o “medio” en la evaluación cualitativa, para priorizar su gestión y control. Las situaciones con nivel de exposición ocupacional “bajo” no son objetivo de esta tesis, ya que, en contraste con los exámenes médicos ocupacionales, no representan un riesgo a la salud de los trabajadores.

En la tabla 41, 42 y 43 se detalla el análisis preliminar de riesgos ocupacionales de los puestos de trabajo “jefe de refinería”, “fundidor” y “ayudante fundidor”, de lo cual podemos concluir los agentes ocupacionales de mayor nivel de exposición ocupacional por actividad, lo cual se resume en la tabla 40.

Para realizar la evaluación cuantitativa de los agentes ocupacionales seleccionados en la tabla 40, se escoge la estrategia de evaluar a toda la población en refinería, ya que es pequeña (igual a 5 trabajadores), tomando como referencia tres GES (Grupo de exposición similar).

Tabla 40

Principales agentes ocupacionales presentes por puesto de trabajo

Puesto de trabajo	Actividades	Principales agentes ocupacionales presentes en la actividad
Jefe de Refinería	Empaque y despacho	<ul style="list-style-type: none"> • Ninguno
	Muestreo del doré con taladro	<ul style="list-style-type: none"> • Gases • Humos metálicos
	Supervisión de la fundición	<ul style="list-style-type: none"> • Ruido • Gases • Humos metálicos
Fundidor	Secado	<ul style="list-style-type: none"> • Gases
	Fundición	<ul style="list-style-type: none"> • Ruido • Estrés térmico • Gases • Humos metálicos
Ayudante fundidor	Secado	<ul style="list-style-type: none"> • Gases
	Fundición	<ul style="list-style-type: none"> • Ruido • Estrés térmico • Gases • Humos metálicos

Tabla. 41

Análisis preliminar de riesgos de higiene ocupacional del puesto de trabajo “Jefe de refinería”

<p>Área: Refinería</p> <p>Puesto de trabajo: Jefe de refinería</p> <p>Cantidad del personal en el puesto de trabajo: 2</p> <p>Régimen de trabajo: 28 x 14</p> <p>Horario de trabajo: 07:00 h - 19:00 h</p> <p>Descripción del ambiente de trabajo: Cuenta con sistema de extracción localizada, ventilación natural, exposición constante durante toda la jornada laboral. Ambiente techado. Altura de operación: 1250 msnm.</p>																
Proceso	Actividad	Local de la Tarea	Tipo del Agente	Agente ocupacional (peligro)	Fuentes Generadoras o probables causas	Frecuencia	Tiempo de Exposición	Concentración o Nivel	Perfil GES	Efectos en la salud	Nivel de exposición ocupacional	Vía de ingreso principal	Jerarquía de controles			
													ELIMINACIÓN/ SUSTITUCIÓN	CONTROLES DE INGENIERÍA / EPC	ADMINISTRATIVOS	EPP
Procesamiento	Muestreo del dore con taladro	Refinería - Planta	Agente físico	Ruido	Sistema de extracción localizada.	Semanal	< 4h/semana	Detectada pero Tolerable	3	8	BAJO	Vía auditiva		Cabina acústica	Capacitación en higiene ocupacional. Monitoreo de Ruido. PETS operación de hornos. Mantenimiento preventivo y correctivo de motores del sistema de extracción. Examen Médico de ingreso, periódico y retiro.	Tapones auditivos
Procesamiento	Muestreo del dore con taladro	Refinería - Planta	Agente físico	Iluminación	Lámparas fluorescentes e iluminación natural	Semanal	< 4h/semana	No Perceptible Cualitativamente	2	4	BAJO	Vía visual		Diseño de iluminación	Capacitación en higiene ocupacional. PETS muestreo de dore. Examen Médicos de ingreso, periódico y retiro. Inspección de luminarias.	
Procesamiento	Muestreo del dore con taladro	Refinería - Planta	Agente físico	Estrés térmico (calor)	Hornos de fusión y refusión. Hornos de secado.	Semanal	< 4h/semana	Detectada pero Tolerable	3	4	BAJO	Vía dermica			Capacitación en higiene ocupacional. Monitoreo de estrés térmico. Dotación de agua. Tiempos de recuperación. Examen Médicos de ingreso, periódico y retiro.	Uniforme de trabajo
Procesamiento	Muestreo del dore con taladro	Refinería - Planta	Agente químico	Gases generados por la fundición de metales	Ignición de precipitado	Semanal	< 4h/semana	Detectada pero Tolerable	3	16	MEDIO	Vía respiratoria		Sistema de extracción localizada	Capacitación en higiene ocupacional. Entrenamiento en el correcto uso y mantenimiento del EPP respiratorio. PETS operación de hornos. Monitoreo de gases. Mantenimiento preventivo y correctivo de motores del sistema de extracción. Examen Médicos de ingreso, periódico y retiro.	Respirador media cara con filtro para partículas y con cartuchos para gases

Procesamiento	Supervisión de fundición de metales	Refinería - Planta	Agente físico	Iluminación	Lámparas fluorescentes e iluminación natural	Diaria	< 4h/día	Detectada pero Tolerable	5	4	BAJO	Vía visual	Diseño de iluminación	Capacitación en higiene ocupacional. PETS (varios). Examen Médicos de ingreso, periódico y retiro. Inspección de luminarias.	
Procesamiento	Supervisión de fundición de metales	Refinería - Planta	Agente físico	Estrés térmico (calor)	Hornos de fusión y refusión. Hornos de secado.	Diaria	< 4h/día	Detectada pero Tolerable	5	4	BAJO	Vía dermica	Sistema de extracción localizada. Ventilación pasiva.	Capacitación en higiene ocupacional. Monitoreo de estrés térmico. Dotación de agua. Tiempos de recuperación. Examen Médicos de ingreso, periódico y retiro.	Uniforme de trabajo
Procesamiento	Supervisión de fundición de metales	Refinería - Planta	Agente químico	Gases generados por la fundición de metales	Ignición de precipitado	Diaria	< 4h/día	Detectada por causar incomodidad	8	16	ALTO	Vía respiratoria	Sistema de extracción localizada	Capacitación en higiene ocupacional. Entrenamiento en el correcto uso y mantenimiento del EPP respiratorio. PETS operación de hornos. Monitoreo de gases. Mantenimiento preventivo y correctivo de motores del sistema de extracción. Examen Médicos de ingreso, periódico y retiro.	Respirador media cara con filtro para partículas y con cartuchos para gases
Procesamiento	Supervisión de fundición de metales	Refinería - Planta	Agente químico	Humos metálicos	Ignición de precipitado	Diaria	< 4h/día	Detectada por causar irritación	8	16	ALTO	Vía respiratoria	Sistema de extracción localizada. Ventilación pasiva. Aislamiento de demás ambientes de la zona de refinería.	Capacitación en higiene ocupacional. Entrenamiento en el correcto uso y mantenimiento del EPP respiratorio. PETS operación de hornos. Monitoreo de humos metálicos. Mantenimiento preventivo y correctivo de motores del sistema de extracción. Examen Médicos de ingreso, periódico y retiro.	Respirador media cara con filtro para partículas y con cartuchos para gases
Procesamiento	Supervisión de fundición de metales	Refinería - Planta	Agente ergonómico	Carga postural	Posición bipeda prolongada. Manipulación de herramientas.	Diaria	< 4h/día	Detectada pero Tolerable	5	4	BAJO	No se aplica	Uso de mesa ergonómica rodante. Uso de montacarga.	Capacitación en ergonomía. Monitoreo de ergonomía. PETS (varios). Mantenimiento correctivo y preventivo del montacarga. Examen Médicos de ingreso, periódico y retiro. Pausas activas.	

Procesamiento	Empaque y despacho	Refinería - Planta	Agente ergonómico	Manipulación manual de cargas	Agente físico	Refinería - Planta	Empaque y despacho	Procesamiento	Empaque y despacho	Refinería - Planta	Agente físico	Ruido	No reconocido	Procesamiento	Supervisión de fundición de metales	Refinería - Planta	Agente psicosocial	No reconocido	Procesamiento	Supervisión de fundición de metales	Refinería - Planta	Agente biológico	No reconocido
Procesamiento	Empaque y despacho	Refinería - Planta	Agente físico	Traslado de bullones de oro-plata.	Agente físico	Refinería - Planta	Empaque y despacho	Procesamiento	Empaque y despacho	Refinería - Planta	Agente físico	Operación de montacarga	Carga laboral	Procesamiento	Supervisión de fundición de metales	Refinería - Planta	Agente psicosocial	Carga laboral	Procesamiento	Supervisión de fundición de metales	Refinería - Planta	Agente biológico	No reconocido
				Semanal	Semanal							Semanal	Diaria					Diaria					< 4h/día
				4 - 8h/semana	4 - 8h/semana							4 - 8h/semana	< 4h/día					< 4h/día					< 4h/día
				Detectada pero Tolerable	Detectada pero Tolerable							Detectada pero Tolerable	Detectada pero Tolerable					Detectada pero Tolerable					No Perceptible Cualitativamente
				3	3							3	5					5					3
				8	4							8	4					4					2
				BAJO	BAJO							BAJO	BAJO					BAJO					BAJO
				No se aplica	Vía dermica							Vía auditiva	No se aplica					No se aplica					Vía dermica
				Uso de mesa ergonómica rodante. Uso de montacarga.	Ventilación pasiva																		Ventilación pasiva. Sistemas de extracción localizada.
				Capacitación en ergonomía. PETS sobre manipulación manual de cargas. Mantenimiento correctivo y preventivo del montacarga. Examen Médicos de ingreso, periódico y retiro. Pausas activas.	Capacitación en higiene ocupacional. Dotación de agua. Examen Médicos de ingreso, periódico y retiro.																		Capacitación en higiene ocupacional. Orden y limpieza. Disposición adecuada de residuos.
				Guantes de badana	Uniforme de trabajo																		Tapones auditivos

Procesamiento	Empaque y despacho	Refinería - Planta	Agente biológico	No reconocido	No reconocido	Semanal	4 - 8h/semana	No Perceptible Cualitativamente	2	2	BAJO	Vía dérmica	Ventilación pasiva	Capacitación en higiene ocupacional. Orden y limpieza. Disposición adecuada de residuos.
Procesamiento	Empaque y despacho	Refinería - Planta	Agente psicosocial	No reconocido	Carga laboral	Semanal	4 - 8h/semana	Detectada pero Tolerable	3	4	BAJO	No se aplica		Capacitación en riesgos psicosociales y su control. Organización del trabajo. Campaña y taller de manejo de estrés.

Tabla 42

Análisis preliminar de riesgos de higiene ocupacional del puesto de trabajo “Fundidor”

<p>Área: Refinería</p> <p>Puesto de trabajo: Fundidor</p> <p>Cantidad del personal en el puesto de trabajo: 1</p> <p>Régimen de trabajo: 28 x 14</p> <p>Horario de trabajo: 07:00 - 19:00</p> <p>Descripción del ambiente de trabajo: Cuenta con sistema de extracción localizada, ventilación natural, exposición constante durante toda la jornada laboral. Ambiente techado. Altura de operación: 1250 msnm.</p>																
Proceso	Actividad	Local de la Tarea	Tipo del Agente	Agente ocupacional (peligro)	Fuentes Generadoras o probables causas	Frecuencia	Tiempo de Exposición	Concentración o Nivel	Perfil GES	Efectos en la salud	Nivel de exposición ocupacional	Vía de ingreso principal	Jerarquía de controles			
													ELIMINACIÓN/ SUSTITUCIÓN	CONTROLES DE INGENIERÍA / EPC	ADMINISTRATIVOS	EPP
Procesamiento	Secado	Refinería - Planta	Agente físico	Ruido	Molinos de la Planta industrial	Semanal	4 - 8h/semana	No Perceptible Cualitativamente	2	8	BAJO	Vía auditiva			Capacitación en higiene ocupacional. Monitoreo de Ruido. PETS cosecha de precipitado. Mantenimiento preventivo y correctivo de equipos. Examen médico de ingreso, periódico y retiro.	
Procesamiento	Secado	Refinería - Planta	Agente físico	Iluminación	Iluminación artificial y natural	Semanal	4 - 8h/semana	No Perceptible Cualitativamente	2	4	BAJO	Vía visual		Diseño de iluminación	Capacitación en higiene ocupacional. PETS cosecha de precipitado. Examen médico de ingreso, periódico y retiro. Inspección de luminarias.	
Procesamiento	Secado	Refinería - Planta	Agente físico	Estrés térmico (calor)	Temperatura ambiental	Semanal	4 - 8h/semana	Detectada pero Tolerable	3	8	BAJO	Vía dermica		Ventilación pasiva	Capacitación en higiene ocupacional. PETS cosecha de precipitado. Monitoreo de estrés térmico. Dotación de agua. Tiempos de recuperación. Examen médico de ingreso, periódico y retiro.	Uniforme de trabajo

Procesamiento	Secado	Refinería - Planta	Agente químico	Gases	Paso de pulpa en los filtros prensa	Semanal	4 - 8h/semana	Detectada pero Tolerable	3	16	MEDIO	Vía respiratoria	Ventilación pasiva	Capacitación en higiene ocupacional. Entrenamiento en el correcto uso y mantenimiento del EPP respiratorio. PETS cosecha de precipitado. Monitoreo de gases. Mantenimiento preventivo y correctivo de los filtros prensa. Examen médico de ingreso, periódico y retiro.	Respirador media cara con filtro para partículas y con cartuchos para gases
Procesamiento	Secado	Refinería - Planta	Agente ergonómico	Carga postural	Cosecha de precipitado del filtro prensa	Semanal	4 - 8h/semana	Detectada por causar incomodidad	5	4	BAJO	No se aplica		Capacitación en ergonomía. Monitoreo de ergonomía. PETS cosecha de precipitado. Examen médico de ingreso, periódico y retiro. Pausas activas. Tiempos de recuperación.	
Procesamiento	Secado	Refinería - Planta	Agente ergonómico	Movimientos repetitivos	Cosecha de precipitado del filtro prensa	Semanal	4 - 8h/semana	Detectada pero Tolerable	3	4	BAJO	No se aplica		Capacitación en ergonomía. Monitoreo de ergonomía. PETS cosecha de precipitado. Examen médico de ingreso, periódico y retiro. Pausas activas. Tiempos de recuperación.	
Procesamiento	Secado	Refinería - Planta	Agente ergonómico	Manipulación manual de cargas	Bolsas con precipitado	Semanal	4 - 8h/semana	Detectada por causar incomodidad	5	4	BAJO	No se aplica	Uso de montacarga y plataforma rodante.	Capacitación en ergonomía. Monitoreo de ergonomía. PETS cosecha de precipitado. PETS Manipulación manual de cargas. Examen médico de ingreso, periódico y retiro. Pausas activas.	Guantes de badana
Procesamiento	Secado	Refinería - Planta	Agente biológico	No reconocido	No reconocido	Semanal	4 - 8h/semana	No Perceptible Cualitativamente	2	2	BAJO	Vía dermica	Ventilación pasiva	Capacitación en higiene ocupacional. Orden y limpieza. Disposición adecuada de residuos.	
Procesamiento	Secado	Refinería - Planta	Agente psicosocial	No reconocido	Carga laboral	Semanal	4 - 8h/semana	No Perceptible Cualitativamente	2	4	BAJO	No se aplica		Capacitación en riesgos psicosociales y su control. Organización del trabajo. Campaña y taller de manejo de estrés.	

Procesamiento	Fundición	Refinería - Planta	Agente físico	Ruido	Hornos de fusión y refusión. Sistema de extracción localizada.	Diaria	4 - 8h/día	Detectada por causar incomodidad	8	8	MEDIO	Vía auditiva		Capacitación en higiene ocupacional. Monitoreo de Ruido. PETS operación de hornos. Mantenimiento preventivo y correctivo de motor del sistema de extracción. Examen médico de ingreso, periódico y retiro. Inspección de equipos.	Orejeras tipo copa y tapones auditivos
Procesamiento	Fundición	Refinería - Planta	Agente físico	Iluminación	Iluminación artificial y natural	Diaria	4 - 8h/día	Detectada pero Tolerable	5	4	BAJO	Vía visual	Diseño de iluminación	Capacitación en higiene ocupacional. PETS operación de hornos. Examen Médicos de ingreso, periódico y retiro. Inspección de luminarias.	
Procesamiento	Fundición	Refinería - Planta	Agente físico	Estrés térmico (calor)	Hornos de fusión y refusión. Hornos de secado. Temperatura ambiental.	Diaria	4 - 8h/día	Detectada por causar incomodidad	8	8	MEDIO	Vía dermica	Sistema de extracción localizada. Ventilación pasiva. Cabina aclimatada a 22°C para recuperación.	Capacitación en higiene ocupacional. PETS operación de hornos. Monitoreo de estrés térmico. Dotación de agua. Tiempos de recuperación. Examen Médicos de ingreso, periódico y retiro.	Uniforme de trabajo
Procesamiento	Fundición	Refinería - Planta	Agente químico	Gases generados por la fundición de metales	Ignición de precipitado y fundentes en el horno	Diaria	4 - 8h/día	Detectada pero Tolerable	5	16	ALTO	Vía respiratoria	Sistema de extracción localizada	Capacitación en higiene ocupacional. Entrenamiento en el correcto uso y mantenimiento del EPP respiratorio. PETS operación de hornos. Monitoreo de gases. Mantenimiento preventivo y correctivo del motor del sistema de extracción. Examen médico de ingreso, periódico y retiro. Inspección de equipos.	Respirador media cara con filtro para partículas y con cartuchos para gases
Procesamiento	Fundición	Refinería - Planta	Agente químico	Humos metálicos	Ignición de precipitado y fundentes en el horno	Diaria	4 - 8h/día	Detectada por causar irritación	13	16	MUY ALTO	Vía respiratoria	Sistema de extracción localizada. Sistema de impulsión de aire. Ventilación pasiva.	Capacitación en higiene ocupacional. Entrenamiento en el correcto uso y mantenimiento del EPP respiratorio. PETS operación de hornos. Monitoreo de humos metálicos. Mantenimiento preventivo y correctivo del motor del sistema de extracción. Examen médico de ingreso, periódico y retiro. Inspección de equipos.	Respirador media cara con filtro para partículas y con cartuchos para gases
Procesamiento	Fundición	Refinería - Planta	Agente ergonómico	Carga postural	Posturas inadecuadas	Diaria	4 - 8h/día	Detectada pero Tolerable	5	4	BAJO	No se aplica	Herramientas manuales ergonómicas	Capacitación en ergonomía. Monitoreo de ergonomía. PETS operación de hornos. Examen Médicos de ingreso, periódico y retiro. Pausas activas. Tiempos de recuperación.	

Procesamiento	Fundición	Refinería - Planta	Agente ergonómico	Manipulación manual de cargas	Bolsas con precipitado, bullones	Diaria	< 4h/día	Detectada pero Tolerable	5	4	BAJO	No se aplica	Uso de mesa ergonómica rodante. Uso de montacarga.	Capacitación en ergonomía. Monitoreo de ergonomía. PETS operación de hornos. PETS manipulación manual de cargas. Mantenimiento correctivo y preventivo del montacarga. Examen Médicos de ingreso, periódico y retiro. Pausas activas. Tiempos de recuperación. Trabajo en equipo.	Guantes de badana
Procesamiento	Fundición	Refinería - Planta	Agente biológico	No reconocido	No reconocido	Diaria	4 - 8h/día	No Perceptible Cualitativamente	3	2	BAJO	Vía dermica	Ventilación pasiva	Capacitación en higiene ocupacional. Orden y limpieza. Disposición adecuada de residuos.	
Procesamiento	Fundición	Refinería - Planta	Agente psicosocial	No reconocido	Carga laboral	Diaria	4 - 8h/día	Detectada pero Tolerable	5	4	BAJO	No se aplica		Capacitación en riesgos psicosociales y su control. Organización del trabajo. Campaña y taller de manejo de estrés.	

Tabla 43

Análisis preliminar de riesgos de higiene ocupacional del puesto de trabajo “Ayudante fundidor”

<p>Área: Refinería</p> <p>Puesto de trabajo: Ayudante fundidor</p> <p>Cantidad del personal en el puesto de trabajo: 2</p> <p>Régimen de trabajo: 28 x 14</p> <p>Horario de trabajo: 07:00 - 19:00</p> <p>Descripción del ambiente de trabajo: Cuenta con sistema de extracción localizada, ventilación natural, exposición constante durante toda la jornada laboral. Ambiente techado. Altura de operación: 1250 msnm.</p>																
Proceso	Actividad	Local de la Tarea	Tipo del Agente	Agente ocupacional (peligro)	Fuentes Generadoras o probables causas	Frecuencia	Tiempo de Exposición	Concentración o Nivel	Perfil GES	Efectos en la salud	Nivel de exposición ocupacional	Vía de ingreso principal	Jerarquía de controles			
													ELIMINACIÓN/ SUSTITUCIÓN	CONTROLES DE INGENIERÍA / EPC	ADMINISTRATIVOS	EPP
Procesamiento	Secado	Refinería - Planta	Agente físico	Ruido	Molinos de la Planta industrial	Semanal	4 - 8h/semana	No Perceptible Cualitativamente	2	8	BAJO	Vía auditiva			Capacitación en higiene ocupacional. Monitoreo de Ruido. PETS cosecha de precipitado. Mantenimiento preventivo y correctivo de equipos. Examen médico de ingreso, periódico y retiro.	
Procesamiento	Secado	Refinería - Planta	Agente físico	Iluminación	Iluminación artificial y natural	Semanal	4 - 8h/semana	No Perceptible Cualitativamente	2	4	BAJO	Vía visual		Diseño de iluminación	Capacitación en higiene ocupacional. PETS cosecha de precipitado. Examen médico de ingreso, periódico y retiro. Inspección de luminarias.	
Procesamiento	Secado	Refinería - Planta	Agente físico	Estrés térmico (calor)	Temperatura ambiental	Semanal	4 - 8h/semana	Detectada pero Tolerable	3	8	BAJO	Vía dermica		Ventilación pasiva	Capacitación en higiene ocupacional. PETS cosecha de precipitado. Monitoreo de estrés térmico. Dotación de agua. Tiempos de recuperación. Examen médico de ingreso, periódico y retiro.	Uniforme de trabajo

Procesamiento	Secado	Refinería - Planta	Agente químico	Gases	Paso de pulpa en los filtros prensa	Semanal	4 - 8h/semana	Detectada pero Tolerable	3	16	MEDIO	Vía respiratoria	Ventilación pasiva	Capacitación en higiene ocupacional. Entrenamiento en el correcto uso y mantenimiento del EPP respiratorio. PETS cosecha de precipitado. Monitoreo de gases. Mantenimiento preventivo y correctivo de los filtros prensa. Examen médico de ingreso, periódico y retiro.	Respirador media cara con filtro para partículas y con cartuchos para gases
Procesamiento	Secado	Refinería - Planta	Agente ergonómico	Carga postural	Cosecha de precipitado del filtro prensa	Semanal	4 - 8h/semana	Detectada por causar incomodidad	5	4	BAJO	No se aplica		Capacitación en ergonomía. Monitoreo de ergonomía. PETS cosecha de precipitado. Examen médico de ingreso, periódico y retiro. Pausas activas. Tiempos de recuperación.	
Procesamiento	Secado	Refinería - Planta	Agente ergonómico	Movimientos repetitivos	Cosecha de precipitado del filtro prensa	Semanal	4 - 8h/semana	Detectada pero Tolerable	3	4	BAJO	No se aplica		Capacitación en ergonomía. Monitoreo de ergonomía. PETS cosecha de precipitado. Examen médico de ingreso, periódico y retiro. Pausas activas. Tiempos de recuperación.	
Procesamiento	Secado	Refinería - Planta	Agente ergonómico	Manipulación manual de cargas	Bolsas con precipitado	Semanal	4 - 8h/semana	Detectada por causar incomodidad	5	4	BAJO	No se aplica	Uso de montacarga y plataforma rodante.	Capacitación en ergonomía. Monitoreo de ergonomía. PETS cosecha de precipitado. PETS Manipulación manual de cargas. Examen médico de ingreso, periódico y retiro. Pausas activas.	Guantes de badana
Procesamiento	Secado	Refinería - Planta	Agente biológico	No reconocido	No reconocido	Semanal	4 - 8h/semana	No Perceptible Cualitativamente	2	2	BAJO	Vía dermica	Ventilación pasiva	Capacitación en higiene ocupacional. Orden y limpieza. Disposición adecuada de residuos.	
Procesamiento	Secado	Refinería - Planta	Agente psicosocial	No reconocido	Carga laboral	Semanal	4 - 8h/semana	No Perceptible Cualitativamente	2	4	BAJO	No se aplica		Capacitación en riesgos psicosociales y su control. Organización del trabajo. Campaña y taller de manejo de estrés.	

Procesamiento	Fundición	Refinería - Planta	Agente físico	Ruido	Hornos de fusión y refusión. Sistema de extracción localizada.	Diaria	4 - 8h/día	Detectada por causar incomodidad	8	8	MEDIO	Vía auditiva		Capacitación en higiene ocupacional. Monitoreo de Ruido. PETS operación de hornos. Mantenimiento preventivo y correctivo de motor del sistema de extracción. Examen médico de ingreso, periódico y retiro. Inspección de equipos.	Orejeras tipo copa y tapones auditivos
Procesamiento	Fundición	Refinería - Planta	Agente físico	Iluminación	Iluminación artificial y natural	Diaria	4 - 8h/día	Detectada pero Tolerable	5	4	BAJO	Vía visual	Diseño de iluminación	Capacitación en higiene ocupacional. PETS operación de hornos. Examen Médicos de ingreso, periódico y retiro. Inspección de luminarias.	
Procesamiento	Fundición	Refinería - Planta	Agente físico	Estrés térmico (calor)	Hornos de fusión y refusión. Hornos de secado. Temperatura ambiental.	Diaria	4 - 8h/día	Detectada por causar incomodidad	8	8	MEDIO	Vía dermica	Sistema de extracción localizada. Ventilación pasiva. Cabina aclimatada a 22°C para recuperación.	Capacitación en higiene ocupacional. PETS operación de hornos. Monitoreo de estrés térmico. Dotación de agua. Tiempos de recuperación. Examen Médicos de ingreso, periódico y retiro.	Uniforme de trabajo
Procesamiento	Fundición	Refinería - Planta	Agente químico	Gases generados por la fundición de metales	Ignición de precipitado y fundentes en el horno. Lavado de barras con ácido nítrico	Diaria	4 - 8h/día	Detectada pero Tolerable	5	16	ALTO	Vía respiratoria	Sistema de extracción localizada	Capacitación en higiene ocupacional. Entrenamiento en el correcto uso y mantenimiento del EPP respiratorio. PETS operación de hornos. Monitoreo de gases. Mantenimiento preventivo y correctivo del motor del sistema de extracción. Examen médico de ingreso, periódico y retiro. Inspección de equipos.	Respirador media cara con filtro para partículas y con cartuchos para gases
Procesamiento	Fundición	Refinería - Planta	Agente químico	Humos metálicos	Ignición de precipitado y fundentes en el horno	Diaria	4 - 8h/día	Detectada por causar irritación	13	16	MUY ALTO	Vía respiratoria	Sistema de extracción localizada. Sistema de impulsión de aire. Ventilación pasiva.	Capacitación en higiene ocupacional. Entrenamiento en el correcto uso y mantenimiento del EPP respiratorio. PETS operación de hornos. Monitoreo de humos metálicos. Mantenimiento preventivo y correctivo del motor del sistema de extracción. Examen médico de ingreso, periódico y retiro. Inspección de equipos.	Respirador media cara con filtro para partículas y con cartuchos para gases
Procesamiento	Fundición	Refinería - Planta	Agente ergonómico	Carga postural	Posturas inadecuadas	Diaria	4 - 8h/día	Detectada pero Tolerable	5	4	BAJO	No se aplica	Herramientas manuales ergonómicas	Capacitación en ergonomía. Monitoreo de ergonomía. PETS operación de hornos. Examen Médicos de ingreso, periódico y retiro. Pausas activas. Tiempos de recuperación.	

Procesamiento	Fundición	Refinería - Planta	Agente ergonómico	Manipulación manual de cargas	Bolsas con precipitado, bullones	Diaria	< 4h/día	Detectada pero Tolerable	5	4	BAJO	No se aplica	Uso de mesa ergonómica rodante. Uso de montacarga.	Capacitación en ergonomía. Monitoreo de ergonomía. PETS operación de hornos. PETS manipulación manual de cargas. Mantenimiento correctivo y preventivo del montacarga. Examen Médicos de ingreso, periódico y retiro. Pausas activas. Tiempos de recuperación. Trabajo en equipo.	Guantes de badana
Procesamiento	Fundición	Refinería - Planta	Agente biológico	No reconocido	No reconocido	Diaria	4 - 8h/día	No Perceptible Cualitativamente	3	2	BAJO	Vía dermica	Ventilación pasiva	Capacitación en higiene ocupacional. Orden y limpieza. Disposición adecuada de residuos.	
Procesamiento	Fundición	Refinería - Planta	Agente psicosocial	No reconocido	Carga laboral	Diaria	4 - 8h/día	Detectada pero Tolerable	5	4	BAJO	No se aplica		Capacitación en riesgos psicosociales y su control. Organización del trabajo. Campaña y taller de manejo de estrés.	

En resumen, de la tabla 41, 42 y 43, los principales agentes ocupacionales que están expuestos el jefe de refinería, el fundidor y ayudante fundidor durante la fundición de metales son: ruido, estrés térmico, gases y humos metálicos, los cuales se prioriza su evaluación cuantitativa.

CAPÍTULO V. EVALUACIÓN CUANTITATIVA INICIAL DE AGENTES OCUPACIONALES

En este capítulo se detalla la evaluación cuantitativa realizada a los agentes ocupacionales de nivel de exposición ocupacional “medio”, “alto” y muy alto”, según la evaluación cualitativa en cada puesto de trabajo, que se detalla en las tablas 41, 42 y 43.

Estas evaluaciones se realizaron con la ayuda de equipos específicos de monitoreo que permiten obtener resultados para determinar la concentración o intensidad del agente ocupacional de interés, que para fines de esta tesis son agentes químicos y físicos, a través de metodologías de higiene ocupacional para calcular el índice de exposición de los trabajadores a lo largo de la jornada, y así contribuir a las medidas de control colectivas e individuales.

5.1. Ruido

Realizando un reconocimiento en el entorno de trabajo de la refinería a evaluar, se concluye que las fuentes de ruido representativas son los ventiladores centrífugos de los dos sistemas de extracción localizada, los cuales tienen una antigüedad de 12 años, y los equipos en funcionamiento de la Planta industrial.

Lo más resaltante en la inspección realizada en los sistemas de extracción localizada es que los empalmes entre los ductos metálicos no son herméticos, pues se presentan fugas de aire, así mismo, se identificó accesorios sueltos de su base, ocasionando vibración al momento de la operación; estos factores favorecen a que el nivel de ruido en el ambiente aumente.

En las condiciones iniciales de operación, se realizó el monitoreo de ruido en Refinería, obteniéndose los resultados mostrados en la tabla 44.

Tabla 44

Resultados del monitoreo de ruido realizado al personal de Refinería en febrero 2018.

Puesto de trabajo	Leq	Dosis	LMP	Equipo de protección auditiva	
				Tipo	NRR
Jefe Refinería	87.8 dB(A)	289%	83.2		
Fundidor	98.4 dB(A)	3351%	83.2	Tapón auditivo 3M 1271	25 dB
Ayudante fundidor	94.9 dB(A)	1492%	83.2		

LMP = Límite máximo permisible para un tiempo de exposición de 12 horas.

Leq = Nivel sonoro equivalente continuo.

Todo personal de Refinería usa tapones auditivos 3M 1271 con un periodo de cambio de 3 días. El nivel de reducción del ruido (NRR), según indica su ficha técnica (Anexo 7) es 25 dB, este valor representa el nivel de ruido que atenúa el protector auditivo en condiciones óptimas o de laboratorio.

Según se observa en la tabla 44, el nivel de ruido que está expuesto el jefe de refinería, fundidor y ayudante fundidor excede el límite máximo permisible para un tiempo de

exposición de 12 horas por lo que el nivel de riesgo que están expuestos directamente los trabajadores es alto, pues como se indica en la tabla 45 la dosis supera el 100%.

Tabla 45

Categorización del nivel de exposición al ruido

Dosis de Exposición	Nivel de Riesgo	Descripción
< 50%	BAJO	La dosis de ruido se encuentra por debajo del nivel de acción.
[50% – 100%]	MEDIO	La dosis de ruido se encuentra entre el nivel de acción y el límite máximo permisible.
>=100%	ALTO	La dosis de ruido se encuentra por encima del límite máximo permisible.

Con los resultados obtenidos hay que determinar si la protección auditiva que usa el personal de Refinería, que son los tapones auditivos 3M 1271, minimizan el nivel de ruido a la que están expuestos. Se sabe que el NRR (Noise Reduction Rating) que proporciona la ficha técnica de los protectores auditivos no se aplica en un 100%, pues hay factores que disminuyen su eficiencia al usarlos, como las distintas características antropométricas entre los trabajadores (variación de las dimensiones del conducto auditivo), una inadecuada colocación, desgaste del EPP y falta de mantenimiento; por ello es necesario realizar una estimación de la atenuación efectiva de los protectores auditivos, para ello contamos con métodos cualitativos y cuantitativos.

Para determinar la estimación de la atenuación efectiva de los tapones auditivos 3M 1271, se usó el método cualitativo de las bandas de octava por ser el más confiable (INSST (2003) Estimación de la atenuación efectiva de los protectores auditivos. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales: España.), para ello se requiere los niveles de presión sonora en bandas de octava.

Para obtener la atenuación efectiva de los tapones auditivos con una confianza del 95% se usa una protección asumida del protector auditivo (APVf) igual a:

$$APVf = mf - 1.64\sigma$$

Donde:

mf = Valor medio de atenuación sonora

σ = Desviación estándar

En el anexo 7 figura la ficha técnica del tapón auditivo 3M 1271 de donde se obtienen los datos para determinar, por el método de bandas de octava, la estimación de la atenuación de ruido por puesto de trabajo, como se muestra en las tablas 46, 47 y 48.

Tabla 46

Atenuación de protectores auditivos por método de bandas de octava, del puesto de trabajo “jefe de refinería”.

Frecuencia		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
L _{eq} por bandas de octava		73.9 dB	83.2 dB	82.5 dB	80 dB	78.2 dB	74.8 dB	66.9 dB
L _{eq}		87.8 dB						
Tapón auditivo 3M 1271	Valor medio de atenuación sonora	30.2 dB	30.7 dB	31.4 dB	31.5 dB	35.2 dB	37.8 dB	43.9 dB
	Desviación estándar	3.8 dB	3.3 dB	3.1 dB	4 dB	3.4 dB	4.7 dB	4.5 dB
	APVf	24.0 dB	25.3 dB	26.3 dB	24.9 dB	29.6 dB	30.1 dB	36.5 dB
L _{eq} por bandas de octava, atenuado por uso de la protección auditiva		49.9 dB	57.9 dB	56.2 dB	55.1 dB	48.6 dB	44.7 dB	30.4 dB
L _{eq} atenuado por uso de la protección auditiva		61.9 dB						

Leq = Nivel sonoro equivalente continuo.

Tabla 47

Atenuación de protectores auditivos por método de bandas de octava del puesto de trabajo “fundidor”.

Frecuencia		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
L _{eq} por bandas de octava		86.3 dB	93.7 dB	94 dB	89 dB	83.7 dB	83.1 dB	82.8 dB
L _{eq}		98.4 dB						
Tapón auditivo 3M 1271	Valor medio de atenuación sonora	30.2 dB	30.7 dB	31.4 dB	31.5 dB	35.2 dB	37.8 dB	43.9 dB
	Desviación estándar	3.8 dB	3.3 dB	3.1 dB	4 dB	3.4 dB	4.7 dB	4.5 dB
	APVf	24.0 dB	25.3 dB	26.3 dB	24.9 dB	29.6 dB	30.1 dB	36.5 dB
L _{eq} por bandas de octava, atenuado por uso de la protección auditiva		62.3 dB	68.4 dB	67.7 dB	64.1 dB	54.1 dB	53.0 dB	46.3 dB
L _{eq} atenuado por uso de la protección auditiva		72.4 dB						

Leq = Nivel sonoro equivalente continuo.

Tabla 48

Atenuación de protectores auditivos por método de bandas de octava del puesto de trabajo de “ayudante fundidor”.

Frecuencia		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
L _{eq} por bandas de octava		79.1 dB	86.3 dB	88.3 dB	88.1 dB	86.3 dB	86.6 dB	86.4 dB
L _{eq}		94.9 dB						
Tapón auditivo 3M 1271	Valor medio de atenuación sonora	30.2 dB	30.7 dB	31.4 dB	31.5 dB	35.2 dB	37.8 dB	43.9 dB
	Desviación estándar	3.8 dB	3.3 dB	3.1 dB	4 dB	3.4 dB	4.7 dB	4.5 dB
	APVf	24.0 dB	25.3 dB	26.3 dB	24.9 dB	29.6 dB	30.1 dB	36.5 dB
L _{eq} por bandas de octava, atenuado por uso de la protección auditiva		55.1 dB	61.0 dB	62.0 dB	63.2 dB	56.7 dB	56.5 dB	49.9 dB
L _{eq} atenuado por uso de la protección auditiva		67.9 dB						

Leq = Nivel sonoro equivalente continuo.

Según el método de las bandas de octava, al usar los tapones auditivos 3M 1271, el jefe de refinería está expuesto a un Leq igual a 61.9 dB, el fundidor a un Leq igual a 72.4 dB y el ayudante fundidor a un Leq igual a 67.9 dB; todos los resultados obtenidos están por debajo de 83.2 dB, límite máximo permisible para un tiempo de exposición de 12 horas, es decir, según la evaluación cualitativa, los trabajadores están expuestos a ruido a un nivel de riesgo “bajo”, al usar los protectores auditivos 3M 1271.

Si bien es cierto los resultados obtenidos son satisfactorios, hace falta complementar el análisis con una evaluación más precisa, ya que el método de banda de octava, siendo un método teórico, no considera variables propias del personal a evaluar. Por ello, mediante el uso del equipo Earfit de 3M se realizó la medición de la atenuación real de ruido que ofrece el protector auditivo 3M 1271 en los trabajadores de Refinería; los resultados pueden observarse en las figuras 36, 37, 38, 39 y 40.



Figura 36. Atenuación de sonido obtenida con uso del tapón auditivo 3M 1271 en el jefe de refinería 1.

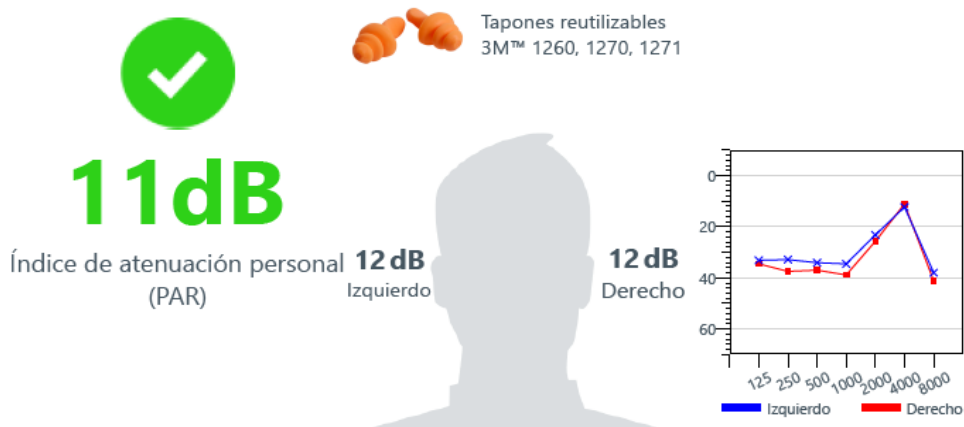


Figura 37. Atenuación de sonido obtenida con uso del tapón auditivo 3M 1271 en el jefe de refinería 2.

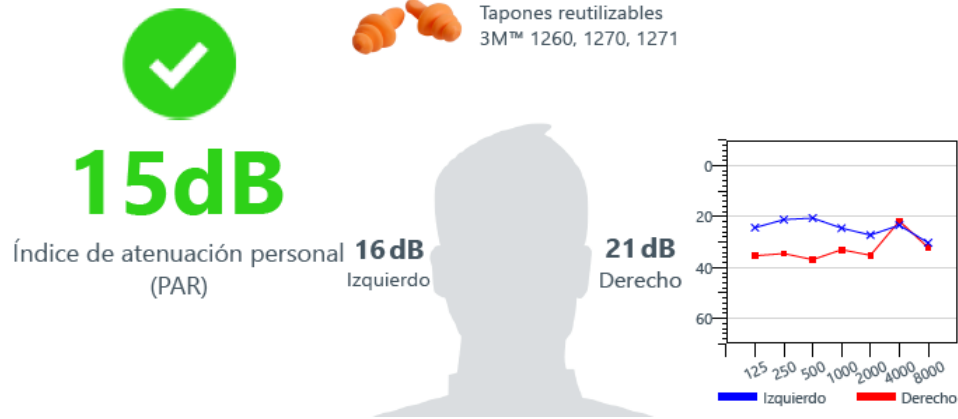


Figura 38. Atenuación de sonido obtenida con uso del tapón auditivo 3M 1271 en el fundidor.

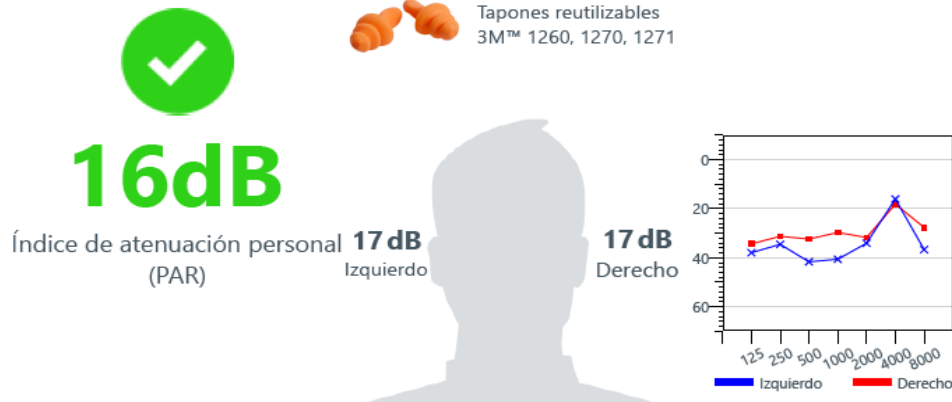


Figura 39. Atenuación de sonido obtenida con uso del tapón auditivo 3M 1271 en el ayudante fundidor 1.



Figura 40. Atenuación de sonido obtenida con uso del tapón auditivo 3M 1271 en el ayudante fundidor 2.

Según se observa en los resultados obtenidos con el Earfit 3M, podemos concluir que el protector auditivo 3M 1271 no atenúa el ruido de igual manera en todos los trabajadores de Refinería y que el mayor rendimiento de atenuación se presenta en las frecuencias

agudas. Como parte del análisis, para el tapón auditivo 3M 1271 se opta por escoger como nivel de atenuación de 11 dB para el puesto de trabajo “jefe de refinería” y 15 dB para los puestos de trabajo “fundidor” y “ayudante fundidor”.

Haciendo una comparación con los resultados obtenidos en la tabla 44, en la tabla 49 se observa el nivel de riesgo por la exposición a ruido en cada puesto de trabajo de Refinería al usar el tapón auditivo 3M 1271, para ello se selecciona los resultados obtenidos con el Earfit 3M por ser más preventivos que los obtenidos con el método de las bandas de octava.

Tabla 49

Nivel de ruido que están expuestos los trabajadores en Refinería usando el tapón auditivo 3M 1271

Puesto de trabajo	Leq	Equipo de protección auditiva			Leq usando protector auditivo	Dosis usando protector auditivo	LMP ₁₂
		Tipo	NRR	NRR real			
Jefe de refinería	87.8 dB(A)	Tapón auditivo 3M 1271		11 dB	76.8 dB(A)	22.8%	
Fundidor	98.4 dB(A)		25 dB	15 dB	83.4 dB(A)	105%	83.2 dB(A)
Ayudante fundidor	94.9 dB(A)			15 dB	79.9 dB(A)	46.6%	

LMP₁₂ = Límite máximo permisible para un tiempo de exposición de 12 horas.

Leq = Nivel sonoro equivalente continuo.

Según se observa en la tabla 49 el nivel de ruido promedio que está expuesto el jefe de refinería y el ayudante fundidor usando el tapón auditivo no excede el límite máximo permisible para un tiempo de exposición de 12 horas, es decir, está expuesto a ruido a un nivel de riesgo bajo (dosis < 50%), por el contrario, el fundidor usando el tapón auditivo está expuesto a un nivel de ruido promedio sobre el límite máximo permisible, es decir, está expuesto a ruido a un nivel de de riesgo alto (dosis > 100%).

Por lo general el jefe de refinería se encuentra en su oficina, siendo este un ambiente independiente de la zona de fundición, por ello, como medida de control inmediata para mitigar el riesgo por exposición a ruido se implementó orejeras tipo copa 3M Peltor X4P51E al fundidor y ayudante fundidor.

Se evaluó la atenuación real que ofrecen las orejeras implementadas con el Earfit 3M obteniéndose los resultados que se observan en las figuras 41, 42 y 43.



Figura 41. Atenuación de sonido obtenida con uso de la orejera 3M Peltor X4P51E en el fundidor.



Figura 42. Atenuación de sonido obtenida con uso de la orejera 3M Peltor X4P51E en el ayudante fundidor 1.



Figura 43. Atenuación de sonido obtenida con uso de la orejera 3M Peltor X4P51E en el ayudante fundidor 2.

De los resultados obtenidos con el Earfit 3M, podemos concluir que el protector auditivo 3M Peltor X4P51E presenta mayor rendimiento de atenuación en las frecuencias graves. Como parte del análisis, para la orejera evaluada se opta por estandarizar su nivel de atenuación igual a 25 dB.

Haciendo una comparación con los resultados obtenidos en la tabla 44, se determina el nivel de riesgo del fundidor y ayudante fundidor por exposición a ruido al usar la orejera 3M Peltor X4P51E, según se observa en la tabla 50.

Tabla 50

Nivel de ruido que está expuesto el refinador usando la orejera 3M Peltor X4P51E

Puesto de trabajo	Leq	Equipo de protección auditiva			Leq usando protector auditivo	Dosis usando protector auditivo	LMP ₁₂
		Tipo	NRR	NRR real			
Fundidor	98.4 dB(A)	Orejera 3M Peltor X4P51E	25 dB(A)	25 dB(A)	73.4 dB(A)	10.4%	83.2 dB(A)
Ayudante fundidor	94.9 dB(A)				69.9 dB(A)	4.6%	

LMP₁₂ = Límite máximo permisible para un tiempo de exposición de 12 horas.

Leq = Nivel sonoro equivalente continuo.

Según se observa en la tabla 50 el nivel de ruido promedio que está expuesto el fundidor y el ayudante del fundidor usando la orejera 3M Peltor X4P51E no excede el límite máximo permisible para un tiempo de exposición de 12 horas, es decir, están expuestos a ruido a un nivel de riesgo bajo (dosis < 50%)

Tras realizar la evaluación de ruido se analizó el historial médico de los últimos 3 años de los trabajadores en Refinería y en las audiometrías se observa que todos se encuentran en el rango normal de audición, sin presentarse modificaciones, por lo que es aceptable implementar como medida preventiva inicial un mejor equipo de protección auditiva, aunque este sea la última opción según la jerarquía de controles.

5.2. Estrés térmico

Realizando un reconocimiento en el entorno de trabajo de la refinería, se concluye que las fuentes de calor representativas son los hornos de fundición, de re-fusión y secado cuando están en funcionamiento. Los hornos de fundición y re-fusión alcanzan temperaturas entre 1200°C y 1300°C en el interior del crisol (punto de fusión oro-plata) y en el interior de los hornos de secado se alcanza una temperatura promedio de 300°C.

En las condiciones iniciales de operación, se realizó el monitoreo de estrés térmico en Refinería, obteniéndose los resultados mostrados en la tabla 51 mediante los valores obtenidos en la tabla 52.

Tabla 51

Resultados del monitoreo de estrés térmico realizado al personal de Refinería en febrero 2018, según metodología TGBH.

Puesto de trabajo	Condición	Gasto metabólico	Categoría de intensidad de trabajo	Ciclo de trabajo	TGBH	Valor de acción	Valor límite	Nivel de riesgo
Fundidor	Aclimatado	287 Kcal/h	Moderado	75% a 100%	27.7 °C	25°C	28°C	Medio
Ayudante fundidor	Aclimatado	235 Kcal/h	Moderado	75% a 100%	27.7 °C	25°C	28°C	Medio
Jefe de Refinería	Aclimatado	162 kcal/h	Ligero	75% a 100%	24.2°C	28°C	31°C	Bajo

Tabla 52

Parámetros usados para estimación del riesgo por metodología TGBH a la exposición a estrés térmico, según tabla 51.

Puesto de trabajo	Fundidor	Ayudante fundidor		Jefe de refinería	
Zona de trabajo	Fundición	Fundición		Oficina	Fundición
Parámetro	Valores obtenidos				
Temperatura de Aire Seco	31.3 °C	31.3 °C		25.9	31.3 °C
Temperatura de Bulbo Húmedo	23.0 °C	23.0 °C		20.1	23.0 °C
Temperatura Calor Radiante/globo	36.6 °C	36.6 °C		26.1	36.6 °C
Índice TGBH antes de corrección*	27.2 °C	27.2 °C		21.9	27.2 °C
Índice TGBH Final	27.7 °C	27.7 °C		24.2 °C	
Gasto metabólico promedio de actividad	3.2 kcal/min	2.43 kcal/min		1.52 kcal/min	
Gasto metabólico basal	1 kcal/min	1 kcal/min		1 kcal/min	
Gasto metabólico total	4.2 kcal/min 252 kcal/h	3.43 kcal/min	206 kcal/h	2.52 kcal/min	151.2
Peso promedio del trabajador	80 kg	80 kg		75 kg	
Factor de corrección	1.14	1.14		1.07	
Gasto metabólico final	287 kcal/h	235 kcal/h		162 kcal/h	
Categoría de intensidad de trabajo	Moderado	Moderado		Ligero	

* Se aplica un factor de corrección por el tipo de vestimenta que usan los trabajadores en Refinería

Según se observa en la tabla 51, el jefe de refinería está expuesto a un nivel de riesgo bajo por exposición a estrés térmico; por el contrario, el fundidor y ayudante fundidor están expuestos a un TGBH cerca al valor límite, por lo que es necesario complementar la evaluación de estrés térmico calculando el índice de sobrecarga calórica, según se observa en la tabla 53 mediante los valores mencionados en la tabla 54, para definir los controles a implementar.

Tabla 53

Resultados del monitoreo de estrés térmico realizado al refinador en febrero 2018, según metodología ISC.

Puesto de trabajo	Gasto metabólico	Categoría de intensidad de trabajo	ISC*	Nivel de riesgo
Fundidor	287 Kcal/h	Moderado	137%	Alto
Ayudante fundidor	235 Kcal/h	Moderado	116%	Alto

* ISC = Índice de sobrecarga calórica

Tabla 54

Parámetros usados para estimación del riesgo por exposición a estrés térmico por metodología ISC.

Puesto de trabajo	Fundidor	Ayudante refinador
Parámetro	Valores obtenidos	
Temperatura de Aire Seco	31.3 °C	31.3 °C
Temperatura de Bulbo Húmedo	23.0 °C	23.0 °C
Temperatura Calor Radiante/globo	36.6 °C	36.6 °C
Gasto metabólico total	252 kcal/h	206 kcal/h
Peso promedio del trabajador	80 kg	80 kg
Factor de corrección	1.14	1.14
Gasto metabólico final	287 kcal/h	235 kcal/h
Velocidad del aire	0.2 m/s	0.2 m/s
Humedad relativa	42.8%	42.8%
Calor radiante	72.97 kcal/h	72.97 kcal/h
Calor por conducción - convección	-16.43 kcal/h	-16.43 kcal/h
Evaporación requerida	343.54 kcal/h	291.54 kcal/h
Evaporación máxima	250.95 kcal/h	250.95 kcal/h

Según se observa en la tabla 53, el índice de sobrecarga calórica, correspondiente al fundidor y ayudante fundidor, sobrepasa el 100%, considerándose una condición de trabajo con gran riesgo a la salud, pues a partir de estos valores la temperatura interna se incrementará porque no existe equilibrio térmico. (Mondelo, P., Gregori, E., Comas, S., Castejón, E., & Bartolomé, E. (1999) Ergonomía 2 Confort y estrés térmico. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya), por ello, como medida de control inmediata para mitigar el riesgo por exposición a estrés térmico se implementaron tiempos de recuperación en un ambiente categorizado de confort, cumpliendo con estas

características la oficina donde se realizan trabajos administrativos, ya que mantiene las condiciones ambientales que se presentan en la tabla 55.

Tabla 55

Condiciones ambientales en la oficina que se encuentra al interior de la Refinería.

Parámetros ambientales	Valores obtenidos
Temperatura de Aire Seco	25.9 °C
Temperatura de Bulbo Húmedo	20.1 °C
Temperatura Calor Radiante/globo	26.1 °C
Velocidad del aire	0.17 m/s
Humedad relativa	59.1 %

Se determina que el tiempo máximo de exposición en las zonas de fundición y re-fusión sea de 40 minutos, tras ello deben permanecer un tiempo de recuperación en la oficina igual a 15 minutos, en donde el personal se rehidratará mediante bebidas con sales, con ello se disminuye el riesgo a la salud del fundidor y ayudante fundidor por exposición a estrés térmico.

Tras realizar la evaluación de estrés térmico se analizó el historial de incidentes relacionados a golpes de calor o deshidratación, sin presentarse algún caso, pues los trabajadores ya venían ejecutando los tiempos aleatorios para rehidratarse, por lo que es aceptable implementar como medida preventiva inicial los tiempos de recuperación en horarios establecidos y acompañado de una adecuada hidratación.

5.3. Gases

Tras observar el proceso y realizar una inspección en el entorno de trabajo de la refinería, se concluye que las fuentes representativas de gases son los hornos, pues durante su operación ocurre la reacción química entre precipitado y fundentes, así mismo, se presenta la generación de gases por la combustión del petróleo; y la estación con ácido nítrico, ya que durante el lavado del doré, se genera NO y NO₂. Vale resaltar que los hornos y la estación con ácido cuentan con un sistema de extracción localizada.

En las condiciones iniciales de operación, se realizó el monitoreo de gases generados en el proceso de fundición, obteniéndose los resultados mostrados en la tabla 56, 57 y 58.

Tabla 56

Resultados del monitoreo de gases realizado al fundidor en enero 2018.

Puesto de trabajo	Agente químico	Concentración promedio	TLV TWA	Categoría OSHA IRSST*	TLV TWA corregido	Índice de exposición	Nivel de riesgo
Fundidor	CO	0 ppm	25 ppm	IV	16.7 ppm	0 %	Bajo
	CO2	818 ppm	5000 ppm	I-c	5000 ppm	14.4 %	Bajo
	NO	0 ppm	25 ppm	II	16.7 ppm	0 %	Bajo
	NO2	0 ppm	3 ppm	IV	2 ppm	0 %	Bajo

* IRSST (2015) Guide for the adjustment of permissible exposure values for unusual work schedules.

Según se observa en la tabla 56 el fundidor está expuesto a los gases que se generan durante la fundición de metales a un nivel de riesgo bajo, es decir, a un índice de exposición por debajo del 50%. Vale mencionar que las concentraciones pico de los cuatro gases analizados no sobrepasan en ningún momento el TLV STEL y el TLV C.

Tabla 57

Resultados del monitoreo de gases realizado al ayudante fundidor en enero 2018.

Puesto de trabajo	Agente químico	Concentración promedio	TLV TWA	Categoría OSHA IRSST*	TLV TWA corregido	Índice de exposición	Nivel de riesgo
Ayudante fundidor	CO	0 ppm	25 ppm	IV	16.7 ppm	0 %	Bajo
	CO2	683 ppm	5000 ppm	I-c	5000 ppm	13.7 %	Bajo
	NO	0.2 ppm	25 ppm	II	16.7 ppm	1.2 %	Bajo
	NO2	0.1 ppm	3 ppm	IV	2 ppm	5 %	Bajo

* IRSST (2015) Guide for the adjustment of permissible exposure values for unusual work schedules.

Según se observa en la tabla 57 el ayudante fundidor está expuesto a los gases, que se generan durante la fundición de metales y el lavado de doré con ácido, a un nivel de riesgo bajo, es decir, a un índice de exposición por debajo del 50%. Vale mencionar que las concentraciones pico de los cuatro gases analizados no sobrepasan en ningún momento el TLV STEL y el TLV C.

Tabla 58

Resultados del monitoreo de gases realizado al jefe de refinería en enero 2018.

Puesto de trabajo	Agente químico	Concentración promedio	TLV TWA	Categoría OSHA IRSST*	TLV TWA corregido	Índice de exposición	Nivel de riesgo
Jefe refinería	CO	0 ppm	25 ppm	IV	16.7 ppm	0 %	Bajo
	CO2	0 ppm	5000 ppm	I-c	5000 ppm	0 %	Bajo
	NO	0 ppm	25 ppm	II	16.7 ppm	0 %	Bajo
	NO2	0 ppm	3 ppm	IV	2 ppm	0 %	Bajo

* IRSST (2015) Guide for the adjustment of permissible exposure values for unusual work schedules.

Según se observa en la tabla 58 el jefe de refinería está expuesto a los gases que se generan durante la fundición de metales a un nivel de riesgo bajo, es decir, a un índice de exposición por debajo del 50%. Vale mencionar que las concentraciones pico de los cuatro gases analizados no sobrepasan en ningún momento el TLV STEL y el TLV C.

Estos resultados manifiestan que el sistema de extracción localizada implementado en los hornos de fundición funciona adecuadamente para el control de gases, por ello, como medida de control inmediata se indica continuar con su mantenimiento preventivo, y correctivo cuando aplique, además, de cumplir lo indicado en los procedimientos operativos para ejecutar las tareas correctamente y no sobreexponerse.

5.4. Humos metálicos

Tras observar el proceso y realizar una inspección en el entorno de trabajo de la refinería, se concluye que las fuentes de humos metálicos son los hornos de fundición y re-fusión durante su operación, por la reacción química que ocurre entre el precipitado y los fundentes, y las altas temperaturas. Vale resaltar que todos los hornos cuentan con un sistema de extracción localizada.

En las condiciones iniciales de operación, se realizó el monitoreo y evaluación de humos metálicos generados en el proceso de fundición, mediante el método analítico NIOSH 7300, obteniéndose los resultados mostrados en la tabla 59 y 60.

Tabla 59

Resultados del monitoreo de metales realizado al fundidor en el 2017.

Puesto de trabajo	Agente químico	Concentración promedio	TLV TWA	Categoría OSHA IRSST*	TLV TWA corregido+	Índice de exposición	Nivel de riesgo
Fundidor	Aluminio	0.0438 mg/m ³	5 mg/m ³	I	5 mg/m ³	0.87 %	Bajo
	Antimonio	0 mg/m ³	0.5 mg/m ³	III	0.357 mg/m ³	0 %	Bajo
	Arsénico	0.0376 mg/m ³	0.01 mg/m ³	III	0.0071 mg/m ³	529.6 %	Alto
	Bario	0.0006 mg/m ³	0.5 mg/m ³	II	0.333 mg/m ³	0.2 %	Bajo
	Berilio	0 mg/m ³	0.002 mg/m ³	III	0.001 mg/m ³	0 %	Bajo
	Cadmio	0.0256 mg/m ³	0.01 mg/m ³	III	0.0071 mg/m ³	360.6 %	Alto
	Calcio	0.2265 mg/m ³	2 mg/m ³	I	2 mg/m ³	11.3 %	Bajo
	Cobalto	0 mg/m ³	0.02 mg/m ³	III	0.014 mg/m ³	0 %	Bajo
	Cobre	0.0409 mg/m ³	0.2 mg/m ³	II	0.133 mg/m ³	30.8 %	Bajo
	Cromo	0.0013 mg/m ³	0.5 mg/m ³	III	0.357 mg/m ³	0.4 %	Bajo
	Estaño	0.0002 mg/m ³	2 mg/m ³	III	1.429 mg/m ³	0.01 %	Bajo
	Fósforo	0.0084 mg/m ³	0.1 mg/m ³	I	0.1 mg/m ³	8.4 %	Bajo
	Hierro	0.0591 mg/m ³	5 mg/m ³	III	3.571 mg/m ³	1.7 %	Bajo
	Manganeso	0 mg/m ³	0.2 mg/m ³	IV	0.133 mg/m ³	0 %	Bajo
	Níquel	0.0011 mg/m ³	1.5 mg/m ³	III	1.071 mg/m ³	0.1 %	Bajo
	Plata	0.3528 mg/m ³	0.1 mg/m ³	III	0.071 mg/m ³	496.9 %	Alto
	Plomo	0.1273 mg/m ³	0.05 mg/m ³	III	0.0355 mg/m ³	358.6 %	Alto
	Selenio	0.003 mg/m ³	0.2 mg/m ³	IV	0.133 mg/m ³	2.25 %	Bajo
	Talio	0 mg/m ³	0.1 mg/m ³	III	0.071 mg/m ³	0 %	Bajo
	Titanio	0 mg/m ³	10 mg/m ³	I	10 mg/m ³	0 %	Bajo
Vanadio	0.0008 mg/m ³	0.05 mg/m ³	I	0.05 mg/m ³	1.6 %	Bajo	
Zinc	0.4739 mg/m ³	2 mg/m ³	II	1.333 mg/m ³	35.6 %	Bajo	

* IRSST (2015) Guide for the adjustment of permissible exposure values for unusual work schedules.

+ Según se indica en el punto 2.3. los TLV-TWA aplican para jornadas laborales de 8 horas por día y 5 días a la semana, como el régimen laboral del personal que labora en la Refinería es 28x14 (es decir por cada 28 días de trabajo les corresponde 14 días de descanso) y 12 horas de trabajo por día, se debe aplicar un factor de corrección a los TLV-TWA.

Según se observa en la tabla 59 el fundidor está expuesto a arsénico, cadmio, plata y plomo a un nivel de riesgo alto, es decir, a un índice de exposición superior a 100%.

Tabla 60

Resultados del monitoreo de metales realizado al ayudante fundidor en el 2017.

Puesto de trabajo	Agente químico	Concentración promedio	TLV TWA	Categoría OSHA IRSST*	TLV TWA corregido+	Índice de exposición	Nivel de riesgo
Ayudante fundidor	Aluminio	0.0121 mg/m ³	5 mg/m ³	I	5 mg/m ³	0.24 %	Bajo
	Antimonio	0 mg/m ³	0.5 mg/m ³	III	0.357 mg/m ³	0 %	Bajo
	Arsénico	0.0281 mg/m ³	0.01 mg/m ³	III	0.0071 mg/m ³	395.8 %	Alto
	Bario	0 mg/m ³	0.5 mg/m ³	II	0.333 mg/m ³	0 %	Bajo
	Berilio	0 mg/m ³	0.002 mg/m ³	III	0.001 mg/m ³	0 %	Bajo
	Cadmio	0.0201 mg/m ³	0.01 mg/m ³	III	0.0071 mg/m ³	283.1 %	Alto
	Calcio	0.0865 mg/m ³	2 mg/m ³	I	2 mg/m ³	4.3 %	Bajo
	Cobalto	0 mg/m ³	0.02 mg/m ³	III	0.014 mg/m ³	0 %	Bajo
	Cobre	0.036 mg/m ³	0.2 mg/m ³	II	0.133 mg/m ³	27.1 %	Bajo
	Cromo	0.0007 mg/m ³	0.5 mg/m ³	III	0.357 mg/m ³	0.2 %	Bajo
	Estaño	0.0006 mg/m ³	2 mg/m ³	III	1.429 mg/m ³	0.04%	Bajo
	Fósforo	0.0042 mg/m ³	0.1 mg/m ³	I	0.1 mg/m ³	4.2%	Bajo
	Hierro	0.0266 mg/m ³	5 mg/m ³	III	3.571 mg/m ³	0.7 %	Bajo
	Manganeso	0 mg/m ³	0.2 mg/m ³	IV	0.133 mg/m ³	0 %	Bajo
	Níquel	0.0002 mg/m ³	1.5 mg/m ³	III	1.071 mg/m ³	0.02 %	Bajo
	Plata	0.1218 mg/m ³	0.1 mg/m ³	III	0.071 mg/m ³	171.5 %	Alto
	Plomo	0.0616 mg/m ³	0.05 mg/m ³	III	0.0355 mg/m ³	173.5 %	Alto
	Selenio	0 mg/m ³	0.2 mg/m ³	IV	0.133 mg/m ³	0 %	Bajo
	Talio	0 mg/m ³	0.1 mg/m ³	III	0.071 mg/m ³	0 %	Bajo
	Titanio	0 mg/m ³	10 mg/m ³	I	10 mg/m ³	0 %	Bajo
Vanadio	0 mg/m ³	0.05 mg/m ³	I	0.05 mg/m ³	0 %	Bajo	
Zinc	0.1106 mg/m ³	2 mg/m ³	II	1.333 mg/m ³	8.3 %	Bajo	

* IRSST (2015) Guide for the adjustment of permissible exposure values for unusual work schedules.

+ Según se indica en el punto 2.3. los TLV-TWA aplican para jornadas laborales de 8 horas por día y 5 días a la semana, como el régimen laboral del personal que labora en la Refinería es 28x14 (es decir por cada 28 días de trabajo les corresponde 14 días de descanso) y 12 horas de trabajo por día, se debe aplicar un factor de corrección a los TLV-TWA.

Según se observa en la tabla 60 el ayudante fundidor está expuesto a arsénico, cadmio, plata y plomo a un nivel de riesgo alto, es decir, a un índice de exposición superior a 100%.

Estos resultados evidencian que la eficiencia del sistema de extracción localizada implementado en los hornos de fundición y re fusión no es adecuada para el control de humos metálicos, por ello, como medida de control inmediata se indica al personal de refinería continuar con el uso constante y adecuado del equipo de protección respiratoria (que consta del respirador media cara más el filtro P100) asegurándose de usar la talla adecuada y lograr el ajuste adecuado con la cara, según lo indicado en el programa de protección respiratoria; ya que, ante un buen uso, el respirador ofrece un factor de protección de 10 veces el valor límite permisible, como se observa en la tabla 61 y 62.

Tabla 61

Índice de exposición a humos metálicos del fundidor, usando protección respiratoria (respirador 3M 7502+ filtro P100)

Puesto de trabajo	Agente químico	Índice de exposición	Protección respiratoria	Factor de protección	Índice de exposición usando EPP	Nivel de riesgo
Fundidor	Aluminio	0.87 %	Respirador 3M modelo 7502 + filtro 3M P100 modelo 2097	10 x valor límite permisible	0.1 %	Bajo
	Antimonio	0 %			0 %	Bajo
	Arsénico	529.6 %			53 %	Medio
	Bario	0.2 %			0 %	Bajo
	Berilio	0 %			0 %	Bajo
	Cadmio	360.6 %			36 %	Bajo
	Calcio	11.3 %			1.1 %	Bajo
	Cobalto	0 %			0 %	Bajo
	Cobre	30.8 %			3.1 %	Bajo
	Cromo	0.4 %			0 %	Bajo
	Estaño	0.01 %			0 %	Bajo
	Fósforo	8.4 %			0.8 %	Bajo
	Hierro	1.7 %			0.2 %	Bajo
	Manganeso	0 %			0 %	Bajo
	Níquel	0.1 %			0 %	Bajo
	Plata	496.9 %			49.7 %	Bajo
	Plomo	358.6 %			35.9 %	Bajo
	Selenio	2.25 %			0.2 %	Bajo
	Talio	0 %			0 %	Bajo
	Titanio	0 %			0 %	Bajo
Vanadio	1.6 %	0.2 %	Bajo			
Zinc	35.6 %	3.6 %	Bajo			

Tabla 62

Índice de exposición a humos metálicos del ayudante fundidor, usando protección respiratoria (respirador + filtro P100)

Puesto de trabajo	Agente químico	Índice de exposición	Protección respiratoria	Factor de protección	Índice de exposición usando EPP	Nivel de riesgo
Ayudante fundidor	Aluminio	0.24 %	Respirador 3M modelo 7502 + filtro 3M P100 modelo 2097	10 x valor límite permisible	0 %	Bajo
	Antimonio	0 %			0 %	Bajo
	Arsénico	395.8 %			39.6 %	Bajo
	Bario	0 %			0 %	Bajo
	Berilio	0 %			0 %	Bajo
	Cadmio	283.1 %			28.3 %	Bajo
	Calcio	4.3 %			0.4 %	Bajo
	Cobalto	0 %			0%	Bajo
	Cobre	27.1 %			2.7 %	Bajo
	Cromo	0.2 %			0 %	Bajo
	Estaño	0.04%			0 %	Bajo
	Fósforo	4.2%			0.4 %	Bajo
	Hierro	0.7 %			0.1 %	Bajo
	Manganeso	0 %			0 %	Bajo
	Níquel	0.02 %			0 %	Bajo
	Plata	171.5 %			17.1 %	Bajo
	Plomo	173.5 %			17.3 %	Bajo
	Selenio	0 %			0 %	Bajo
	Talio	0 %			0 %	Bajo
	Titanio	0 %			0 %	Bajo
Vanadio	0 %	0 %	Bajo			
Zinc	8.3 %	0.8 %	Bajo			

Tres de los metales que están expuestos el fundidor y el ayudante fundidor, cuyo índice de exposición sobrepasa el 100%, son categorizados por la IARC (International Agency for Research on Cancer) como agentes cancerígenos:

- Arsénico, agente cancerígeno del grupo 1.
- Cadmio, agente cancerígeno del grupo 1.
- Plomo inorgánico, agente cancerígeno del grupo 2A.

Como el nivel de severidad es alto al estar expuesto a estos agentes químicos no se recomienda a largo plazo solo contar con barreras blandas, que según la jerarquía de controles son los equipos de protección personal y controles administrativos.

Es en este contexto, evidenciado tras los monitoreos ocupacionales, es que se propone implementar un cambio en el proceso y mejoras en el sistema de extracción localizada, así mismo, realizar con mayor frecuencia los monitoreos biológicos de arsénico, cadmio y plomo, para determinar la concentración de estos metales en la sangre u orina, según corresponda, de cada trabajador, y así tomar medidas inmediatas si algún caso sobrepasa el límite de exposición biológica durante el periodo de mejora y modificación en refinería.

CAPÍTULO VI. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA INICIAL

El objetivo del proceso de fundición, y posterior re-fusión, es obtener la barra de doré Au – Ag (oro – plata), por lo que es necesario minimizar las impurezas, es decir el material no valioso, en el precipitado o bullón; para ello el precipitado se funde junto a fundentes en los hornos basculantes y el bullón, en el horno de re-fusión.

Por las altas temperaturas que se generan en el procesamiento de minerales de oro, y las reacciones químicas entre el precipitado y fundente, es que se generan humos metálicos. Los humos metálicos son pequeñas partículas que se forman cuando el metal vaporizado se condensa rápidamente en el aire manteniéndose en suspensión, estas partículas son típicamente muy pequeñas para ser vistas por el ojo humano, a menudo son tan pequeñas como un micrómetro (aproximadamente un quinto del diámetro de un cabello humano) pero colectivamente a menudo forman una nube visible; aún si el humo no puede ser visto, sus partículas pueden estar presentes. Los efectos asociados a la salud por la exposición a humos metálicos dependen del metal específico presente en el humo; estos van desde casos de enfermedades de corto plazo, como la “fiebre del humo metálico”, a enfermedades de más largo plazo que involucra desórdenes neurológicos y/o daño pulmonar, entre otros.

Siendo la fundición de metales que se realiza en los hornos la principal fuente de generación de humos metálicos es que, para fines de esta tesis, se realiza un análisis cualitativo y cuantitativo de los sistemas de extracción localizada en Refinería para evidenciar si el control de ingeniería implementado funciona adecuadamente.

El análisis cualitativo consiste en una evaluación del diseño inicial que presenta el sistema de extracción localizada y el análisis cuantitativo consiste en la medición con equipos (anemómetro y tubo de pitot) para determinar el caudal que genera el ventilador, la velocidad y presión interna en los conductos del sistema de extracción, para corroborar si cumplen con las características mínimas de control de agentes químicos que recomienda la ACGIH.

6.1. Sistema de extracción localizada de los hornos de fundición

El sistema de extracción localizada de los hornos de fundición consta de dos campanas, correspondiente a los dos hornos basculantes donde se funde el precipitado con los fundentes; además cuenta con ductos de 16” y 22”, un lavador de gases tipo venturi y un ventilador cuyas características técnicas se mencionan en la tabla 63.

Tabla 63

Características nominales del ventilador del sistema de extracción localizada de los hornos basculantes

Tipo	Centrífugo
Caudal	10000 cfm
Pérdida total	42" H ₂ O a nivel del mar 36" H ₂ O a 1300 msnm y 250°C
Rodete	Con paletas inclinadas hacia atrás
Transmisión	Fajas y poleas
Velocidad de rotación del rodete	3540 RPM
Potencia requerida	47 RPM
Potencia del motor	60 HP
Velocidad del motor	3560 RPM
Tensión	220 V / 380 V / 440 V – Trifásico – 60 Hz
Material de la carcasa	Plancha de acero de 4.5 mm
Material del rodete	Acero especial tipo chronit 400
Año de implementación	2008
Altura de operación	1250 m.s.n.m.

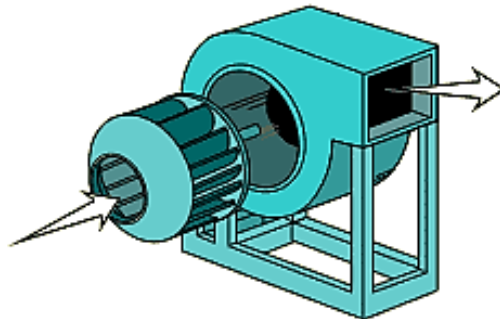


Figura 44. Ventilador centrífugo. Recuperado de <http://www.epa.gov/eogapti1/module5/fans/types/types.html>

6.1.1. Evaluación cualitativa del sistema de extracción localizada inicial de los hornos de fundición

El tiempo de funcionamiento del sistema de extracción en los hornos de fundición varía entre 3 y 4 horas, ya que es el tiempo que dura la fundición del precipitado con los fundentes en los hornos basculantes.

Además, como dentro de los hornos se alcanzan temperaturas de 1200°C, ya que tiene que ser mayor a la temperatura de fusión del oro y demás metales (Temperatura de fusión del oro es de 1063°C), ocasiona que la temperatura promedio del aire en los ductos sea de 300°C (este dato se obtuvo mediante el uso del equipo multifunción Testo 435-4 en diferentes puntos de monitoreo en los ductos y campanas).

Como se indica en la figura 33, ya que la densidad del aire que ingresa por el sistema de extracción es diferente al del aire estándar (densidad de aire seco a 21°C y a nivel de mar es igual a 1.2kg/m³) se aplica un factor de corrección por densidad de aire (Fd1) a ciertos parámetros a calcular en la evaluación del diseño. Así mismo, tras pasar el ventilador, el aire en la salida de lavador de gases alcanza una temperatura igual a 30°C, lo que conlleva a que el factor de corrección por densidad de aire se modifique (Fd2), esto se detalla en la tabla 64.

Tabla 64

Factor de corrección por densidad de aire aplicado en la evaluación de diseño del sistema de extracción localizada inicial de los hornos de fundición.

Código	Características	Altitud de operación	Temperatura de operación	Factor de corrección por densidad (Fd)
Fd1	Medición antes del lavador de gases	1250 msnm	300 °C	0.45
Fd2	Medición tras el lavador de gases	1250 msnm	30 °C	0.86

A continuación, se inicia con la evaluación cualitativa del sistema de extracción, por ello en la figura 45 se muestran los segmentos a evaluar diferenciados entre sí por letras, así mismo, en la tabla 65 y 66 se muestran los cálculos para determinar el caudal y presión necesarios en el ventilador para evacuar los humos metálicos.

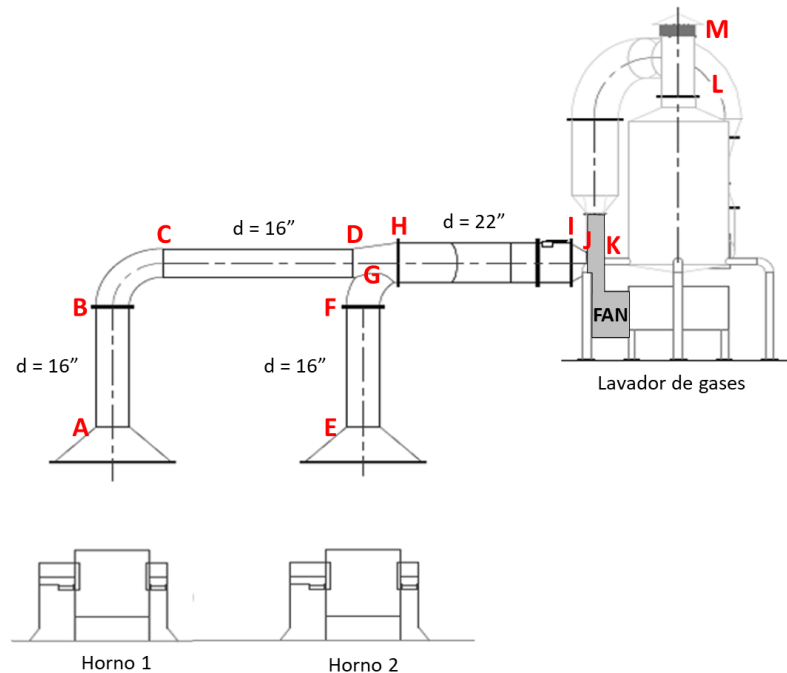


Figura 45. Sistema de extracción localizada de los hornos basculantes.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 65

Hoja de cálculo del sistema de extracción localizada en los hornos basculantes – Parte 1

1	Identificación del tramo del conducto		A - D	E - G	E' - G'
2	Velocidad en el conducto* (V)		fpm	3978.9	4261.4
3	Diámetro del conducto (d)		pulg	16	16
4	Sección del conducto (S)		pie ²	1.3963	1.3963
5	Caudal (Q) [2x4]		cfm	5555.6+	5950+
6	Factor de corrección por densidad del aire			0.45	0.45
7	Presión dinámica estándar (VP _{estándar})		"H ₂ O	0.9870	1.1321
8	Presión dinámica corregida (VP _{corregido}) [6x7]		"H ₂ O	0.4441	0.5095
9	SUCCIÓN CAMPANA	Factor de pérdida entrada		0.15	0.15
10		Factor de aceleración 1 o 0		1	1
11		Pérdida en entrada en VP [9+10]	VP	1.15	1.15
12		Succión en campana [8x11]	"H ₂ O	0.5108	0.5859
13	TRAMOS RECTOS	Longitud de conducto recto	pie	5.2493 (AB)	5.2493 (EF)
14		Longitud de conducto recto	pie	20.1227 (CD)	
15		Factor de pérdidas (Hf)	VP/pie	0.013	0.013
16		Pérdidas en VP [(13+14)x15]	VP	0.3298	0.0683
17		Pérdida total en tramos rectos [8x16]	"H ₂ O	0.1465	0.0303
18	CODOS	N° codos 90°		1	1
19		Pérdidas en codos en VP [18xfactor]	VP	0.24	0.24
20		Pérdida total en codos [8x19]	"H ₂ O	0.1066	0.1223
21	Presión estática (SP) acumulada		"H ₂ O	0.76	0.74
22	Variación de presión estática en la unión		%		15.21
23	Acciones para corrección			Corrección de caudal	Ninguna
24	Presión estática (SP) controlante		"H ₂ O		0.76

* Se recomienda en ductos de sistemas de ventilación en fundiciones una velocidad de 20 m/s, según indica el libro de ventilación industrial de la ACGIH.

+ Mayor al caudal teórico en campanas elevadas para focos calientes (Anexo 9), por lo que se prosigue con la evaluación.

$$\text{Presión dinámica corregida} = VP_{\text{corregido}} = Fd \times VP_{\text{estándar}} = Fd \times \left(\frac{V}{4005}\right)^2$$

$$\text{Factor de pérdida por pie} = Hf = 0.0307 \frac{V^{0.533}}{Q^{0.612}}$$

Factor de pérdida de codo de 90°
(5 piezas)

R/D	Factor de pérdida
1.5	0.24
2.0	0.19
2.5	0.17

R = radio del codo; D = Diámetro del ducto

Tabla 66

Hoja de cálculo del sistema de extracción localizada en los hornos basculantes – Parte 2

1	Identificación del tramo del conducto		H - I	I - J	K - M
2	Caudal (Q)		cfm	11505.6*	6020.4**
3	Diámetro del conducto (d)		pulg	22	15.5
4	Sección del conducto (S)		pie ²	2.6398	0.7854
5	Velocidad en el conducto* (V) [2+4]		fpm	4358.5	14649.3
6	Factor de corrección por densidad del aire			0.45	0.86
7	Presión dinámica estándar (VP _{estándar})		"H ₂ O	1.1843	13.3792
8	Presión dinámica corregida (VP _{corregido}) [6x7]		"H ₂ O	0.5329	6.0206
9	AUMENTO DE VELOCIDAD	V _{AD} < V _{HI} (Figura 46)		Verdadero	
10		V _{EG} < V _{HI} (Figura 46)		Verdadero	
11		Presión dinámica resultante de la unión (VPr)	"H ₂ O	1.0583	
12		Pérdidas por incremento de velocidad	"H ₂ O	0.1260	
13	TRAMOS RECTOS	Longitud de conducto recto	pie	0.6890	19.6850
14		Factor de pérdidas (Hf)	VP/pie	0.0087	0.0134
15		Pérdidas en VP [13x14]	VP	0.0060	0.2631
16		Pérdida total en tramos rectos [8x15]	"H ₂ O	0.0032	0.2978
17	CODOS	Nº codos 20°		2	
18		Pérdidas en codos en VP [17xfactor]	VP	0.11	
19		Pérdida total en codos [8x18]	"H ₂ O	0.0568	
20	CONTRACCIÓN	Ángulo de la pieza	°		15
21		Pérdida			0.08
22		Diferencia de presiones dinámicas [8 _{IJ} -8 _{HI}]	"H ₂ O		5.4877
23		Pérdida total por contracciones	"H ₂ O		5.9267
24	Otras pérdidas (lavador de gases)		"H ₂ O		4.7
25	Presión estática (SP) acumulada		"H ₂ O	0.9499	6.88
26	Presión estática (SP) controlante		"H ₂ O		
27	SP IN		"H ₂ O		6.88
28	SP OUT		"H ₂ O		4.9978

*Q_{AD} + Q_{EG} = Q_{HJ}

** Q_{HJ} * Fd1 = Q_{LM} * Fd2

Presión dinámica corregida = VP_{corregido} = Fd x VP_{estándar} = Fd x $\left(\frac{V}{4005}\right)^2$

Factor de pérdida por pie = Hf = 0.0307 $\frac{V^{0.533}}{Q^{0.612}}$

VPr = $\left(\frac{Q1+Q2}{4005 (A1+A2)}\right)^2$

Pérdida por contracciones = (VP₂-VP₁) * (1+L)

Factor de pérdida de codo de 90°
(5 piezas)

R/D	Factor de pérdida
1.5	0.24
2.0	0.19
2.5	0.17

Codo 20° = 2/9*factor de pérdida
R = radio del codo; D = Diámetro del ducto

Ángulo	Pérdida (L)
15°	0.08
30°	0.13
45°	0.20

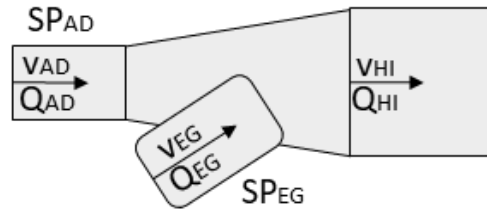


Figura 46. Representación de la unión del conducto AD y EG al conducto principal. Fuente: Elaboración propia.

Con los datos obtenidos en la tabla 65 y 66 se calculan las características mínimas que debe cumplir el ventilador instalado en el sistema de extracción, como se muestra en la tabla 67, ello será comparado posteriormente con los valores nominales que figuran en la tabla 63.

Tabla 67

Características que debe cumplir el ventilador del sistema de extracción localizada de los hornos basculantes

Cálculo de la presión estática del ventilador en las condiciones de operación
FAN SP actual = $SP_{out} - SP_{in} - VP_{in}$
FAN SP actual = $4.9978 - (-6.88) - 6.0206 = 5.85 \text{ "H}_2\text{O}$
FAN SP equivalente = $5.85 / 0.45 = 13.01 \text{ "H}_2\text{O}$
Caudal
$Q = 11505.56 \text{ cfm}$

6.1.2. Evaluación cuantitativa del sistema inicial de extracción localizada de los hornos de fundición

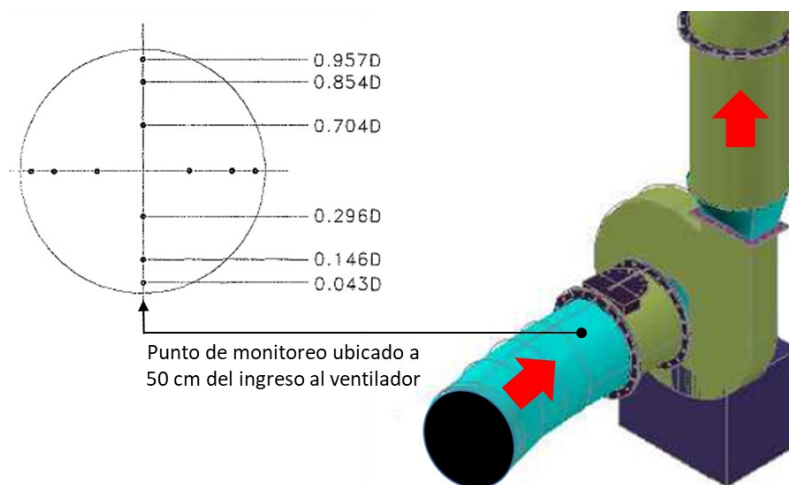


Figura 47. Representación del punto de monitoreo para comprobación del sistema de extracción localizada en los hornos de fundición. Fuente: Elaboración propia.

En el sistema de extracción localizada de los hornos basculantes se midió el caudal y presión estática durante la operación a fin de verificar los datos nominales que figuran en la tabla 63. Como se indica en la figura 47, a 50 cm de la entrada al ventilador se ubica el punto de monitoreo donde se procede a realizar 6 mediciones a lo largo del diámetro del ducto; para determinar la velocidad del aire se usa un anemómetro y para determinar la presión estática se usa un tubo de pitot, siendo los valores obtenidos los que figuran en la tabla 68.

Tabla 68

Parámetros de operación

Parámetro medido	Resultado
Presión estática	17 "H2O
Caudal	4724 cfm
Velocidad del aire	9.1 m/s

6.1.3. Análisis de resultados

Según el comparativo entre los valores nominales del ventilador del sistema de extracción localizada de los hornos basculantes (tabla 63) y los valores obtenidos en su evaluación cualitativa (tabla 67) se observa que el caudal nominal (10000 cfm) no es suficiente para evacuar los humos metálicos que se generan durante la fundición del precipitado, pues se requiere como mínimo un caudal de 11505.56 cfm. Al contarse con campanas tipo CANOPY, sobre los hornos basculantes, si el flujo de generación de contaminantes es mayor al flujo de extracción ocurrirá un “desborde” de estos, como se muestra en la figura 48.

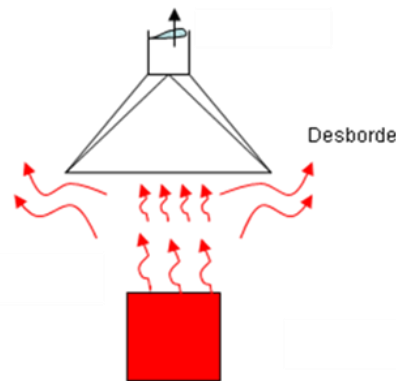


Figura 48. Desborde de agentes químicos en campanas tipo CANOPY. Fuente: Elaboración propia.

Además, según el comparativo entre los valores nominales del ventilador (tabla 63) y los valores obtenidos en su evaluación cuantitativa (tabla 68) se concluye que ha disminuido la capacidad del caudal y de la presión estática en un 52.8%.

Con los datos obtenidos se concluye que el diseño inicial del sistema de extracción localizada en los hornos basculantes no es el adecuado, pues se requiere de un caudal mayor; y la capacidad nominal del ventilador ha disminuido tras los 12 años de operación ocasionando que la concentración de humos metálicos en el ambiente sea mayor a los límites máximos permisibles durante la fundición del precipitado.

6.2. Sistema de extracción localizada de los hornos de secado y re-fusión

El sistema de extracción localizada de los hornos de secado y re-fusión consta de tres campanas operativas, correspondiente a dos hornos de secado (hornos 3 y 4 en la figura 49) y a un horno donde se realiza la re-fusión del bullón; vale mencionar que durante la evaluación se observó que un conducto secundario estaba clausurado mediante una brida ciega, por ello figura sombreado de rojo en la figura 49. Además, se cuenta con ductos de 7", 8", 10" y 12", un lavador de gases tipo venturi y un ventilador cuyas características se mencionan en la tabla 69.

Tabla 69

Características nominales del ventilador del sistema de extracción localizada de los hornos de secado y re-fusión

Tipo	Centrífugo
Caudal	4830 cfm
Pérdida total	37" H ₂ O a nivel del mar 19" H ₂ O a 1300 msnm y 250°C
Rodete	Con paletas inclinadas hacia atrás
Transmisión	Fajas y poleas
Velocidad de rotación del rodete	3540 RPM
Potencia requerida	19.9 RPM
Potencia del motor	25 HP
Velocidad del motor	3560 RPM
Tensión	220 V / 380 V / 440 V – Trifásico – 60 Hz
Material de la carcasa	Plancha de acero de 4.5 mm
Material del rodete	Acero especial tipo chronit 400
Año de implementación	2008
Altura de operación	1250 m.s.n.m.

6.2.1. Evaluación cualitativa del sistema inicial de extracción localizada de los hornos de secado y re-fusión

El tiempo promedio de funcionamiento del sistema de extracción es de 3 horas, ya que es el tiempo que dura la fundición de los bullones obtenidos, además, en los hornos de secado se alcanzan temperaturas de 300°C, en consecuencia, la temperatura promedio del aire en los ductos siguientes es de 75°C, así mismo, en el horno de re-fusión se alcanzan temperaturas de 1200°C, ya que tiene que ser mayor a la temperatura de fusión del oro y demás metales (Temperatura de fusión del oro es de 1063°C), en consecuencia, la temperatura promedio del aire

en los ductos siguientes es de 200°C. Los datos se obtuvieron mediante el uso del equipo multifunción Testo 435-4 en diferentes puntos de monitoreo en los ductos

Como se indica en la figura 33, ya que la densidad del aire que ingresa por el sistema de extracción es diferente al del aire estándar, se aplica un factor de corrección por densidad de aire (Fd3 y Fd4) a ciertos parámetros a calcular en la evaluación del diseño. Así mismo, tras pasar el ventilador, el aire en la salida de lavador de gases alcanza una temperatura igual a 50°C, lo que conlleva a que el factor de corrección por densidad de aire se modifique (Fd5), esto se detalla en la tabla 70.

Tabla 70

Factor de corrección por densidad de aire aplicado en la evaluación de diseño del sistema de extracción localizada de los hornos de secado y de re-fusión.

Código	Características	Altitud de operación	Temperatura de operación	Factor de corrección por densidad (Fd)
Fd3	Medición tras los hornos secadores	1250 msnm	75 °C	0.73
Fd4	Medición tras el horno de re-fusión	1250 msnm	200 °C	0.53
Fd5	Medición tras el lavador de gases	1250 msnm	50 °C	0.79

A continuación, se inicia con la evaluación cualitativa del sistema de extracción, por ello en la figura 49 se muestran los segmentos a evaluar diferenciados entre sí por letras, así mismo, en la tabla 71, 72 y 73 se muestran los cálculos para determinar el caudal y presión necesarios en el ventilador para evacuar los humos metálicos.

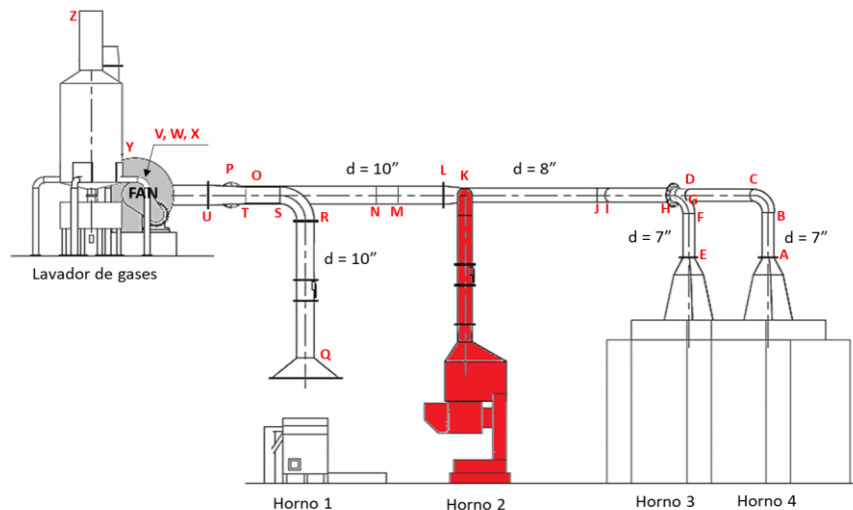


Figura 49. Sistema de extracción localizada de los hornos de secado y de re-fusión y. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 71

Hoja de cálculo del sistema de extracción localizada en los hornos de secado y re-fusión – Parte 1

1	Identificación del tramo del conducto		A - D	E - G	E' - G'	
2	Velocidad en el conducto* (V)		fpm	3946.8	3946.8	4049.3
3	Diámetro del conducto (d)		pulg	7	7	7
4	Sección del conducto (S)		pie ²	0.2672	0.2672	0.2672
5	Caudal (Q) [2x4]		cfm	1054.8+	1054.8+	1082.2+
6	Factor de corrección por densidad del aire*			0.73	0.73	0.73
7	Presión dinámica estándar (VP _{estándar})		"H ₂ O	0.9711	0.9711	1.0222
8	Presión dinámica corregida (VP _{corregido}) [6x7]		"H ₂ O	0.7089	0.7089	0.7462
9	SUCCIÓN CAMPANA	Factor de pérdida entrada		0.25	0.25	0.25
10		Factor de aceleración 1 o 0		1	1	1
11		Pérdida en entrada en VP [9+10]	VP	1.25	1.25	1.25
12		Succión en campana [8x11]	"H ₂ O	0.8862	0.8862	0.9328
13	TRAMOS RECTOS	Longitud de conducto recto	pie	2.2966 (AB)	2.2966 (EF)	2.2966 (EF)
14		Longitud de conducto recto	pie	3.8386 (CD)		
15		Factor de pérdidas (Hf)	VP/pie	0.0358	0.0358	0.0357
16		Pérdidas en VP [(13+14)x15]	VP	0.2196	0.0822	0.0820
17		Pérdida total en tramos rectos [8x16]	"H ₂ O	0.1557	0.0583	0.0612
18	CODOS	N° codos 90°		1	1	1
19		Pérdidas en codos en VP [18xfactor]	VP	0.24	0.24	0.24
20		Pérdida total en codos [8x19]	"H ₂ O	0.1701	0.1701	0.1791
21	Presión estática (SP) acumulada		"H ₂ O	1.21	1.11	1.17
22	Variación de presión estática en la unión		%		8.04	3.21
23	Acciones para corrección				Corrección de caudal	Ninguna
24	Presión estática (SP) controlante		"H ₂ O			1.21

* Se recomienda en ductos de sistemas de ventilación en fundiciones una velocidad de 20 m/s, según indica el libro de ventilación industrial de la ACGIH.

+ Mayor al caudal teórico en campanas con compuertas frontal, posterior y laterales, por lo que se prosigue con la evaluación.

$$\text{Presión dinámica corregida} = \text{VP}_{\text{corregido}} = \text{Fd} \times \text{VP}_{\text{estándar}} = \text{Fd} \times \left(\frac{V}{4005}\right)^2$$

$$\text{Factor de pérdida por pie} = \text{Hf} = 0.0307 \frac{V^{0.533}}{Q^{0.612}}$$

Factor de pérdida de codo de 90°
(5 piezas)

R/D	Factor de pérdida
1.5	0.24
2.0	0.19
2.5	0.17

R = radio del codo; D = Diámetro del ducto

Tabla 72

Hoja de cálculo del sistema de extracción localizada en los hornos de secado y re-fusión – Parte 2

1	Identificación del tramo del conducto		H - K	K - P	Q - T	Q' - T'	
2	Caudal (Q)		cfm	2136.99*	2136.99*	2207.55+	4110+
3	Diámetro del conducto (d)		pulg	8	10	10	10
4	Sección del conducto (S)		pie ²	0.3491	0.5454	0.5454	0.5454
5	Velocidad en el conducto* (V) [2÷4]		fpm	6122	3918.09	4047.46	7535.54
6	Factor de corrección por densidad del aire			0.73	0.73	0.53	0.53
7	Presión dinámica estándar (VP _{estándar})		"H ₂ O	2.3366	0.9571	1.0213	3.5402
8	Presión dinámica corregida (VP _{corregido}) [6x7]		"H ₂ O	1.7057	0.6987	0.5413	1.8763
9	SUCCIÓN CAMPANA	Factor de pérdida entrada				0.15	0.15
10		Factor de aceleración 1 o 0				1	1
11		Pérdida en entrada en VP [9+10]	VP			1.15	1.15
12		Succión en campana [8x11]	"H ₂ O			0.6225	2.1577
13	AUMENTO DE VELOCIDAD	V _{AD} < V _{HK} (Figura 50)		Verdadero			
14		V _{EG} < V _{HK} (Figura 50)		Verdadero			
15		Presión dinámica resultante de la unión (VPr)	"H ₂ O	0.9965			
16		Pérdidas por incremento de velocidad	"H ₂ O	1.3401			
17	TRAMOS RECTOS	Longitud de conducto recto	pie	3.7828 (HI)	8.7664 (LM)	6.6831 (QR)	6.6831 (QR)
18		Longitud de conducto recto	pie	6.2172 (JK)	15.3379 (NO)	1.6109 (ST)	1.6109 (ST)
19		Factor de pérdidas (Hf)	VP/pie	0.0294	0.0231	0.0231	0.0220
20		Pérdidas en VP [(17+18)x19]	VP	0.2936	0.5578	0.1914	0.1823
21		Pérdida total en tramos rectos [8x20]	"H ₂ O	0.5007	0.3897	0.1036	0.3420
22	CODOS	N° codos 45°		1			
23		N° codos 90°			2	1	1
24		Pérdidas en codos en VP [17xfactor]	VP	0.12	0.24	0.24	0.24
25		Pérdida total en codos [8x24]	"H ₂ O	0.2047	0.3354	0.1299	0.4503
26	ENSANCHAMI- ENTO	Relación de diámetros [8 _{KP} -8 _{HK}]			1.25		
27		Ángulo de la pieza	°		5		
28		Ganancia (R)			0.88		
29		Diferencia de presiones dinámicas [8 _{HK} -8 _{KP}]	"H ₂ O		1.007		
30		Ganancia total por ensanchamientos [28x29]	"H ₂ O		0.8862		
31	Presión estática (SP) acumulada		"H ₂ O	3.26	3.10	0.86	2.95
32	Variación de presión estática en la unión		%			72.35	4.73
33	Acciones para corrección					Corrección de caudal γ	Ninguna
34	Presión estática (SP) controlante		"H ₂ O				3.10

<p>*$Q_{AD} + Q_{EG} = Q_{HI}$</p> <p>+ Mayor al caudal teórico en campanas elevadas para focos calientes, por lo que se prosigue con la evaluación.</p> <p>γ Como el diámetro del conducto se mantendrá constante, solo se corregirá el caudal.</p> <p>Presión dinámica corregida = $VP_{\text{corregido}} = Fd \times VP_{\text{estándar}} = Fd \times \left(\frac{V}{4005}\right)^2$</p> <p>Factor de pérdida por pie = $Hf = 0.0307 \frac{V^{0.533}}{Q^{0.612}}$</p> <p>$VP_r = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{4005 (A_1 + A_2)}\right)^2$</p> <p>Ganancia por ensanchamientos = $R(VP_1 - VP_2)$</p>	<p>Factor de pérdida de codo de 90° (5 piezas)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>R/D</th> <th>Factor de pérdida</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.5</td> <td>0.24</td> </tr> <tr> <td>2.0</td> <td>0.19</td> </tr> <tr> <td>2.5</td> <td>0.17</td> </tr> </tbody> </table> <p>Codo 45° = 1/2*factor de pérdida R = radio del codo; D = Diámetro del ducto</p> <p>Factor de ganancia en ensanchamientos (Relación de radios 1.25:1)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ángulo</th> <th>Ganancia (R)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5°</td> <td>0.88</td> </tr> <tr> <td>10°</td> <td>0.85</td> </tr> <tr> <td>15°</td> <td>0.83</td> </tr> </tbody> </table>	R/D	Factor de pérdida	1.5	0.24	2.0	0.19	2.5	0.17	Ángulo	Ganancia (R)	5°	0.88	10°	0.85	15°	0.83
R/D	Factor de pérdida																
1.5	0.24																
2.0	0.19																
2.5	0.17																
Ángulo	Ganancia (R)																
5°	0.88																
10°	0.85																
15°	0.83																

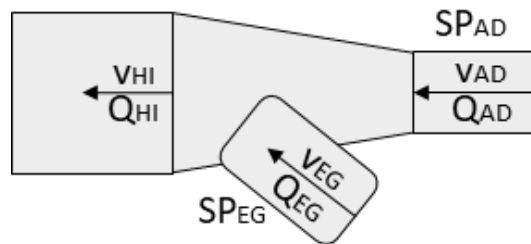


Figura 50. Representación de la unión del conducto AD y EG al conducto principal. Fuente: Elaboración propia.

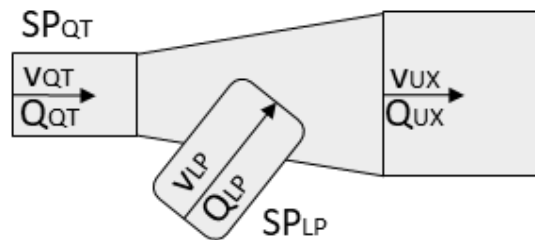


Figura 51. Representación de la unión del conducto LP y QT al conducto principal. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 73

Hoja de cálculo del sistema de extracción localizada en los hornos de secado y re-fusión – Parte 3

1	Identificación del tramo del conducto		U - X	Y - Z
2	Caudal (Q)		cfm	6246.99* 4191.02**
3	Diámetro del conducto (d)		pulg	12 12
4	Sección del conducto (S)		pie ²	0.7854 0.7854
5	Velocidad en el conducto* (V) [2÷4]		fpm	7953.91 5336.17
6	Factor de corrección por densidad del aire			0.53 0.79
7	Presión dinámica estándar (VP _{estándar})		"H ₂ O	3.9442 1.7752
8	Presión dinámica corregida (VP _{corregido}) [6x7]		"H ₂ O	2.0904 1.4024
9	AUMENTO DE VELOCIDAD	V _{QT} < V _{UX} (Figura 51)		Verdadero
10		V _{LP} < V _{UX} (Figura 51)		Verdadero
11		Presión dinámica resultante de la unión (VPr)	"H ₂ O	2.0447
12		Pérdidas por incremento de velocidad	"H ₂ O	1.8995
13	TRAMOS RECTOS	Longitud de conducto recto	pie	1.9685 8.4482
14		Longitud de conducto recto	pie	6.9193
15		Factor de pérdidas (Hf)	VP/pie	0.0175 0.0181
16		Pérdidas en VP [(13+14)x15]	VP	0.1556 0.1526
17		Pérdida total en tramos rectos [8x16]	"H ₂ O	0.3252 0.2141
18	CODOS	N° codos 90°		1
19		Pérdidas en codos en VP [18xfactor]	VP	0.24
20		Pérdida total en codos [8x19]	"H ₂ O	0.5017
21	Otras pérdidas (lavador de gases)		"H ₂ O	2.4
22	Presión estática (SP) acumulada		"H ₂ O	5.82 2.6141
23	Presión estática (SP) controlante		"H ₂ O	
24	SP IN		"H ₂ O	5.82
25	SP OUT		"H ₂ O	2.6141

<p>*Q_{LP} + Q_{QT} = Q_{UX}</p> <p>** Q_{UX} * Fd4 = Q_{YZ} * Fd5</p> <p>Presión dinámica corregida = VP_{corregido} = Fd x VP_{estándar} = Fd x $\left(\frac{V}{4005}\right)^2$</p> <p>Factor de pérdida por pie = Hf = 0.0307 $\frac{V^{0.533}}{Q^{0.612}}$</p> <p>VP_r = $\left(\frac{Q_1+Q_2}{4005 (A_1+A_2)}\right)^2$</p>	<p>Factor de pérdida de codo de 90° (5 piezas)</p> <table border="1"> <tr> <td>R/D</td> <td>Factor de pérdida</td> </tr> <tr> <td>1.5</td> <td>0.24</td> </tr> <tr> <td>2.0</td> <td>0.19</td> </tr> <tr> <td>2.5</td> <td>0.17</td> </tr> </table> <p>R = radio del codo D = Diámetro del ducto</p>	R/D	Factor de pérdida	1.5	0.24	2.0	0.19	2.5	0.17
R/D	Factor de pérdida								
1.5	0.24								
2.0	0.19								
2.5	0.17								

Con los datos obtenidos en la tabla 71, 72 y 73 se calculan las características mínimas que debe cumplir el ventilador instalado en el sistema de extracción, como se muestra en la tabla 74, ello será comparado posteriormente con los valores nominales que figuran en la tabla 69.

Tabla 74

Características que debe cumplir el ventilador del sistema de extracción localizada de los hornos de secado y re-fusión

Cálculo de la presión estática del ventilador en las condiciones de operación
FAN SP actual = $SP_{out} - SP_{in} - VP_{in}$
FAN SP actual = $2.6141 - (-5.82) - 2.0904 = 6.35 \text{ "H}_2\text{O}$
FAN SP equivalente = $6.62 / 0.53 = 11.97 \text{ "H}_2\text{O}$
Caudal
$Q = 6247 \text{ cfm}$

6.2.2. Evaluación cuantitativa del sistema inicial de extracción localizada de los hornos de secado y refusión

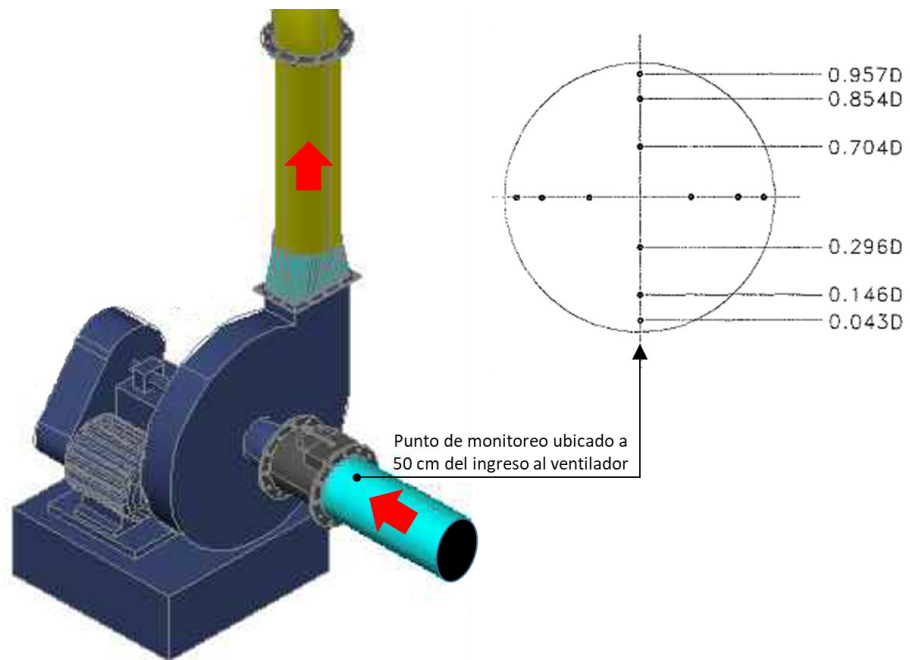


Figura 52. Representación del punto de monitoreo para comprobación del sistema de extracción localizada en los hornos de secado y re-fusión. Fuente: Elaboración propia.

En el sistema de extracción localizada de los hornos de secado y re-fusión se midió el caudal y presión estática durante la operación a fin de verificar los datos nominales que figuran en la tabla 69. Como se indica en la figura 52, a 50 cm de la entrada al ventilador se ubica el punto de monitoreo donde se procede a realizar 6 mediciones a lo largo del diámetro del ducto; para determinar la velocidad del aire se usa un anemómetro y para determinar la presión estática se usa un tubo de pitot, siendo los valores obtenidos los que figuran en la tabla 75.

Tabla 75
Parámetros de operación

Parámetro medido	Resultado
Presión estática	4.6 "H ₂ O
Caudal	1491.5 cfm
Velocidad del aire	9.65 m/s

6.2.3. Análisis de resultados

Según el comparativo entre los valores nominales del ventilador del sistema de extracción localizada de los hornos de secado y re-fusión (tabla 69) y los valores obtenidos en su evaluación cualitativa (tabla 74) se observa que el caudal nominal (4830 cfm) no es suficiente para evacuar los humos metálicos que se generan durante la re-fusión del bullón, pues se requiere como mínimo un caudal de 6247 cfm; como se muestra en la figura 48, esto ocasiona un "desborde" de contaminantes en el ambiente.

Además, según el comparativo entre los valores nominales del ventilador (tabla 69) y los valores obtenidos en su evaluación cuantitativa (tabla 75) se concluye que ha disminuido la capacidad del caudal en un 69.1% y de la presión estática en un 75.8%.

Con los datos obtenidos se concluye que el diseño inicial del sistema de extracción localizada en los hornos de secado y re-fusión no es el adecuado, pues se requiere de un caudal mayor; y la capacidad nominal del ventilador ha disminuido tras los 12 años de operación ocasionando que la concentración de humos metálicos en el ambiente sea mayor a los límites máximos permisibles durante la re-fusión del bullón.

CAPÍTULO VII. MEJORAS AL SISTEMA DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA DE LOS HORNOS DE FUNDICIÓN Y RE-FUSIÓN

Durante los últimos años la producción en la Unidad Minera ha ido en aumento, por lo que la cantidad de precipitado obtenido también ha ido incrementándose, según se observa en la figura 53. El aumento de la cantidad de metales a fundir genera que la concentración de humos metálicos aumente en el ambiente laboral, esto sumado a la mala condición de los ventiladores y ductos del sistema de extracción en los hornos de fundición y re-fusión, que no favorecen a una adecuada extracción de agentes químicos, se concluye que el nivel de riesgo a la salud en los trabajadores de Refinería ha ido en aumento en el tiempo.

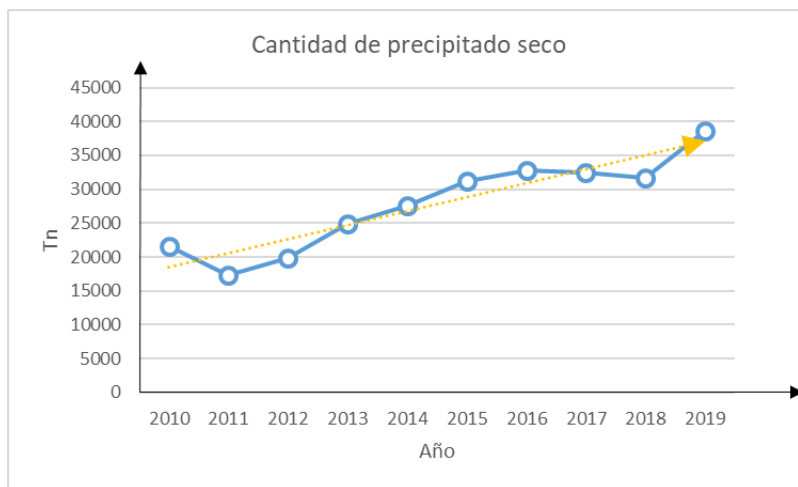


Figura 53. Cantidad de precipitado producido por año

En vista del contexto laboral que se presenta y en coordinación con el equipo responsable de Refinería, se programa la implementación de los controles que figuran en la tabla 76:

Tabla 76

Controles a implementar en Refinería para disminuir el riesgo a la salud de los trabajadores

Jerarquía de control	Descripción
Controles de ingeniería	<p><u>Hornos de fundición:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de los hornos basculantes por hornos de inducción, por el aumento de producción a corto plazo y por un mejor control de agentes químicos. • Modificación el sistema de extracción localizada. • Cambio del ventilador del sistema de extracción, en base a la evaluación cualitativa (diseño). <p><u>Hornos de re-fusión:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Modificar el conducto y diámetro de campana del sistema de extracción localizada correspondiente al horno de re-fusión. • Cambio de ventilador del sistema de extracción, en base a la evaluación cualitativa (diseño).

<p>Controles administrativos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreos periódicos de humos metálicos. • Monitoreos biológicos periódicos de arsénico, cadmio y plomo. • Mejora de los procedimientos operacionales, considerando el cambio a realizarse en el proceso, aspectos ergonómicos e implementación de herramientas para un cambio en la manipulación de equipos e insumos. • Capacitación al personal de Refinería en los procedimientos operacionales y el uso adecuado del EPP respiratorio.
<p>Equipos de protección personal</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Uso constante de respirador media cara con filtro para partículas, con un periodo de cambio de filtro de un par por semana. • Implementar un kit de prueba de ajuste para verificar el sellado entre la cara y el respirador.

7.1. Modificación del sistema de extracción de los hornos de fundición

Ante el incremento de mineral extraído, y en consecuencia incremento del precipitado a fundir, se coordina la instalación de dos hornos de inducción que procesan 500 kg cada uno.

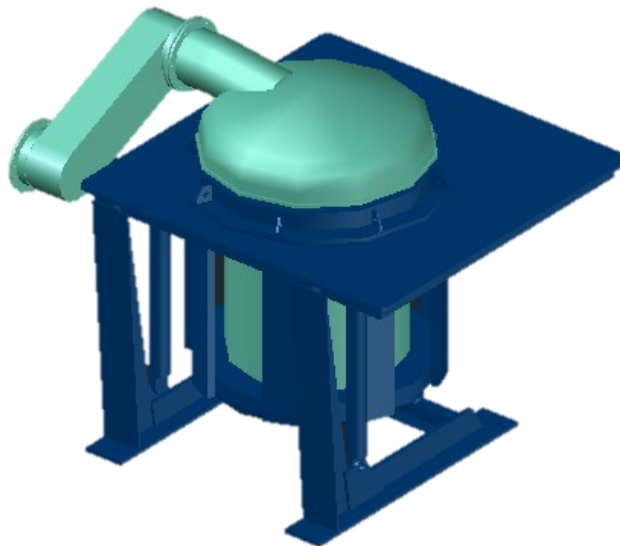


Figura 54. Horno de inducción. Fuente: Elaboración propia.

La inducción es un método de calentamiento sin contacto ni llama, que puede poner rápidamente al rojo vivo una sección determinada en un metal. La fusión por inducción es un proceso donde un metal, que para fines de esta tesis es el oro, es fundido en el crisol de un horno por efecto de una corriente alterna. Se considerada la implementación de los hornos a fusión por inducción por las siguientes ventajas:

- Es una tecnología rápida, limpia y uniforme.
- El calor uniforme inducido en el metal también contribuye a un resultado final de alta calidad, ya que los sistemas y hornos de inducción tienen avanzadas características ergonómicas, lo cual no solo hace el trabajo más seguro, sino que además aumenta la productividad y logran un proceso de fusión más rápido y cómodo.
- Reduce requerimientos para la colección de polvo resultante.
- Costos de operación más bajos.

Ante alguna contingencia que presenten los hornos de inducción se debe contar con los hornos basculantes iniciales (horno 3 y horno 4 en la figura 55) por lo que se decide no desinstalarlos, sino clausurar el conducto hacia sus campanas con una brida ciega, ello se representa mediante una zona sombreada de rojo en la figura 55.

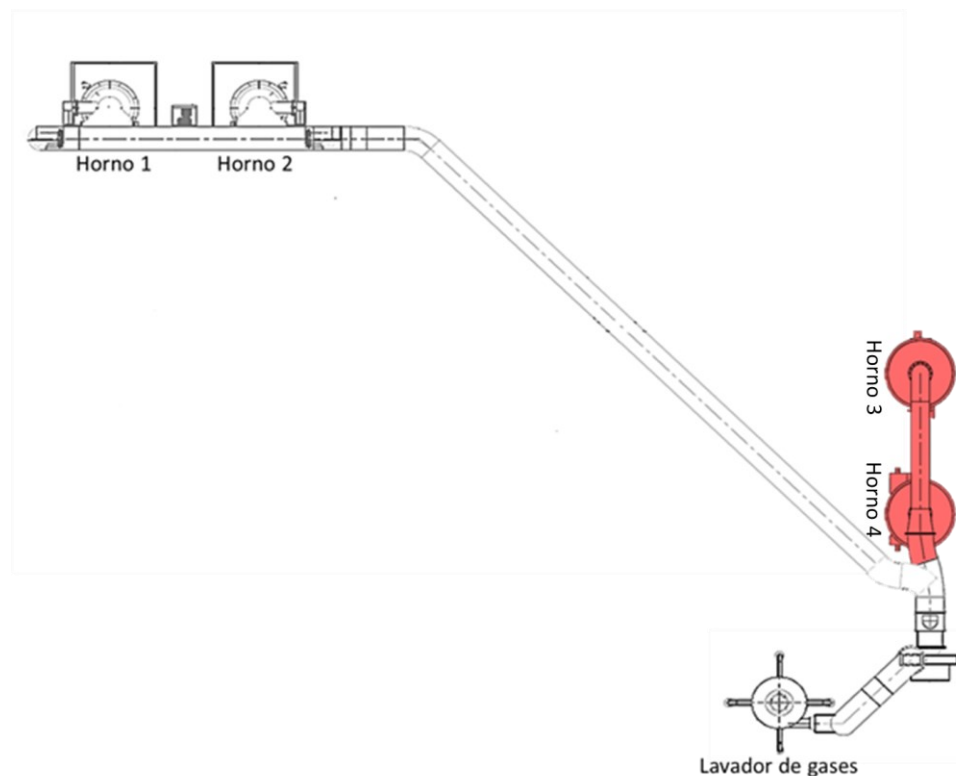


Figura 55. Ubicación de los hornos de inducción (hornos 1 y 2) y hornos basculantes (hornos 3 y 4)

El tiempo promedio de funcionamiento del sistema de extracción de los hornos de inducción es de 3 horas, igual tiempo de operación que hornos basculantes, además, como el objetivo sigue siendo fundir el precipitado para obtener el bullón, en los hornos se alcanzarán temperaturas de 1250°C porque tiene que sobrepasar la temperatura

de fusión del oro y demás metales, en consecuencia, la temperatura promedio del aire en los ductos será de 300°C.

Como la densidad del aire que ingresa por el sistema de extracción es diferente al del aire estándar, se aplica un factor de corrección a ciertos parámetros a calcular en el diseño. Así mismo, el aire en la salida de lavador de gases alcanza una temperatura igual a 30°C, lo que conlleva a que el factor de corrección por densidad de aire se modifique, esto se detalla en la tabla 77.

Tabla 77

Factor de corrección por densidad de aire aplicado en el diseño del sistema de extracción localizada de los hornos de inducción.

Código	Características	Altitud de operación	Temperatura de operación	Factor de corrección por densidad (Fd)
Fd1	Antes del ventilador	1250 msnm	300 °C	0.45
Fd2	Después del lavador de gases	1250 msnm	30 °C	0.86

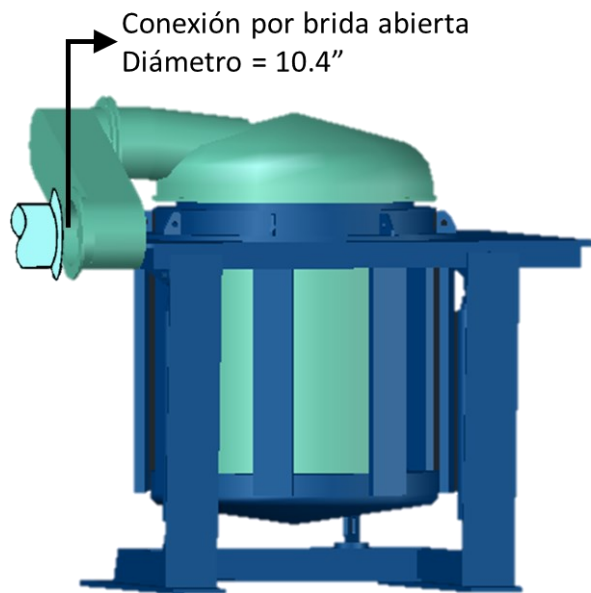


Figura 56. Conexión del horno de inducción al sistema de extracción. Fuente: Elaboración propia.

Según indica el manual de Ventilación Industrial (ACGIH, 1998) para realizar los cálculos de diseño se debe disponer de los siguientes datos:

- Distribución en planta de operaciones.
- Esquema unifilar del sistema de conductos, incluyendo las dimensiones en planta y alzado, etc.
- Un diseño previo o esquema de la campana a instalar en cada operación con indicación de la altura y dirección de la brida de salida para la conexión al conducto.
- Información sobre los detalles de cada operación, toxicidad de los materiales y características físicas y químicas.

Como el accesorio de conexión al sistema de extracción cuenta con un diámetro de 10.4", el diseño se inicia considerando conductos de esa dimensión, como se observa en la figura 56.

Tras determinar con los responsables de Refinería la ubicación de los hornos de inducción se realizó un diseño previo, como se muestra en la figura 57, donde se identifican los segmentos o accesorios a evaluar mediante letras. Con ello se inician los cálculos de diseño que se presentan en la tabla 78 y 79.

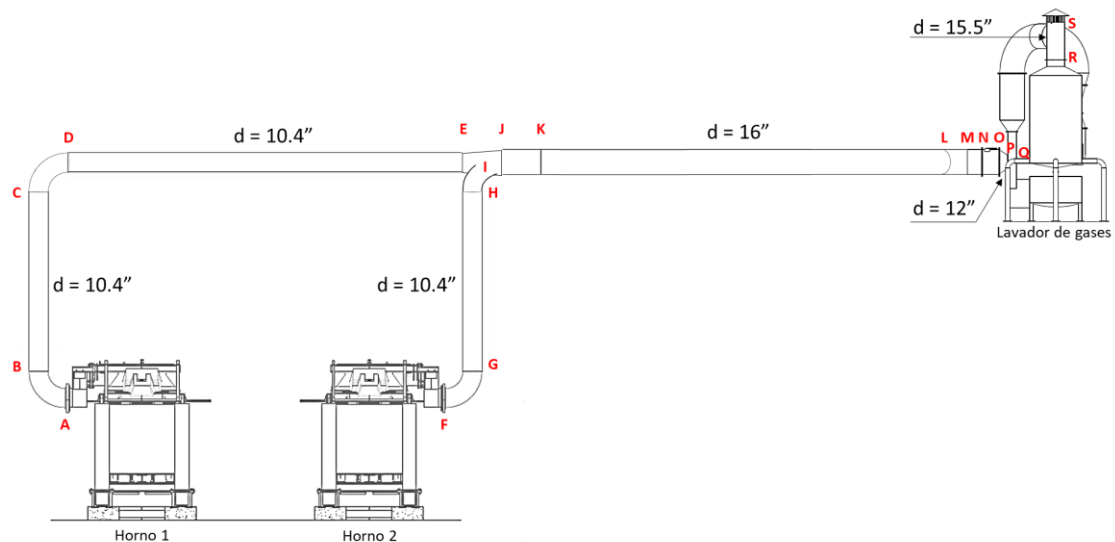


Figura 57. Sistema de extracción localizada de los hornos basculantes. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 78

Cálculo de diseño del sistema de extracción localizada para los hornos de fusión a inducción – Parte 1

1	Identificación del tramo del conducto		A - E	F - I	F' - I'	
2	Caudal teórico*		cfm/ton	2500	2500	
3	Factor de corrección por densidad del aire			0.45	0.45	
4	Caudal real [2÷3]		cfm/ton	5555.56	5555.56	
5	Caudal de operación**		cfm	2777.78	2777.78	3000
6	Diámetro del conducto *** (d)		pulg	10.4	10.4	10.4
7	Sección del conducto (S)		pie ²	0.5899	0.5899	0.5899
8	Velocidad en el conducto**** (V)		fpm	4708.73	4708.73	5085.42
9	Presión dinámica estándar (VP _{estándar})		"H ₂ O	1.3823	1.3823	1.6123
10	Presión dinámica corregida (VP _{corregido}) [3x9]		"H ₂ O	0.6220	0.6220	0.7255
11	SUCCIÓN CAMPANA	Factor de pérdida entrada		0.49	0.49	0.49
12		Factor de aceleración 1 o 0		1	1	1
13		Pérdida en entrada en VP [11+12]	VP	1.49	1.49	1.49
14		Succión en campana [10x13]	"H ₂ O	0.9268	0.9268	1.0811
15	TRAMOS RECTOS	Longitud de conducto recto	pie	9.5144 (BC)	9.5144 (GH)	9.5144 (GH)
16		Longitud de conducto recto	pie	20.1227 (DE)		
17		Factor de pérdidas (Hf)	VP/pie	0.0217	0.0217	0.0216
18		Pérdidas en VP [(15+16)x17]	VP	0.6443	0.2068	0.2056
19		Pérdida total en tramos rectos [10x18]	"H ₂ O	0.4008	0.1287	0.1492
20	CODOS	N° codos 90°		2	2	2
21		Pérdidas en codos en VP [20xfactor]	VP	0.48	0.48	0.48
22		Pérdida total en codos [10x21]	"H ₂ O	0.2986	0.2986	0.3483
23	Presión estática (SP) acumulada		"H ₂ O	1.63	1.35	1.58
24	Variación de presión estática en la unión		%		16.73	3.02
25	Acciones para corrección				Corrección de caudal	Ninguna
26	Presión estática (SP) controlante		"H ₂ O			1.63

* Caudal recomendado en el manual de Ventilación Industrial de la ACGIH.

** Se proyecta una producción diaria de 500 kg de precipitado.

*** Se define como diámetro del conducto 10.4" porque el ducto de conexión al horno cuenta con ese diámetro.

**** Se recomienda en ductos de sistemas de ventilación en fundiciones una velocidad de 20 m/s, según indica el manual de Ventilación Industrial de la ACGIH.

$$\text{Presión dinámica corregida} = VP_{\text{corregido}} = Fd \times VP_{\text{estándar}} = Fd \times \left(\frac{V}{4005}\right)^2$$

$$\text{Factor de pérdida por pie} = Hf = 0.0307 \frac{V^{0.533}}{Q^{0.612}}$$

Factor de pérdida de codo de 90°
(5 piezas)

R/D	Factor de pérdida
1.5	0.24
2.0	0.19
2.5	0.17

R = radio del codo; D = Diámetro del ducto

Tabla 79

Cálculo de diseño del sistema de extracción localizada para los hornos de fusión a inducción – Parte 2

1	Identificación del tramo del conducto		J – O	O – P	Q – S
2	Caudal (Q)		cfm	5777.78*	3023.26**
3	Diámetro del conducto (d)		pulg	16	15.5
4	Sección del conducto (S)		pie ²	1.3963	0.7854
5	Velocidad en el conducto* (V) [2÷4]		fpm	4138.03	7356.49
6	Factor de corrección por densidad del aire			0.45	0.86
7	Presión dinámica estándar (VP _{estándar})		"H ₂ O	1.0675	3.3739
8	Presión dinámica corregida (VP _{corregido}) [6x7]		"H ₂ O	0.4804	1.5183
9	AUMENTO DE VELOCIDAD	V _{AE} < V _{JO}		Falso	
10		V _{FI} < V _{JO}		Falso	
11		Presión dinámica resultante de la unión (VPr)	"H ₂ O		
12		Pérdidas por incremento de velocidad	"H ₂ O	No aplica***	
13	TRAMOS RECTOS	Longitud de conducto recto	pie	43	19.6850
14		Longitud de conducto recto	pie	0.6890	
15		Factor de pérdidas (Hf)	VP/pie	0.0130	0.0141
16		Pérdidas en VP [(13+14)x15]	VP	0.5663	0.2778
17		Pérdida total en tramos rectos [8x16]	"H ₂ O	0.2721	0.0793
18	CODOS	N° codos 45°		3	
19		Pérdidas en codos en VP [18xfactor]	VP	0.36	
20		Pérdida total en codos [8x19]	"H ₂ O	0.1729	
21	CONTRACCIÓN	Ángulo de la pieza	°		15
22		Pérdida			0.08
23		Diferencia de presiones dinámicas [8 _{OP} -8 _{JO}]	"H ₂ O		1.0379
24		Pérdida total por contracciones	"H ₂ O		1.1209
25	Otras pérdidas (lavador de gases)		"H ₂ O		4.7
26	Presión estática (SP) acumulada		"H ₂ O	2.07	3.19
27	Presión estática (SP) controlante		"H ₂ O		
28	SP IN		"H ₂ O		3.19
29	SP OUT		"H ₂ O		4.7793

*Q_{AE} + Q_{FI} = Q_{JO}

** Q_{HJ} * Fd1 = Q_{LM} * Fd2

*** Como la velocidad en el conducto principal después de la unión no es superior a la mayor de las velocidades en los conductos que confluyen en la unión, no se aplica corrección a la presión estática del sistema.

Factor de pérdida de codo de 90°
(5 piezas)

R/D	Factor de pérdida
1.5	0.24
2.0	0.19
2.5	0.17

Presión dinámica corregida = VP_{corregido} = Fd x VP_{estándar} = Fd x $\left(\frac{V}{4005}\right)^2$

Codo 45° = 1/2*factor de pérdida
R = radio del codo; D = Diámetro del ducto

$$\text{Factor de pérdida por pie} = H_f = 0.0307 \frac{V^{0.533}}{Q^{0.612}}$$

$$\text{Pérdida por contracciones} = (VP_2 - VP_1) * (1+L)$$

Factor de pérdida en contracciones

Ángulo	Pérdida (L)
15°	0.08
30°	0.13
45°	0.20

Con los resultados obtenidos en la tabla 78 y 79 se calculan las características mínimas que debe cumplir el ventilador del sistema de extracción, los cuales figuran en la tabla 80. Así mismo, se determina que los ductos a implementar deberán tener un diámetro de 10.4" y 16", que serán adaptados al sistema de extracción inicial, como se observa en la figura 55.

Tabla 80

Características del ventilador del sistema de extracción localizada de los hornos de inducción.

Cálculo de la presión estática del ventilador
FAN SP actual = SPout – SPin – VPin
FAN SP actual = 4.78 – (-3.19) – 1.52 = 6.45 "H ₂ O
FAN SP equivalente = 6.45 / 0.45 = 14.34 "H ₂ O
Caudal
Q = 5777.8 cfm

7.2. Modificación del sistema de extracción de los hornos de secado y re-fusión

En coordinación con los responsables de Refinería se decide realizar modificaciones al sistema de extracción de los hornos de secado y re-fusión.

Como se mencionó en el apartado 6.2.1, el tiempo promedio de funcionamiento del sistema de extracción de los hornos de secado y re-fusión es de 3 horas, alcanzándose en los conductos sobre los hornos de secado una temperatura promedio de 75°C, sobre el horno de re-fusión una temperatura promedio de 200°C y tras el lavador de gases una temperatura promedio del aire de 50°C, por lo que su densidad será diferente al del aire estándar, debiéndose aplicar un factor de corrección a ciertos parámetros a calcular en el diseño, como se detallan en la tabla 81.

Tabla 81

Factor de corrección por densidad de aire aplicado en el diseño del sistema de extracción localizada de los hornos de secado y re-fusión.

Código	Características	Altitud de operación	Temperatura de operación	Factor de corrección por densidad (Fd)
Fd3	Medición tras los hornos secadores	1250 msnm	75 °C	0.73
Fd4	Medición tras el horno de re-fusión	1250 msnm	200 °C	0.53
Fd5	Medición tras el lavador de gases	1250 msnm	50 °C	0.79

Con estos datos se inicia el cálculo de diseño del sistema de extracción localizada de los hornos de secado y re-fusión, que se indican en las tablas 82, 83 y 84, para determinar qué tramo se debe modificar del sistema de extracción inicial.

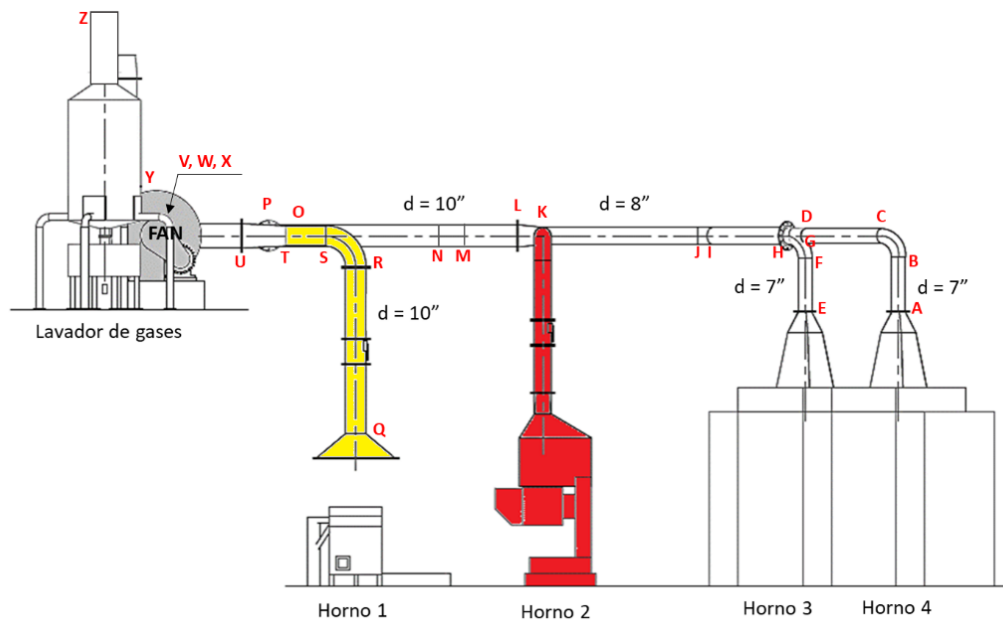


Figura 58. Sistema de extracción localizada de los hornos basculantes. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 82

Cálculo de diseño del sistema de extracción localizada para los hornos de secado y re-fusión – Parte 1

1	Identificación del tramo del conducto		A - D	E - G	E' - G'
2	Caudal teórico*		cfm	770	770
3	Factor de corrección por densidad del aire			0.73	0.73
4	Caudal de operación [2÷3]		cfm	1054.8	1054.8
5	Velocidad mínima de transporte**		fpm	3937	3937
6	Diámetro del conducto (d)		pulg	7	7
7	Sección del conducto (S)		pie ²	0.2672	0.2672
8	Velocidad en el conducto (V) [4÷7]		fpm	3946.8	3946.8
9	Presión dinámica estándar (VP _{estándar})		"H ₂ O	0.9711	1.0222
10	Presión dinámica corregida (VP _{corregido}) [3x9]		"H ₂ O	0.7089	0.7462
11	SUCCIÓN CAMPANA	Factor de pérdida entrada		0.25	0.25
12		Factor de aceleración 1 o 0		1	1
13		Pérdida en entrada en VP [11+12]	VP	1.25	1.25
14		Succión en campana [10x13]	"H ₂ O	0.8862	0.8862
15	TRAMOS RECTOS	Longitud de conducto recto	pie	2.2966 (AB)	2.2966 (EF)
16		Longitud de conducto recto	pie	3.8386 (CD)	
17		Factor de pérdidas (Hf)	VP/pie	0.0358	0.0358
18		Pérdidas en VP [(15+16)x17]	VP	0.2196	0.0822
19		Pérdida total en tramos rectos [10x18]	"H ₂ O	0.1557	0.0583
20	CODOS	N° codos 90°		1	1
21		Pérdidas en codos en VP [20xfactor]	VP	0.24	0.24
22		Pérdida total en codos [10x21]	"H ₂ O	0.1701	0.1791
23	Presión estática (SP) acumulada		"H ₂ O	1.21	1.17
24	Variación de presión estática en la unión		%		8.04
25	Acciones para corrección			Corrección de caudal	Ninguna
26	Presión estática (SP) controlante		"H ₂ O		1.21

* Caudal recomendado en el manual de Ventilación Industrial de la ACGIH.

** Se recomienda en ductos de sistemas de ventilación en fundiciones una velocidad de 20 m/s, según indica el libro de ventilación industrial de la ACGIH.

$$\text{Presión dinámica corregida} = VP_{\text{corregido}} = Fd \times VP_{\text{estándar}} = Fd \times \left(\frac{V}{4005}\right)^2$$

$$\text{Factor de pérdida por pie} = Hf = 0.0307 \frac{V^{0.533}}{Q^{0.612}}$$

Factor de pérdida de codo de 90°
(5 piezas)

R/D	Factor de pérdida
1.5	0.24
2.0	0.19
2.5	0.17

R = radio del codo; D = Diámetro del ducto

Tabla 83

Cálculo de diseño del sistema de extracción localizada para los hornos de secado y re-fusión – Parte 2

1	Identificación del tramo del conducto		H - K	K - P	Q - T	Q' - T'	
2	Caudal teórico*		cfm		1170		
3	Factor de corrección por densidad del aire		0.73	0.73	0.53		
4	Caudal de operación (Q)		cfm	2136.99*	2207.55	2650	
5	Velocidad mínima de transporte**		fpm		3937	3937	
6	Diámetro del conducto (d)		pulg	8	10	8	
7	Sección del conducto (S)		pie ²	0.3491	0.5454	0.3491	
8	Velocidad en el conducto* (V) [4÷7]		fpm	6122	3918.09	4047.46	
9	Presión dinámica estándar (VP _{estándar})		"H ₂ O	2.3366	0.9571	1.0213	
10	Presión dinámica corregida (VP _{corregido}) [3x9]		"H ₂ O	1.7057	0.6987	0.5413	
11	SUCCIÓN CAMPANA	Factor de pérdida entrada			0.15	0.15	
12		Factor de aceleración 1 o 0			1	1	
13		Pérdida en entrada en VP [11+12]	VP			1.15	1.15
14		Succión en campana [10x13]	"H ₂ O			0.6225	2.19
15	AUMENTO DE VELOCIDAD	V _{AD} < V _{HK} (Figura 50)		Verdadero			
16		V _{EG} < V _{HK} (Figura 50)		Verdadero			
17		Presión dinámica resultante de la unión (VPr)	"H ₂ O	0.9965			
18		Pérdidas por incremento de velocidad	"H ₂ O	1.3401			
19	TRAMOS RECTOS	Longitud de conducto recto	pie	3.7828 (HI)	8.7664 (LM)	6.6831 (QR)	6.6831 (QR)
20		Longitud de conducto recto	pie	6.2172 (JK)	15.3379 (NO)	1.6109 (ST)	1.6109 (ST)
21		Factor de pérdidas (Hf)	VP/pie	0.0294	0.0231	0.0231	0.0289
22		Pérdidas en VP [(19+20)x21]	VP	0.2936	0.5578	0.1914	0.2394
23		Pérdida total en tramos rectos [10x22]	"H ₂ O	0.5007	0.3897	0.1036	0.4559
24	CODOS	N° codos 45°		1			
25		N° codos 90°			2	1	1
26		Pérdidas en codos en VP	VP	0.12	0.24	0.24	0.24
27		Pérdida total en codos [10x26]	"H ₂ O	0.2047	0.3354	0.1299	0.4570
28	ENSANCHAMIENTO	Relación de diámetros [δ _{KP} -δ _{HK}]			1.25		
29		Ángulo de la pieza	°		5		
30		Ganancia (R)			0.88		
31		Diferencia de presiones dinámicas [δ _{HK} -δ _{KP}]	"H ₂ O		1.007		
32		Ganancia total por ensanchamientos [30x31]	"H ₂ O		0.8862		

33	Presión estática (SP) acumulada	"H ₂ O	3.26	3.10	0.86	3.10
34	Variación de presión estática en la unión	%			72.35	0.21%
35	Acciones para corrección				Corrección de caudal y ducto	Ninguna
36	Presión estática (SP) controlante	"H ₂ O				3.10

* Caudal recomendado en el manual de Ventilación Industrial de la ACGIH.
 ** Se recomienda en ductos de sistemas de ventilación en fundiciones una velocidad de 20 m/s, según indica el manual de Ventilación Industrial de la ACGIH.

$$*Q_{AD} + Q_{EG} = Q_{HP}$$

$$\text{Presión dinámica corregida} = VP_{\text{corregido}} = Fd \times VP_{\text{estándar}} = Fd \times \left(\frac{V}{4005}\right)^2$$

$$\text{Factor de pérdida por pie} = Hf = 0.0307 \frac{V^{0.533}}{Q^{0.612}}$$

$$VP_r = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{4005(A_1 + A_2)}\right)^2$$

$$\text{Ganancia por ensanchamientos} = R(VP_1 - VP_2)$$

Factor de pérdida de codo de 90°
(5 piezas)

R/D	Factor de pérdida
1.5	0.24
2.0	0.19
2.5	0.17

Codo 45° = 1/2 * factor de pérdida
 R = radio del codo; D = Diámetro del ducto

Factor de ganancia en ensanchamientos
(Relación de radios 1.25:1)

Ángulo	Ganancia (R)
5°	0.88
10°	0.85
15°	0.83

Tabla 84

Cálculo de diseño del sistema de extracción localizada para los hornos de secado y re-fusión – Parte 3

1	Identificación del tramo del conducto		U - X	Y - Z								
2	Caudal (Q)		cfm	4786.99*								
3	Diámetro del conducto (d)		pulg	12								
4	Sección del conducto (S)		pie ²	0.7854								
5	Velocidad en el conducto* (V) [2÷4]		fpm	6094.98								
6	Factor de corrección por densidad del aire			0.53								
7	Presión dinámica estándar (VP _{estándar})		"H ₂ O	2.3160								
8	Presión dinámica corregida (VP _{corregido}) [6x7]		"H ₂ O	1.2275								
9	AUMENTO DE VELOCIDAD	V _{QT} < V _{UX} (Figura 51)		Verdadero								
10		V _{LP} < V _{UX} (Figura 51)		Falso								
11		Presión dinámica resultante de la unión (VPr)	"H ₂ O									
12		Pérdidas por incremento de velocidad	"H ₂ O	No aplica***								
13	TRAMOS RECTOS	Longitud de conducto recto	pie	1.9685								
14		Longitud de conducto recto	pie	6.9193								
15		Factor de pérdidas (Hf)	VP/pie	0.0179								
16		Pérdidas en VP [(13+14)x15]	VP	0.1589								
17		Pérdida total en tramos rectos [8x16]	"H ₂ O	0.1950								
18	CODOS	N° codos 90°		1								
19		Pérdidas en codos en VP [18xfactor]	VP	0.24								
20		Pérdida total en codos [8x19]	"H ₂ O	0.2946								
21	Otras pérdidas (lavador de gases)		"H ₂ O	2.4								
22	Presión estática (SP) acumulada		"H ₂ O	3.59								
23	Presión estática (SP) controlante		"H ₂ O									
24	SP IN		"H ₂ O	3.59								
25	SP OUT		"H ₂ O	2.5284								
<p>*Q_{LP} + Q_{QT} = Q_{UX} ** Q_{UX} * Fd₄ = Q_{YZ} * Fd₅ *** Como la velocidad en el conducto principal después de la unión no es superior a la mayor de las velocidades en los conductos que confluyen en la unión, no se aplica corrección a la presión estática del sistema.</p> <p>Presión dinámica corregida = VP_{corregido} = Fd x VP_{estándar} = Fd x $\left(\frac{V}{4005}\right)^2$</p> <p>Factor de pérdida por pie = Hf = $0.0307 \frac{V^{0.533}}{Q^{0.612}}$</p> <p>VPr = $\left(\frac{Q_1+Q_2}{4005 (A_1+A_2)}\right)^2$</p>			<p>Factor de pérdida de codo de 90° (5 piezas)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>R/D</th> <th>Factor de pérdida</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.5</td> <td>0.24</td> </tr> <tr> <td>2.0</td> <td>0.19</td> </tr> <tr> <td>2.5</td> <td>0.17</td> </tr> </tbody> </table> <p>R = radio del codo D = Diámetro del ducto</p>		R/D	Factor de pérdida	1.5	0.24	2.0	0.19	2.5	0.17
R/D	Factor de pérdida											
1.5	0.24											
2.0	0.19											
2.5	0.17											

En base a los resultados obtenidos en la tabla 82, 83 y 84 se decide modificar los conductos y accesorios sobre el horno de re-fusión, hasta antes de la intersección (punto T), en específico la zona sombreada de amarillo en la imagen 53, lo que conlleva a que cambien las características del ventilador a instalar.

Para mejorar la extracción de humos metálicos generados en los hornos de re-fusión se debe modificar el diámetro del conducto QT de 10" a 8", así mismo el diámetro de la campana se debe ampliar a 1.2 m (3.8 pies), según indica el anexo 9 "diseño de campanas elevadas para focos calientes", por consiguiente, las características mínimas que debe cumplir el ventilador del sistema de extracción localizada de los hornos de secado y re-fusión se detallan en la tabla 85.

Tabla 85

Características del ventilador del sistema de extracción localizada de los hornos de secado y re-fusión.

Cálculo de la presión estática del ventilador
FAN SP actual = SPout – SPin – VPin
FAN SP actual = 2.53 – (-3.59) – 1.23 = 4.89 "H ₂ O
FAN SP equivalente = 4.89 / 0.53 = 9.23 "H ₂ O
Caudal
Q = 4787 cfm

En resumen, implementando las modificaciones recomendadas, se requiere un ventilador de menor capacidad para el control de agentes químicos. Según la tabla 74, el sistema de extracción localizada de los hornos de secado y re-fusión requería un ventilador de 6247 cfm y FAN SP de 11.97" H₂O, con las modificaciones en el tramo QT y la campana de extracción, requiere un ventilador de capacidad de 4787 cfm y FAN SP 9.23" H₂O.

CAPÍTULO VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1. Humos metálicos

La implementación de controles se realizó en forma progresiva en dos etapas, según se indica en la tabla 86, primero la implementación de los hornos de inducción y su sistema de extracción localizada, posterior, el cambio de los ventiladores, la modificación de ductos y campana correspondientes al horno de re-fusión, y el mantenimiento general de ductos.

Tabla 86

Modificaciones en los sistemas de extracción de Refinería por sub-proceso

Etapa	Fundición de precipitado	Re-fusión de bullón
1	<ul style="list-style-type: none">• Implementación de los hornos de fusión a inducción.• Modificación del sistema de extracción localizada.	
2	<ul style="list-style-type: none">• Cambio de ventilador.• Mantenimiento de ductos.	<ul style="list-style-type: none">• Modificación del tramo QT, según figura 58, y la campana correspondiente al horno de re-fusión.• Cambio de ventilador.• Mantenimiento de ductos.

Como se explicó en el capítulo anterior, por aumento progresivo de la producción se decide implementar dos hornos de inducción, ya que cuenta con varias ventajas respecto a la calidad del producto, producción y salud del trabajador. Durante el tiempo que tome la compra, importación, instalación y periodo de prueba de los hornos de inducción, se refuerzan los controles administrativos y EPP, siendo prioridad para los trabajadores realizar los monitoreos biológicos de arsénico, cadmio y plomo con mayor frecuencia, para determinar si el equipo de protección respiratoria cumple adecuadamente con su función, considerando:

- 1) Inspección previa de las partes del respirador y sus filtros, para asegurar que se encuentran en buenas condiciones.
- 2) Verificar la hermeticidad del equipo de protección respiratoria al colocárselo.

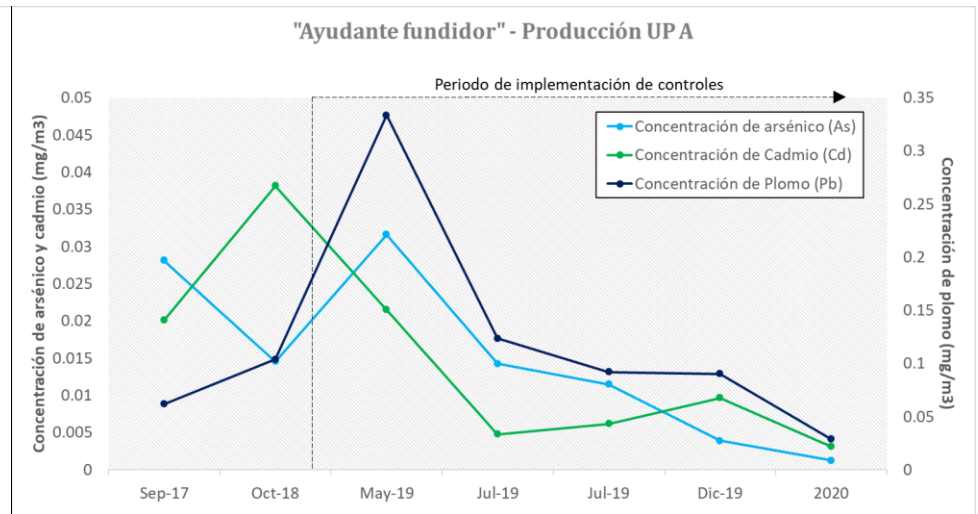
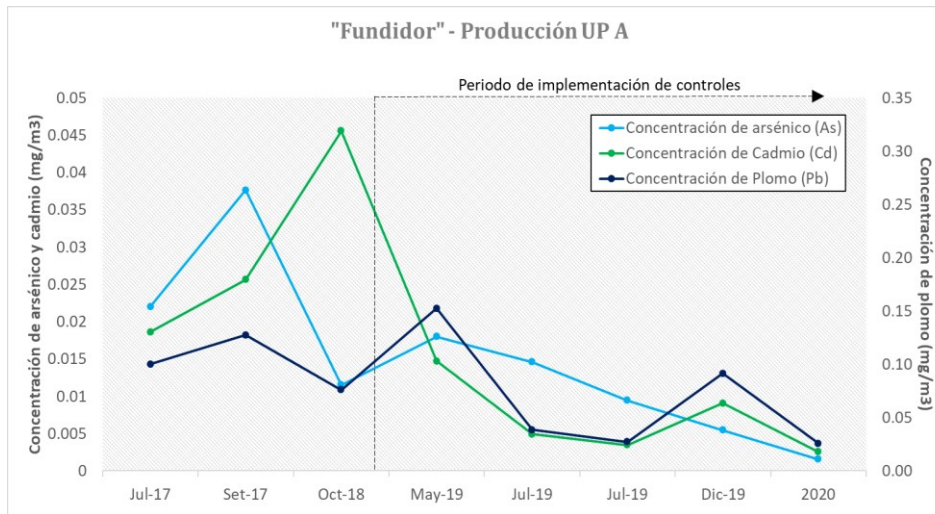
Vale mencionar que durante el proceso de mejora de los sistemas de extracción no se evidenciaron casos donde se haya sobrepasado el límite de exposición biológica para arsénico y cadmio en orina, y plomo en sangre.

A continuación, en la figura 59 se presenta el histórico de las concentraciones de arsénico, cadmio y plomo obtenidos en los monitoreos ocupacionales realizados en la Refinería antes y después de la implementación de las mejoras, especificado por Unidad de Producción y puesto de trabajo. De la figura 63 a la 74 se presentan las concentraciones de arsénico, cadmio y plomo, según corresponda, que sobrepasan el "TLV corregido" (línea horizontal color guinda) para un régimen laboral de 28x14 y jornada laboral de 12 horas por día.

Unidad de Producción A

Puesto de trabajo: "Fundidor"

Puesto de trabajo: "Ayudante fundidor"



Unidad de Producción B

"Fundidor" - Producción UP B

"Ayudante fundidor" - Producción UP B

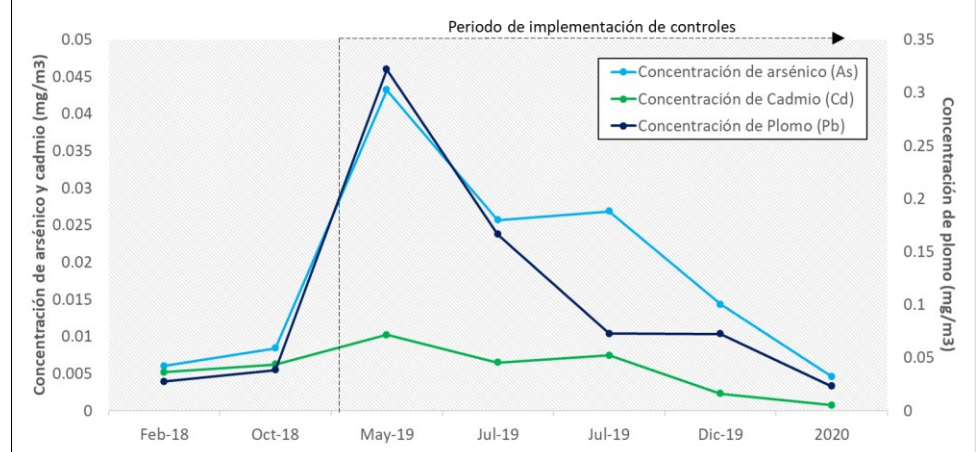
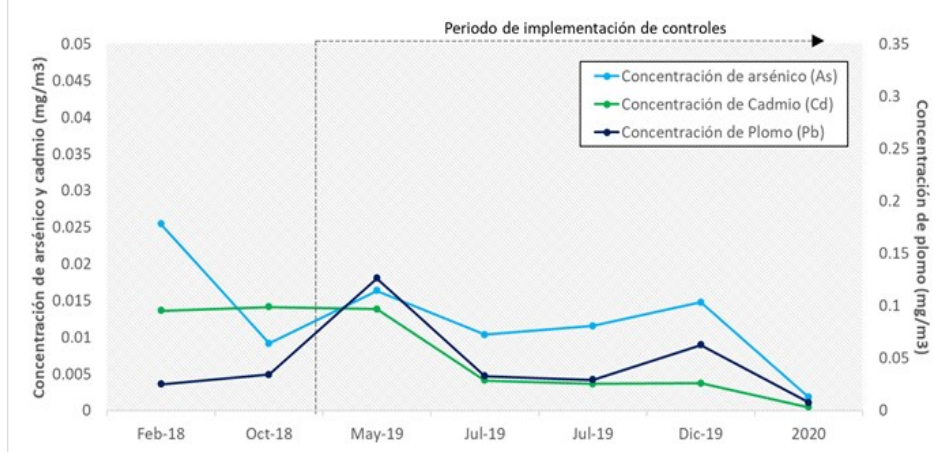


Figura 59. Concentraciones de arsénico, cadmio y plomo antes y después de la implementación de controles, por puesto de trabajo y Unidad de Producción. Fuente: Elaboración propia.

Tras la implementación completa de los hornos de inducción se observa de la figura 63 a la 74 que la concentración de arsénico, cadmio y plomo en algunos monitores aun sobrepasa el valor límite permisible corregido; para obtener una visión más específica del problema se realiza el monitoreo por actividad durante la jornada laboral y por puesto de trabajo, como se observa en las figuras 60 y 61.

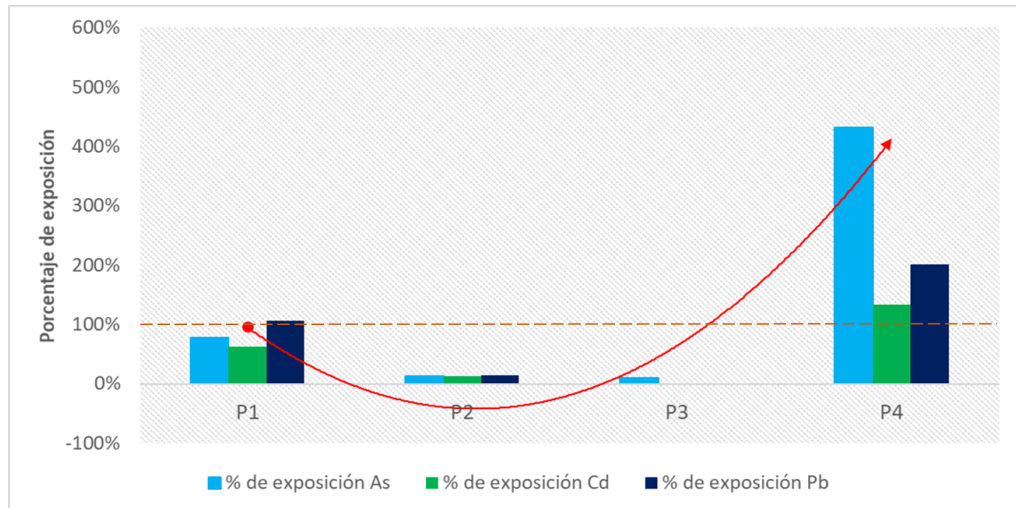


Figura 60. Concentraciones de arsénico, cadmio y plomo por actividad durante la jornada laboral del "Fundidor". Fuente: Elaboración propia.

P1 = Homogenizado de precipitado, reactivo y fundente en el cono mezclador

P2 = Fundición en los hornos de fusión a inducción

P3 = Periodo de almuerzo

P4 = Re-fusión

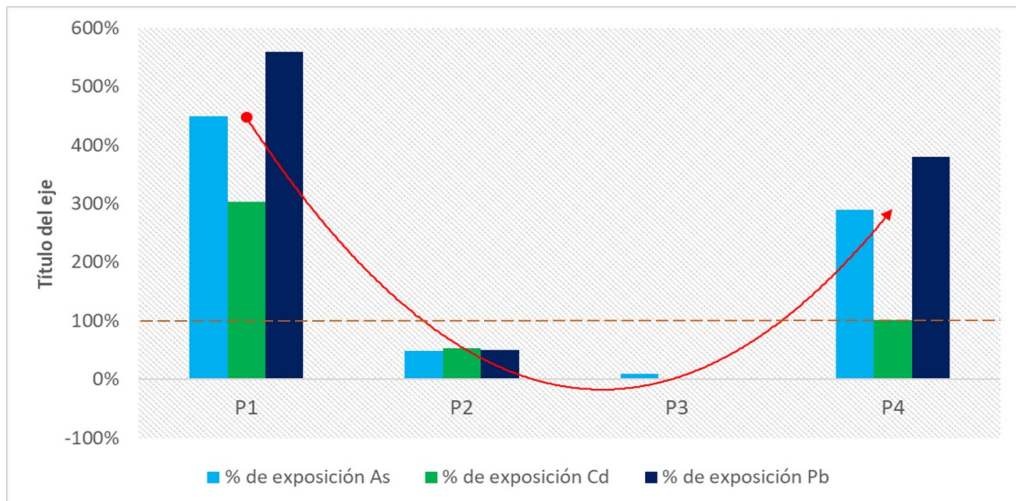


Figura 61. Concentraciones de arsénico, cadmio y plomo por actividad durante la jornada laboral del "Ayudante fundidor". Fuente: Elaboración propia.

P1 = Homogenizado de precipitado, reactivo y fundente en el cono mezclador

P2 = Fundición en los hornos de fusión a inducción

P3 = Periodo de almuerzo

P4 = Re-fusión

Los monitoreos entre julio y diciembre 2019 presentan el mismo patrón observado en las figuras 60 y 61. Se concluye que durante el homogenizado de precipitado y fundente en el cono mezclador (figura 62), el “ayudante fundidor” es el más expuesto, debido a que realiza la descarga del precipitado del contenedor al cono mezclador y posterior evacuación a una bandeja, mientras que el “fundidor” realiza el muestreo de la mezcla y pesaje. Tras identificar la causa raíz del problema, se realiza el mantenimiento y cambio de accesorios desgastados del cono mezclador, para evitar fugas del material particulado.

Durante la operación de los hornos de fusión a inducción y periodo de almuerzo no se sobrepasa el valor límite permisible corregido, sin embargo, durante la re-fusión del bullón la concentración de metales en el ambiente se eleva.

Los monitoreos realizados en la sección 3, que se observa en las figuras de los subtítulos 8.1.1, 8.1.2, 8.1.3 y 8.1.4 se realizaron mientras el cono mezclador estaba en mantenimiento, los hornos de fusión a inducción estaban operativos y las mejoras en el proceso de re-fusión no estaban implementadas.

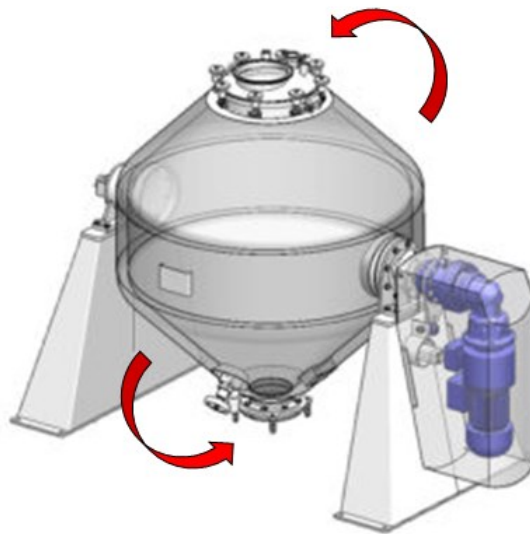


Figura 62. Cono mezclador para productos sólidos y pulverulentos. Recuperado de <https://bachiller.com/es/mezcladores-de-solidos-y-polvos/>

Según se observa desde la figura 63 a la 74, la exposición del fundidor y ayudante fundidor a arsénico, cadmio y plomo durante la fundición del precipitado obtenido de la Unidad de Producción A y B, disminuye conforme se van implementando las recomendaciones dadas en el capítulo VII.

Vale mencionar que las leyes de arsénico, cadmio y plomo en el precipitado dependen de la Unidad de Producción de que provienen, razón por la cual en un

mismo puesto de trabajo varía la concentración de metales a la que está expuesto según el precipitado que fundirá.

La curva que representa la concentración del metal a analizar, desde la figura 63 a la 74 está dividido por secciones, para exponer como influye la implementación progresiva de las recomendaciones. La medición en la sección 2 (mayo 2019) sobrepasa el valor límite permisible ajustado (TLV ajustado) porque corresponde al periodo inicial de instalación de los hornos de fusión a inducción donde aún se realizaban las pruebas iniciales de funcionamiento, ajuste de su sistema de extracción e implementación de algunos accesorios, por ello en el ambiente se propagaban los humos metálicos durante la apertura de la compuerta para adicionar el precipitado más fundentes, y durante la colada; además, las otras mejoras aún no se implementaban. Por características propias de sus tareas el tiempo de exposición a metales es mayor en el fundidor.

Las mediciones en la sección 3 corresponden al periodo donde se realizó el mantenimiento y cambio de partes desgastadas del cono mezclador, y mejora de los procedimientos operativos, ya que el proceso cambió con la implementación de los hornos de inducción. Como se mencionó anteriormente, las mediciones en la sección 3 presentan el mismo patrón que se observa en la figura 60 y 61, según corresponda, por lo que se hace hincapié al hecho que durante el funcionamiento de los hornos de inducción la concentración de metales está por debajo del TLV ajustado.

Podemos concluir en la sección 4 que, tras la implementación de todas las recomendaciones de diseño de los sistemas de extracción, el nivel de riesgo a la salud disminuye a bajo.

A continuación, se presentan los sub títulos 8.1.1, 8.1.2, 8.1.3 y 8.1.4, donde se detallan la concentración de arsénico, cadmio y plomo que están expuestos el fundidor y ayudante fundidor por Unidad de Producción.

8.1.1. Concentración de metales que está expuesto el “fundidor” durante la fundición de mineral obtenido de la UP A

a) Exposición del “fundidor” a arsénico – Mineral de la UP A

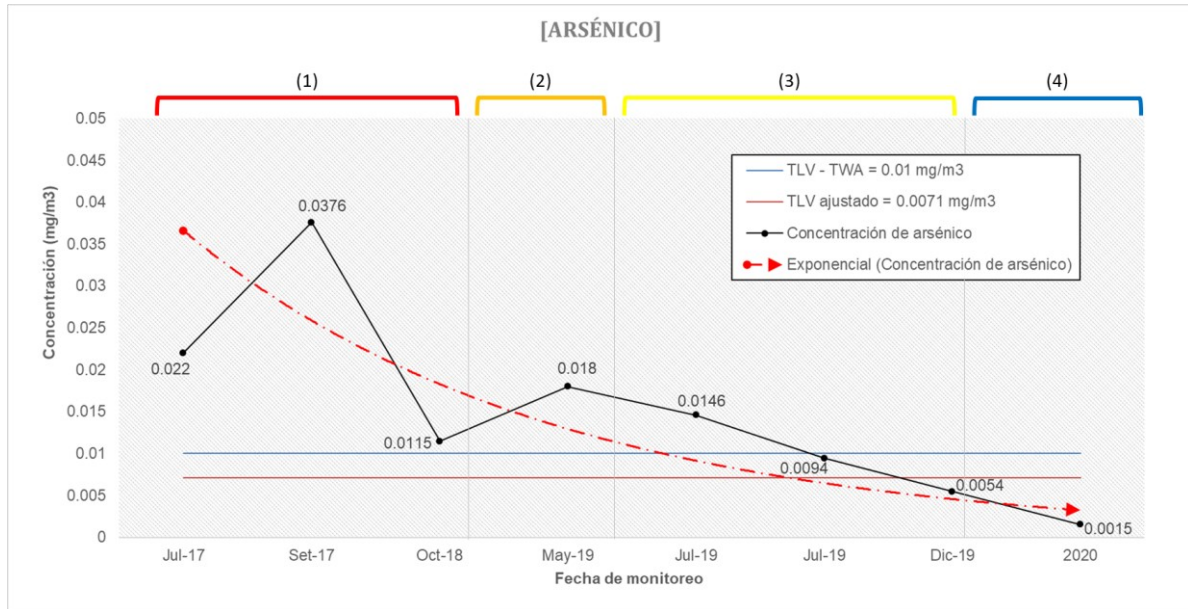


Figura 63. Concentraciones de arsénico antes y después de la implementación de controles, que está expuesto el fundidor durante la producción de la UP A. Fuente: Elaboración propia.

Sección 1: Fundición de metales con los hornos basculantes, antes de implementar los hornos de fusión a inducción y demás mejoras.

Sección 2: Periodo de prueba, ajuste e instalación de accesorios de los hornos de fusión a inducción.

Sección 3: Funcionamiento de los hornos de fusión a inducción y su sistema de extracción. Aún no se realiza el cambio de los ventiladores y modificación del sistema de extracción correspondiente al horno de re-fusión.

Sección 4: Implementación de ventiladores nuevos, mantenimiento de ductos y modificaciones correspondientes al sistema de extracción del horno de re-fusión.

b) Exposición del “fundidor” a cadmio – Mineral de la UP A

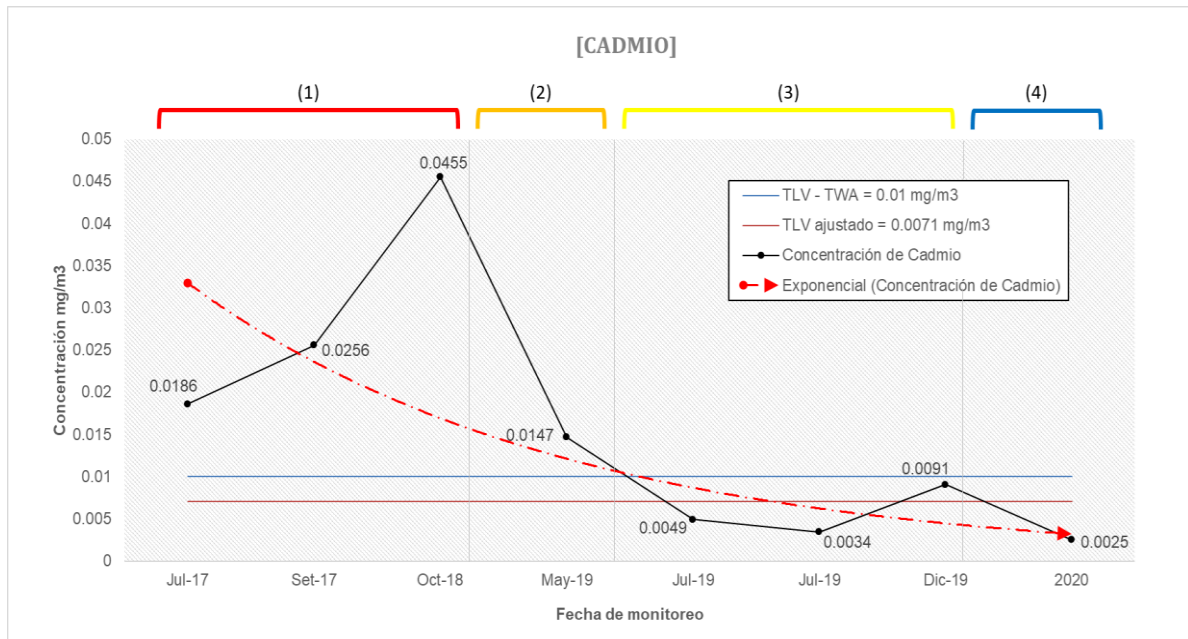


Figura 64. Concentraciones de cadmio antes y después de la implementación de controles, que está expuesto el fundidor durante la producción de la UP A. Fuente: Elaboración propia.

Sección 1: Fundición de metales antes de implementar los hornos de fusión a inducción y las demás mejoras.

Sección 2: Periodo de prueba, ajuste e instalación de accesorios de los hornos de fusión a inducción.

Sección 3: Funcionamiento de los hornos de fusión a inducción y su sistema de extracción. Aún no se realiza el cambio de los ventiladores y modificación del sistema de extracción correspondiente al horno de re-fusión.

Sección 4: Implementación de ventiladores nuevos, mantenimiento de ductos y modificaciones correspondientes al sistema de extracción del horno de re-fusión.

c) Exposición del “fundidor” a plomo – Mineral de la UP A

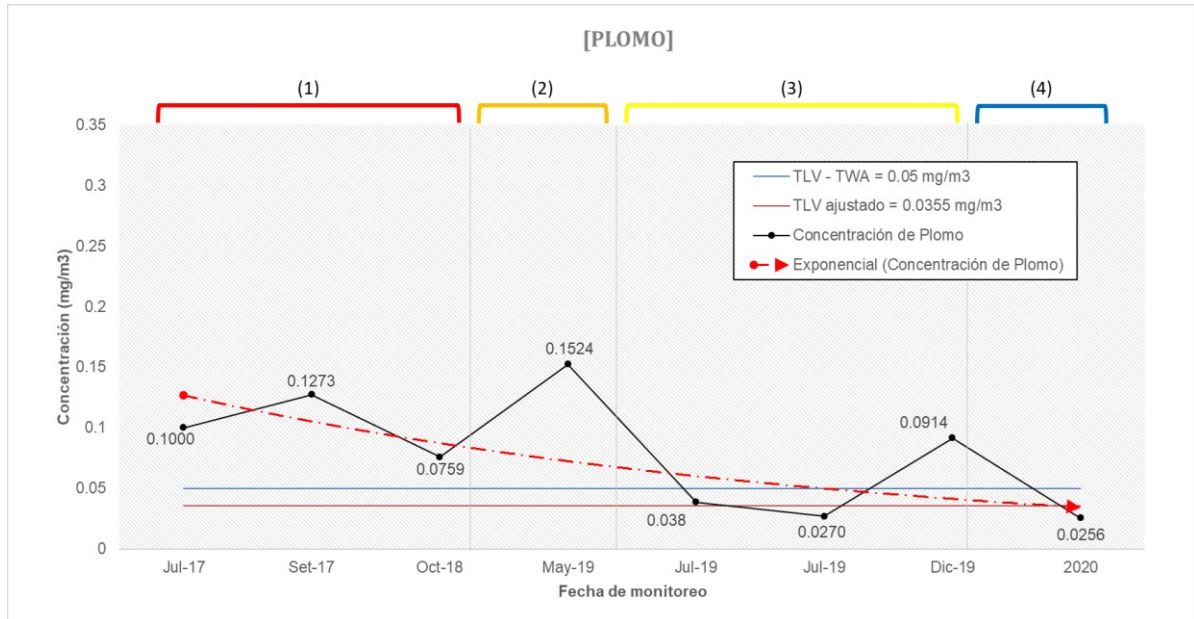


Figura 65. Concentraciones de plomo antes y después de la implementación de controles, que está expuesto el fundidor durante la producción de la UP A. Fuente: Elaboración propia.

Sección 1: Fundición de metales antes de implementar los hornos de fusión a inducción y las demás mejoras.

Sección 2: Periodo de prueba, ajuste e instalación de accesorios de los hornos de fusión a inducción.

Sección 3: Funcionamiento de los hornos de fusión a inducción y su sistema de extracción. Aún no se realiza el cambio de los ventiladores y modificación del sistema de extracción correspondiente al horno de re-fusión.

Sección 4: Implementación de ventiladores nuevos, mantenimiento de ductos y modificaciones correspondientes al sistema de extracción del horno de re-fusión.

8.1.2. Concentración de metales que está expuesto el “ayudante fundidor” durante la fundición de mineral obtenido de la UP

a) Exposición del “ayudante fundidor” a arsénico - Mineral de la UP A

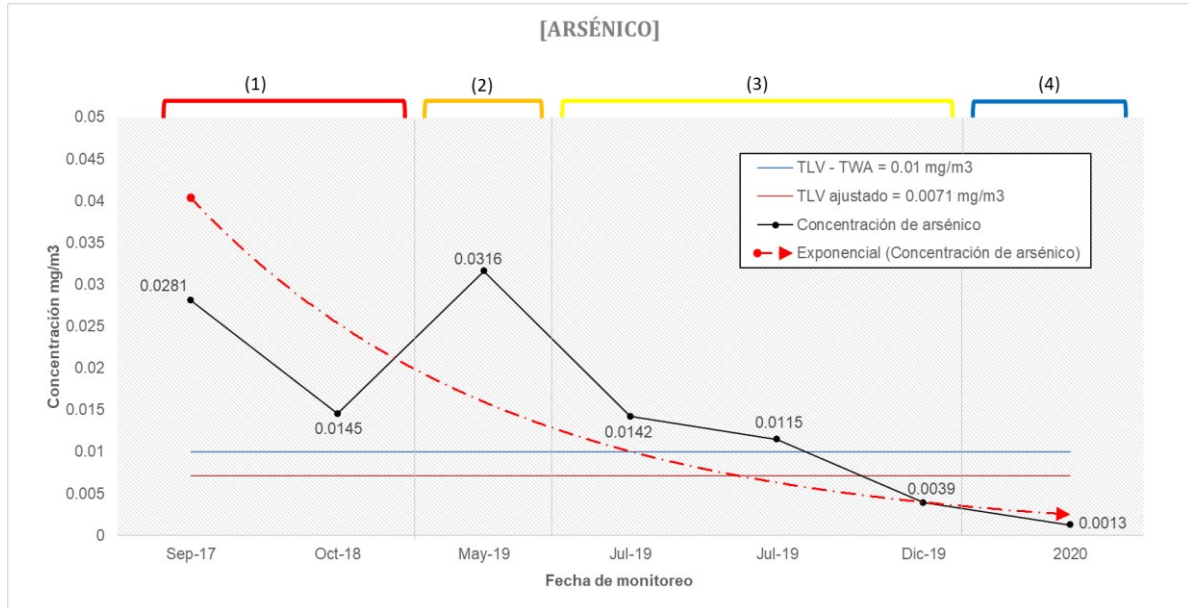


Figura 66. Concentraciones de arsénico antes y después de la implementación de controles, que está expuesto el ayudante fundidor durante la producción de la UP A. Fuente: Elaboración propia.

Sección 1: Fundición de metales antes de implementar los hornos de fusión a inducción y las demás mejoras.

Sección 2: Periodo de prueba, ajuste e instalación de accesorios de los hornos de fusión a inducción.

Sección 3: Funcionamiento de los hornos de fusión a inducción y su sistema de extracción. Aún no se realiza el cambio de los ventiladores y modificación del sistema de extracción correspondiente al horno de re-fusión.

Sección 4: Implementación de ventiladores nuevos, mantenimiento de ductos y modificaciones correspondientes al sistema de extracción del horno de re-fusión.

b) Exposición del “ayudante fundidor” a cadmio – Mineral de la UP A

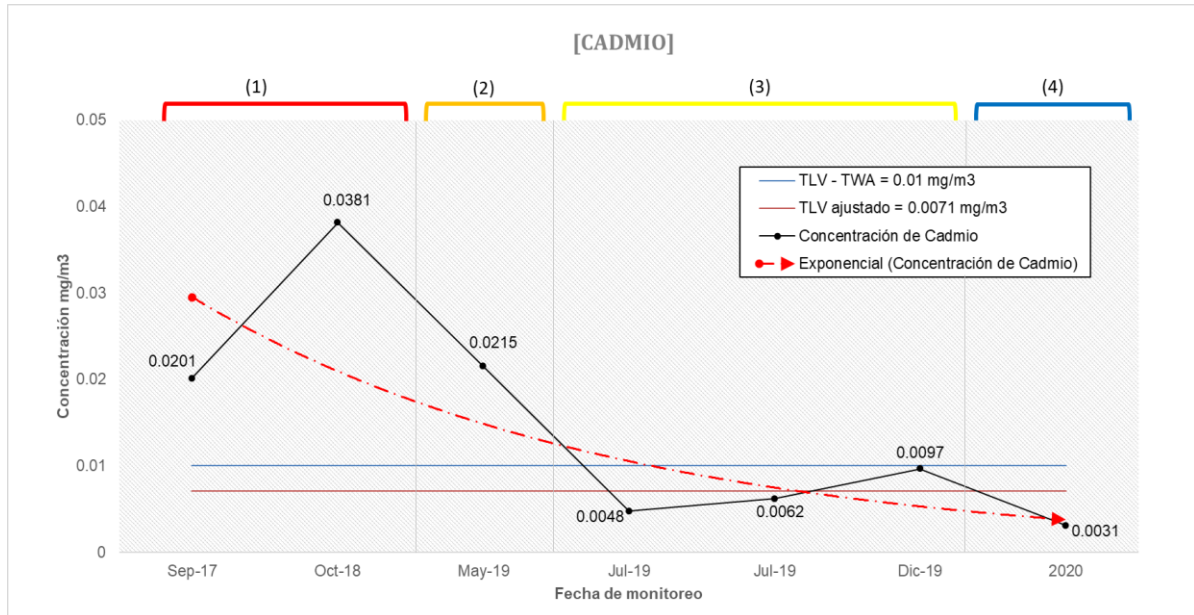


Figura 67. Concentraciones de cadmio antes y después de la implementación de controles, que está expuesto el ayudante fundidor durante la producción de la UP A. Fuente: Elaboración propia.

Sección 1: Fundición de metales antes de implementar los hornos de fusión a inducción y las demás mejoras.

Sección 2: Periodo de prueba, ajuste e instalación de accesorios de los hornos de fusión a inducción.

Sección 3: Funcionamiento de los hornos de fusión a inducción y su sistema de extracción. Aún no se realiza el cambio de los ventiladores y modificación del sistema de extracción correspondiente al horno de re-fusión.

Sección 4: Implementación de ventiladores nuevos, mantenimiento de ductos y modificaciones correspondientes al sistema de extracción del horno de re-fusión.

c) Exposición del “ayudante fundidor” a plomo - Mineral de la UP A

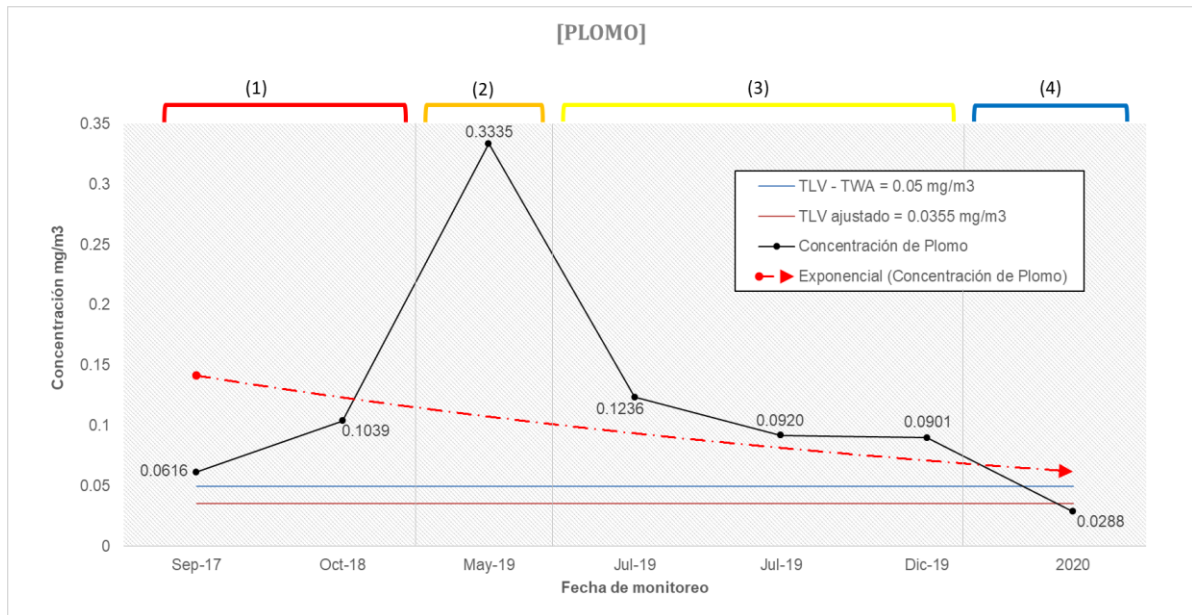


Figura 68. Concentraciones de plomo antes y después de la implementación de controles, que está expuesto el ayudante fundidor durante la producción de la UP A. Fuente: Elaboración propia.

Sección 1: Fundición de metales antes de implementar los hornos de fusión a inducción y las demás mejoras.

Sección 2: Periodo de prueba, ajuste e instalación de accesorios de los hornos de fusión a inducción.

Sección 3: Funcionamiento de los hornos de fusión a inducción y su sistema de extracción. Aún no se realiza el cambio de los ventiladores y modificación del sistema de extracción correspondiente al horno de re-fusión.

Sección 4: Implementación de ventiladores nuevos, mantenimiento de ductos y modificaciones correspondientes al sistema de extracción del horno de re-fusión.

8.1.3. Concentración de metales que está expuesto el “fundidor” durante la fundición de mineral obtenido de la UP B

a) Exposición del “fundidor” a arsénico - Mineral de la UP B

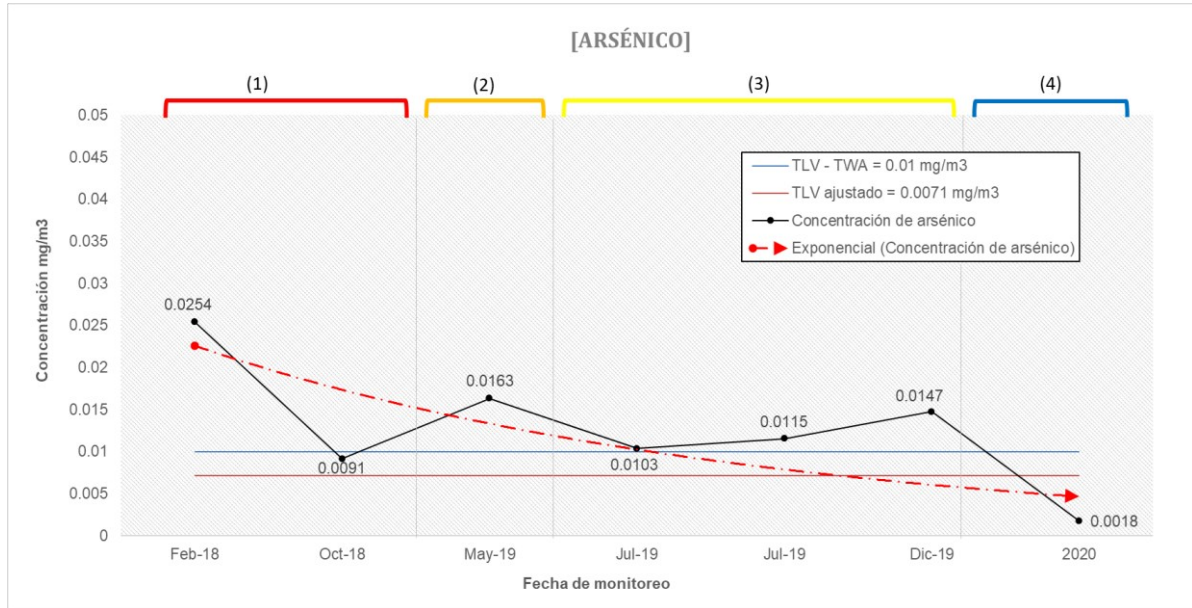


Figura 69. Concentraciones de arsénico antes y después de la implementación de controles, que está expuesto el fundidor durante la producción de la UP B. Fuente: Elaboración propia.

Sección 1: Fundición de metales antes de implementar los hornos de fusión a inducción y las demás mejoras.

Sección 2: Periodo de prueba, ajuste e instalación de accesorios de los hornos de fusión a inducción.

Sección 3: Funcionamiento de los hornos de fusión a inducción y su sistema de extracción. Aún no se realiza el cambio de los ventiladores y modificación del sistema de extracción correspondiente al horno de re-fusión.

Sección 4: Implementación de ventiladores nuevos, mantenimiento de ductos y modificaciones correspondientes al sistema de extracción del horno de re-fusión.

b) Exposición del “fundidor” a cadmio - Mineral de la UP B

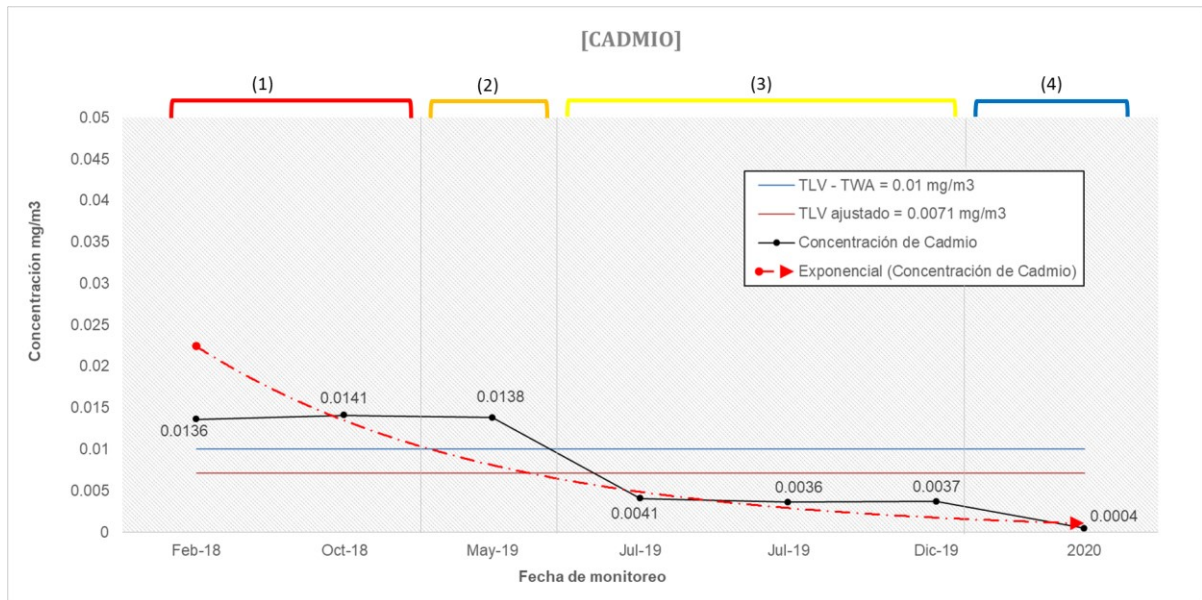


Figura 70. Concentraciones de cadmio antes y después de la implementación de controles, que está expuesto el fundidor durante la producción de la UP B. Fuente: Elaboración propia.

Sección 1: Fundición de metales antes de implementar los hornos de fusión a inducción y las demás mejoras.

Sección 2: Periodo de prueba, ajuste e instalación de accesorios de los hornos de fusión a inducción.

Sección 3: Funcionamiento de los hornos de fusión a inducción y su sistema de extracción. Aún no se realiza el cambio de los ventiladores y modificación del sistema de extracción correspondiente al horno de re-fusión.

Sección 4: Implementación de ventiladores nuevos, mantenimiento de ductos y modificaciones correspondientes al sistema de extracción del horno de re-fusión.

c) Exposición del “fundidor” a plomo – Mineral de la UP B

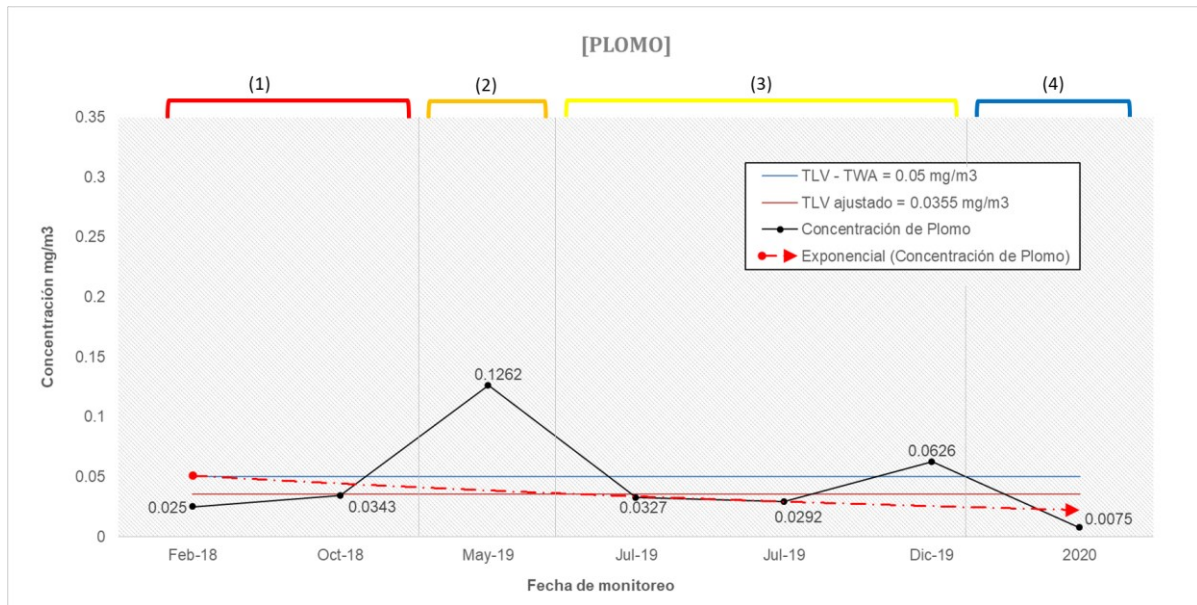


Figura 71. Concentraciones de plomo antes y después de la implementación de controles, que está expuesto el fundidor durante la producción de la UP B. Fuente: Elaboración propia.

Sección 1: Fundición de metales antes de implementar los hornos de fusión a inducción y las demás mejoras.

Sección 2: Periodo de prueba, ajuste e instalación de accesorios de los hornos de fusión a inducción.

Sección 3: Funcionamiento de los hornos de fusión a inducción y su sistema de extracción. Aún no se realiza el cambio de los ventiladores y modificación del sistema de extracción correspondiente al horno de re-fusión.

Sección 4: Implementación de ventiladores nuevos, mantenimiento de ductos y modificaciones correspondientes al sistema de extracción del horno de re-fusión.

8.1.4. Concentración de metales que está expuesto el “ayudante fundidor” durante la fundición de mineral obtenido de la UP B

a) Exposición del “ayudante fundidor” a arsénico – Mineral de la UP B

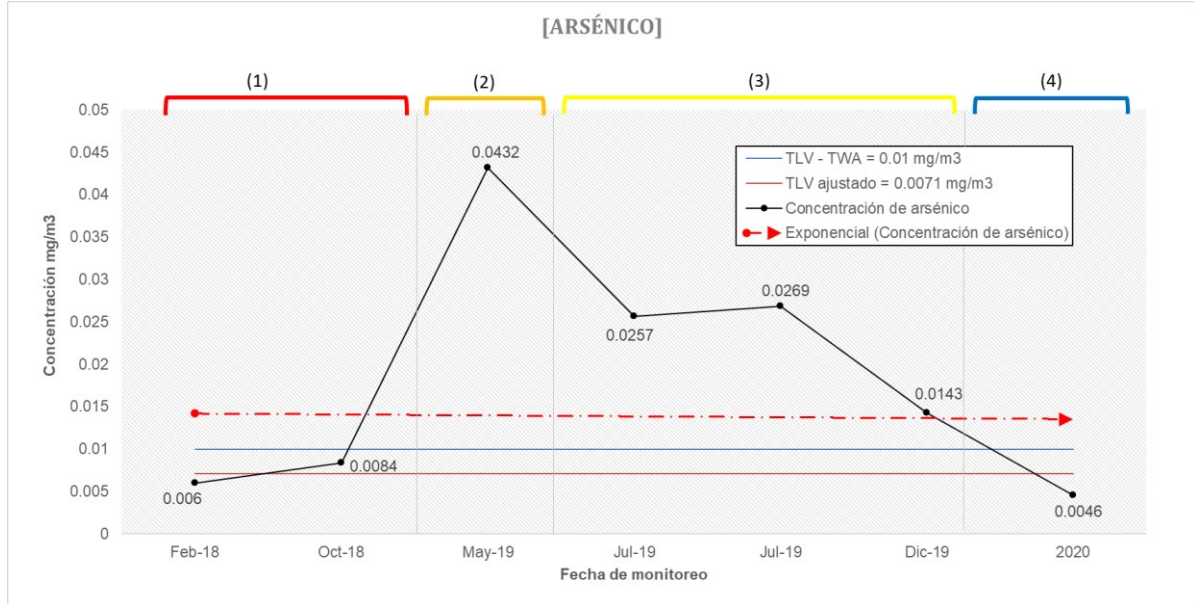


Figura 72. Concentraciones de arsénico antes y después de la implementación de controles, que está expuesto el ayudante fundidor durante la producción de la UP B. Fuente: Elaboración propia.

Sección 1: Fundición de metales antes de implementar los hornos de fusión a inducción y las demás mejoras.

Sección 2: Periodo de prueba, ajuste e instalación de accesorios de los hornos de fusión a inducción.

Sección 3: Funcionamiento de los hornos de fusión a inducción y su sistema de extracción. Aún no se realiza el cambio de los ventiladores y modificación del sistema de extracción correspondiente al horno de re-fusión.

Sección 4: Implementación de ventiladores nuevos, mantenimiento de ductos y modificaciones correspondientes al sistema de extracción del horno de re-fusión.

b) Exposición del “ayudante fundidor” a cadmio – Mineral de la UP B

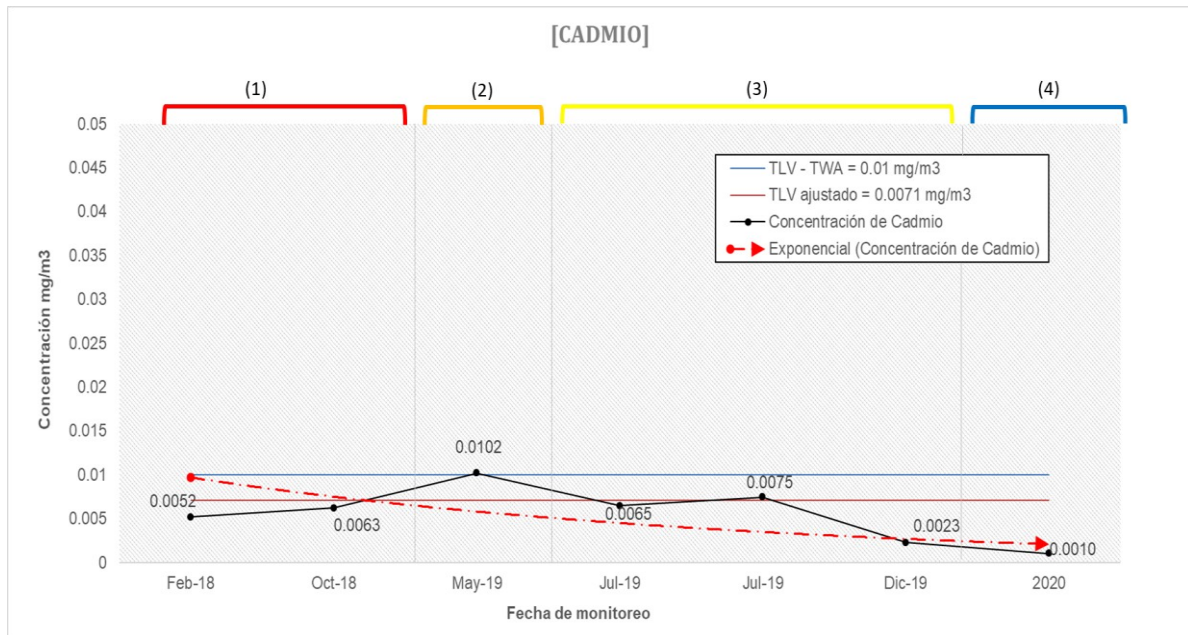


Figura 73. Concentraciones de cadmio antes y después de la implementación de controles, que está expuesto el ayudante fundidor durante la producción de la UP B. Fuente: Elaboración propia.

Sección 1: Fundición de metales antes de implementar los hornos de fusión a inducción y las demás mejoras.

Sección 2: Periodo de prueba, ajuste e instalación de accesorios de los hornos de fusión a inducción.

Sección 3: Funcionamiento de los hornos de fusión a inducción y su sistema de extracción. Aún no se realiza el cambio de los ventiladores y modificación del sistema de extracción correspondiente al horno de re-fusión.

Sección 4: Implementación de ventiladores nuevos, mantenimiento de ductos y modificaciones correspondientes al sistema de extracción del horno de re-fusión.

c) Exposición del “ayudante fundidor” a plomo – Mineral de la UP B

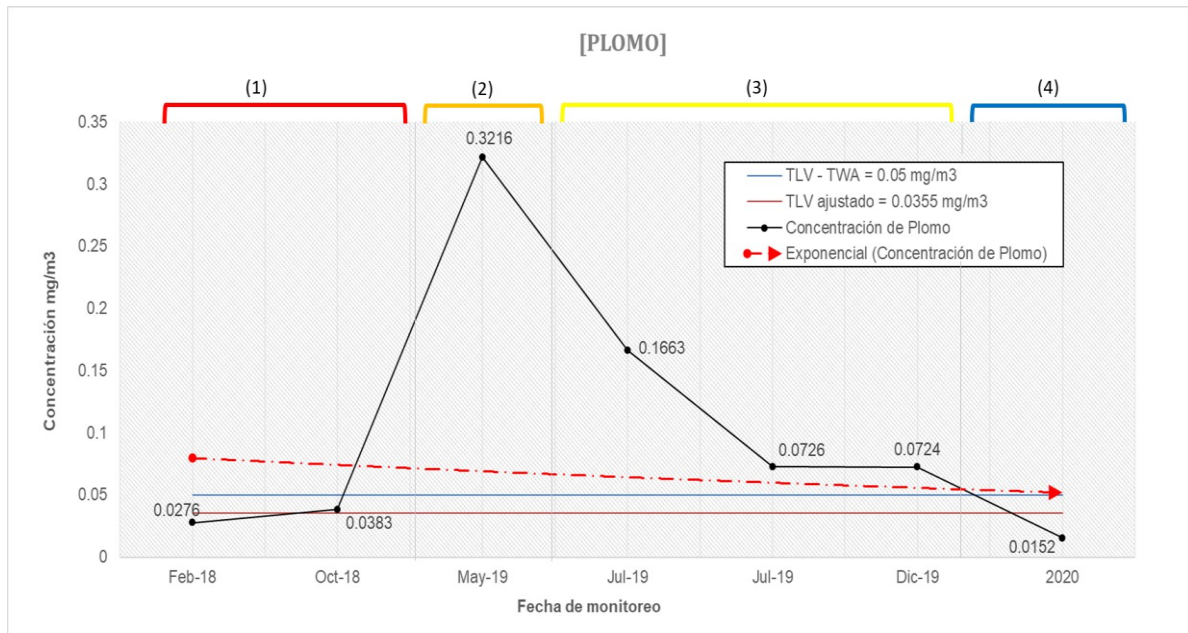


Figura 74. Concentraciones de plomo antes y después de la implementación de controles, que está expuesto el ayudante fundidor durante la producción de la UP B. Fuente: Elaboración propia.

Sección 1: Fundición de metales antes de implementar los hornos de fusión a inducción y las demás mejoras.

Sección 2: Periodo de prueba, ajuste e instalación de accesorios de los hornos de fusión a inducción.

Sección 3: Funcionamiento de los hornos de fusión a inducción y su sistema de extracción. Aún no se realiza el cambio de los ventiladores y modificación del sistema de extracción correspondiente al horno de re-fusión.

Sección 4: Implementación de ventiladores nuevos, mantenimiento de ductos y modificaciones correspondientes al sistema de extracción del horno de re-fusión.

8.2. Ruido

El impacto ocasionado por la modificación en los sistemas de extracción localizada, el mantenimiento de ductos, cambio de los hornos de fundición y modificación de los procedimientos operativos, no solo repercutió en la disminución de la concentración de metales en el ambiente de trabajo, sino también en los demás agentes ocupacionales, como el ruido.

Siendo la principal fuente de ruido los ventiladores de los sistemas de extracción, al ser cambiados y al ejecutar el mantenimiento general del sistema de extracción los factores que favorecen a la generación de ruido disminuyeron o, en algunos casos, fueron eliminados. Por ello el nivel de ruido equivalente continuo (Leq) obtenido en el monitoreo realizado en diciembre 2019 disminuyó en comparación a la medición realizada en febrero 2018.

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 87, se concluye que la exposición a ruido disminuyó en 3.2 dB en el puesto de trabajo “jefe de refinería”, 6.6 dB en el “fundidor” y 1.5 dB en el “ayudante fundidor”, además, ahora el puesto de trabajo que está más expuesto a ruido es el ayudante fundidor, a diferencia de los resultados obtenidos antes de la implementación de las modificaciones y mejoras, donde el puesto de trabajo que estaba expuesto a un mayor nivel de ruido era el fundidor.

Tabla 87

Resultados del monitoreo de ruido realizado al personal de Refinería en diciembre 2019.

Puesto de trabajo	Leq	Dosis	LMP	Equipo de protección auditiva	
				Tipo	NRR
Jefe Refinería	84.6 dB(A)	138%	83.2	Tapón auditivo 3M 1271	25
Fundidor	91.8 dB(A)	729%	83.2	Orejera 3M Peltor X4P51E	25
Ayudante del fundidor	93.4 dB(A)	1056%	83.2		

LMP = Límite máximo permisible para un tiempo de exposición de 12 horas.

Leq = Nivel sonoro equivalente continuo.

El jefe de refinería usa tapones auditivos 3M 1271 con un periodo de cambio de 3 días. El nivel de reducción del ruido (NRR), según indica su ficha técnica (Anexo 7) es 25 dB, este valor representa el nivel de ruido que atenúa el protector auditivo en condiciones óptimas o de laboratorio.

El fundidor y ayudante fundidor usan orejeras 3M Peltor X4P51E con un periodo de cambio de 4 meses. El nivel de reducción del ruido (NRR), según indica su ficha técnica (Anexo 8) es 25 dB

En la tabla 88 se presenta el nivel de ruido que están expuestos los trabajadores en Refinería usando el tapón auditivo 3M 1271, en el caso del jefe de refinería, y las orejeras 3M Peltor X4P51E, en el fundidor y ayudante fundidor, observándose en todos los casos una dosis de exposición baja.

Por las nuevas condiciones de trabajo se recomendó cambiar de equipo de protección auditiva al fundidor y ayudante fundidor, de orejeras a tapones auditivos ya que la dosis de exposición seguirá siendo baja, como se observa en la tabla 89.

Tabla 88

Nivel de ruido que está expuesto el personal en Refinería usando protección auditiva

Puesto de trabajo	Leq	Equipo de protección auditiva			Leq usando protector auditivo	Dosis usando protector auditivo	LMP ₁₂
		Tipo	NRR	NRR real			
Jefe de refinería	84.6 dB(A)	Tapones auditivos 3M 1271	25 dB	11 dB	73.6 dB(A)	10.9%	83.2 dB(A)
Fundidor	91.8 dB(A)	Orejera 3M Peltor X4P51E	25 dB	25 dB	66.8 dB(A)	2.3%	
Ayudante del fundidor	93.4 dB(A)				68.4 dB(A)	3.3%	

LMP₁₂ = Límite máximo permisible para un tiempo de exposición de 12 horas.

Leq = Nivel sonoro equivalente continuo.

NRR real = Resultados obtenidos de mediciones realizadas con el EarFit de 3M, según se menciona en el apartado 5.1.

Tabla 89

Nivel de ruido que está expuesto el personal en Refinería usando tapón auditivo 3M 1271

Puesto de trabajo	Leq	Equipo de protección auditiva			Leq usando protector auditivo	Dosis usando protector auditivo	LMP ₁₂
		Tipo	NRR	NRR real			
Jefe de refinería	84.6 dB(A)	Tapón auditivo 3M 1271	25 dB	11 dB	73.6 dB(A)	10.9%	83.2 dB(A)
Fundidor	91.8 dB(A)			15 dB	76.8 dB(A)	23%	
Ayudante del fundidor	93.4 dB(A)			78.4 dB(A)	33%		

LMP₁₂ = Límite máximo permisible para un tiempo de exposición de 12 horas.

Leq = Nivel sonoro equivalente continuo.

NRR real = Resultados obtenidos de mediciones realizadas con el EarFit de 3M, según se menciona en el apartado 5.1.

Se concluye que al cambiar las fuentes representativas de ruido (que son los ventiladores del sistema de extracción), al disminuir los factores que favorecen la generación de ruido (como la vibración generada por accesorios sueltos del sistema de extracción y fugas de aire en los empalmes entre los ductos) y al modificar los procedimientos operativos (donde se disminuyó el tiempo de exposición efectiva) el nivel de ruido disminuye, siendo solo necesario el uso de tapones auditivos para evitar daño a la salud de los trabajadores en Refinería.

8.3. Estrés térmico

El cambio de los hornos basculantes a hornos de inducción, la mejora en la eficiencia de los sistemas de extracción y la aplicación adecuada de controles administrativos, como la implementación de tiempos estandarizados de recuperación e hidratación, favorecieron a que el nivel de riesgo por exposición a estrés térmico disminuya de alto a medio, según metodología ISC.

El análisis, según la metodología TGBH, de los resultados de la medición realizada en diciembre del 2019 son los mostrados en la tabla 90, donde se observa que el nivel de riesgo que está expuesto el fundidor y ayudante fundidor es bajo.

Comparando la tabla 52 y la tabla 91 podemos resaltar que el cambio más significativo, tras implementar las mejoras en el sistema de extracción y el cambio de los hornos de fundición, es la disminución de la temperatura de calor radiante/globo en un 18% (6.7°C).

Tabla 90

Análisis de los resultados obtenidos en el monitoreo de estrés térmico realizado al fundidor y ayudante fundidor en diciembre 2019, según metodología TGBH

Puesto de trabajo	Gasto metabólico	Categoría de intensidad de trabajo	Ciclo de trabajo	TGBH	Valor de acción	Valor límite	Nivel de riesgo
Fundidor	277 Kcal/h	Moderado	75% a 100%	24 °C	25°C	28°C	Bajo
Ayudante fundidor	258 Kcal/h	Moderado	75% a 100%	24 °C	25°C	28°C	Bajo

Tabla 91

Parámetros usados para estimación del riesgo por metodología TGBH a la exposición a estrés térmico, según tabla 90.

Puesto de trabajo	Fundidor	Ayudante refinador
Zona de trabajo	Fundición	Fundición
Parámetro	Valores obtenidos	
Temperatura de Aire Seco	30.4 °C	30.4 °C
Temperatura de Bulbo Húmedo	20.8 °C	20.8 °C
Temperatura Calor Radiante/globo	29.9 °C	29.9 °C
Índice TGBH antes de corrección*	23.5 °C	23.5 °C
Índice TGBH Final	24 °C	24 °C
Gasto metabólico promedio de actividad	3.04 kcal/min	2.77 kcal/min
Gasto metabólico basal	1 kcal/min	1 kcal/min
Gasto metabólico total	4.04 kcal/min	3.77 kcal/min
	242.5 kcal/h	226.2 kcal/h
Peso promedio del trabajador	80 kg	80 kg
Factor de corrección	1.14	1.14
Gasto metabólico final	277 kcal/h	258 kcal/h
Categoría de intensidad de trabajo	Moderado	Moderado

* Se aplica un factor de corrección por el tipo de vestimenta que usan los trabajadores en Refinería

Complementando, también se realizó el análisis de los resultados por la metodología ISC, según se observa en la tabla 92 el nivel de riesgo del fundidor y ayudante fundidor por exposición a estrés térmico es medio. Como el índice de sobrecarga calórica no sobrepasa el 100% y, como se observa en la tabla 93, la evaporación requerida (E req) es menor a la evaporación máxima (Emáx), no es necesario implementar tiempos de recuperación, pero de todas maneras tras la modificación de los procedimientos operativos se consideran 10 minutos para recuperarse y rehidratarse cada dos horas.

Tabla 92

Análisis de los resultados obtenidos en el monitoreo de estrés térmico realizado al fundidor y ayudante fundidor en diciembre 2019, según metodología ISC.

Puesto de trabajo	Gasto metabólico	Categoría de intensidad de trabajo	ISC*	Nivel de riesgo
Fundidor	277 Kcal/h	Moderado	83%	Medio
Ayudante del fundidor	258 Kcal/h	Moderado	75%	Medio

* ISC = Índice de sobrecarga calórica

Tabla 93

Parámetros usados para estimación del riesgo por exposición a estrés térmico por metodología ISC, según tabla 92.

Puesto de trabajo	Fundidor	Ayudante refinador
Parámetro	Valores obtenidos	
Temperatura de Aire Seco	30.4 °C	30.4 °C
Temperatura de Bulbo Húmedo	20.8 °C	20.8 °C
Temperatura Calor Radiante/globo	29.9 °C	29.9 °C
Gasto metabólico total	242.5 kcal/h	226.2 kcal/h
Peso promedio del trabajador	80 kg	80 kg
Factor de corrección	1.14	1.14
Gasto metabólico final	277 kcal/h	258 kcal/h
Velocidad del aire	0.16 m/s	0.16 m/s
Humedad relativa	38.6%	38.6%
Calor radiante	-62.90 kcal/h	-62.90 kcal/h
Calor por conducción - convección	-17.87 kcal/h	-17.87 kcal/h
Evaporación requerida	196.23 kcal/h	177.23 kcal/h
Evaporación máxima	236.55 kcal/h	236.55 kcal/h

CAPÍTULO IX. CONCLUSIONES

- 1) Una adecuada inspección cualitativa y cuantitativa de los sistemas de extracción localizada de los hornos de fundición y re fusión, y los monitoreos de agentes ocupacionales, favorecieron a la identificación de las condiciones sub estándares más críticas a presentarse durante la ejecución de las actividades en la Refinería, las cuales cuentan con el potencial de favorecer a la ocurrencia de enfermedades ocupacionales. Tras reuniones con el equipo multidisciplinario, las evidencias obtenidas ayudaron a priorizar las acciones a ejecutar y definir a los responsables.
- 2) Tras una adecuada gestión del riesgo, se priorizó el control de los humos metálicos generados en la fundición de metales. Se identificó que el diseño inicial de ventilación de los sistemas de extracción localizada no era el adecuado, además de presentarse deterioro por los años en operación (principalmente del motor del ventilador), por lo que para implementar las mejoras se realizó un nuevo diseño de ventilación basado en lo indicado en el manual de ventilación industrial de la ACGIH, considerando, además, la ubicación de los hornos de inducción a implementar. La modificación más importante en el sistema de extracción de los hornos de fundición fue adaptar los ductos de 10.4" y 16" a los hornos de inducción y cambio del ventilador, así mismo, en los hornos de re fusión fue modificar el ducto de entrada de 10" a 8", ampliar la campana y cambio de ventilador.

Tras la implementación de las mejoras a los sistemas de extracción localizada y cambio de los hornos de fundición la concentración de arsénico, cadmio y plomo que está expuesto el fundidor disminuyó en un 93%, 86% y 74%, respectivamente, durante la fundición del precipitado obtenido de la UP A, y 93%, 97% y 70% durante la fundición del precipitado obtenido de la UP B. Así mismo, la concentración de arsénico, cadmio y plomo que está expuesto el ayudante fundidor disminuyó en un 96%, 85% y 53%, respectivamente, durante la fundición del precipitado obtenido de la UP A, y 24%, 80% y 45% durante la fundición del precipitado obtenido de la UP B; favoreciendo que el riesgo a la salud de los trabajadores por exposición a metales disminuya de alto a bajo.

- 3) Al realizar el mantenimiento de los sistemas de extracción localizada eliminamos los factores que favorecen al aumento del nivel de ruido en el ambiente laboral, como partes sin ajustar que vibraban al momento de la operación. Así mismo, la implementación de nuevos ventiladores, en donde el correspondiente a los hornos de fundición es de menor potencia que el ventilador inicial, favoreció a que el nivel de ruido en el ambiente disminuya, siendo necesario solo el uso de tapones auditivos para minimizar la exposición a ruido a un nivel de riesgo bajo.
- 4) Al modificar el proceso con la implementación de los hornos de inducción, el calor radiante emitido disminuyó en un 18%, esto debido al diseño que presentan porque cuentan con una compuerta, además que, la extracción de gases y partículas

generadas en la fundición es dirigida por allí. Los trabajadores manifiestan mayor confort térmico al realizar sus actividades, pero aún se mantienen los tiempos de recuperación, rehidratación constante y uso de trajes aluminizados, logrando minimizar el riesgo a la salud de los trabajadores, por exposición a estrés térmico, a medio.

- 5) Para desarrollar un adecuado plan de acción ante los factores de riesgo ocupacionales presentes en el área de trabajo, es importante realizar una evaluación cualitativa donde se valoren la frecuencia de exposición, tiempos de exposición, concentración o nivel del agente evaluado y efectos a la salud que estos ocasionan; es importante complementar la evaluación con entrevistas a los trabajadores, así mismo, analizar su historial médico. Para fines de esta tesis, según la evaluación cualitativa realizada, se ha implementado un plan de acción para los peligros ocupacionales categorizados como “medio”, “alto” y “muy alto”, según se observa en las tablas 41, 42 y 43, ya que son los que cuentan con mayor probabilidad de causar daño a la salud de los trabajadores. Al dirigir las acciones se optimizan recursos para controlar factores de riesgo críticos.

CAPÍTULO X. RECOMENDACIONES

1) Realizar la verificación de los sistemas de extracción localizada en Refinería, de preferencia cada 4 meses o según recomiende el fabricante, donde se mida la presión estática, presión dinámica, caudal y velocidad del aire en los puntos definidos por el fabricante, aceptándose desviaciones de $\pm 10\%$ respecto a los valores de diseño. Se recomienda seguir el siguiente procedimiento (ACGIH, 1998):

- Determinar el caudal en el conducto mediante un tubo de Pitot o anemómetro. En caso el valor obtenido sea diferente al valor de diseño se debe verificar la condición del ventilador.
- Medir la presión estática a la entrada y salida del ventilador con un tubo de Pitot, tras ello calcular la presión estática del ventilador. Mediante la curva característica del ventilador verifique el caudal, la presión estática del ventilador y la velocidad de giro del mismo. Si el funcionamiento es satisfactorio el ventilador funciona correctamente.
- Medir la presión estática en cada una de las campanas y comparar el resultado con el valor de diseño. En caso el valor obtenido sea diferente al valor de diseño verificar el tamaño y diseño de las campanas y si cuentan con obstrucciones.
- Medir la presión estática en las uniones o acoples en los conductos y compara con los datos de diseño. En caso el valor obtenido sea diferente al valor de diseño verificar los ángulos de las uniones o acoples de conductos respecto a los planos, los radios de los codos, el diámetro de los conductos y la presencia de obstrucciones.
- Medir las velocidades en todas las campanas.

Todos los defectos encontrados en el sistema de extracción deben ser corregidos para asegurar su eficiencia en la captura de agentes químicos. Se recomienda contar con los siguientes documentos:

- Plano del sistema de extracción localizada.
- Cálculo de diseño.
- Curvas del ventilador.
- Presión estática de las campanas medida en campo.
- Plan de mantenimiento del sistema de extracción.
- Tabla para apuntar las medidas periódicas del caudal y la presión estática en las campanas.
- Tabla para apuntar los datos de mantenimiento.
- Certificado de calibración de los equipos usados para verificación del sistema de extracción.

2) Realizar mantenimiento preventivo periódico, y correctivo cuando aplique, de los conductos, codos y ventilador del sistema de extracción localizada.

- 3) Para aumentar la eficiencia en la captación de metales durante la re-fusión, y para disminuir el estrés térmico generado durante su operación, cambiar el horno de crisol por un horno de inducción, esto conllevaría a modificar la campana del sistema de extracción de un tipo canopy a un tipo brida abierta. Como se sabe, las campanas tipo canopy tienen un defecto, si el flujo de generación de contaminantes es mayor al flujo de extracción ocurrirá un “desborde” de estos.
- 4) Para aumentar la eficiencia del control del ruido durante el proceso de fundición y re-fusión se debe implementar una cabina acústica semicerrada, para direccionar la propagación del ruido y así disminuir la influencia en el entorno de trabajo.
- 5) Si en un futuro el personal en Refinería es cambiado se debe realizar nuevamente las pruebas de ajuste de protección auditiva con el Earfit 3M, ya que en esta tesis se ha considerado como índice de reducción del ruido los resultados obtenidos mediante evaluación cuantitativa y no cualitativa.
- 6) Es importante verificar la compatibilidad entre los diferentes equipos de protección personal que usa un trabajador, para asegurar el factor de protección adecuado. Como ejemplo podemos mencionar una evaluación realizada en la Unidad Minera del cual consta esta tesis, donde se evaluó el ajuste de la protección auditiva en 300 trabajadores, concluyéndose que el nivel de atenuación promedio depende del tipo de lente de seguridad que usen. Los resultados se observan en la figura 75.

Orejas de prueba Lentes de prueba	 Orejas MSA SH	 Orejas Libus L 360	 Orejas 3M X4P51E	 Orejas MSA HPE
 Lente de malla SPRO	14 dB de atenuación promedio	12 dB de atenuación promedio	15 dB de atenuación promedio	10 dB de atenuación promedio
 Lentes de policarbonato 3M Securefit SF 407	26 dB de atenuación promedio	24 dB de atenuación promedio	26 dB de atenuación promedio	13 dB de atenuación promedio

Figura 75. Atenuación promedio de los protectores auditivos colocados en el casco de ala ancha (o casco minero) según tipo de lente de seguridad. Fuente: Elaboración propia.

- 7) Continuar realizando monitoreos ocupacionales de ruido, estrés térmico y metales en los puestos de trabajo en Refinería, con el fin de observar la trazabilidad de sus concentraciones o niveles.

- 8) Continuar realizando monitoreos biológicos de arsénio, cadmio y plomo en los trabajadores en Refinería.
- 9) A todos los procedimientos y estándares implementados o modificados se aplicará la Disciplina Operativa.

La disciplina operativa es una herramienta de gestión de Dupont que establece altos estándares de desempeño (procedimientos, estándares, instructivos, etc) para realizar el trabajo en una forma correcta, segura y consistente. La disciplina operativa cuenta con las siguientes etapas:

- **Comunicación:** Consiste en asegurar que todos los procedimientos, estándares, instructivos, etc, requeridos para las operaciones y/o actividades estén escritos, disponibles y accesibles en las áreas de trabajo donde se realizan, para garantizar:
 - Una adecuada cobertura de procedimientos para cada operación/actividad que los requiere.
 - Que se cuente con información correcta, actualizada y consistente en todas las áreas.
 - Se definan las prioridades para la elaboración y revisión de los procedimientos.
- **Calidad:** Consiste en asegurar la calidad de los procedimientos, estándares, etc, y que estén vigentes, para garantizar:
 - Que sean claros, específicos y concretos, resaltando los puntos críticos y los límites de operaciones o las actividades que describen.
 - Identificando los riesgos existentes, así como las acciones preventivas necesarias.
 - Reflejen el estado actual de los procesos y las operaciones.
 - La frecuencia requerida, incorporando las modificaciones en equipos, funciones y mejores formas de ejecución.
- **Disponibilidad:** Consiste en contar con los mecanismos de comunicación y el entrenamiento efectivo de y en los procedimientos, para garantizar:
 - Tener una definición clara de los procedimientos que debe conocer el personal. Deben conocerlos de acuerdo a su responsabilidad.
 - Utilizar las herramientas adecuadas de comunicación de los procedimientos, estándares, etc, que consiste en ser conocidos y entendidos por todo el personal, que se utilicen para entrenamiento y desarrollo del personal ya sea nuevo o de reentrenamiento, y para usar

los mecanismos de evaluación para asegurar el máximo entendimiento y conocimiento de los procedimientos.

- **Cumplimiento:** Consiste en asegurar el riguroso y continuo seguimiento y apego a los procedimientos, estándares, entre otros, con el objetivo de:
 - Garantizar que se cuente con medios y sistemas para detectar desviaciones en el cumplimiento de procedimientos.
 - Determinación de causas de desviaciones para mejora continua de los procedimientos y métodos.
 - Que toda actividad se realice en forma correcta, consistente y segura.
 - Se identifiquen oportunidades de capacitación en los procedimientos.



Figura 76. Etapas de Disciplina Operativa. Fuente: Dupont Sustainable Solutions.

- 10) Realizar la vigilancia continua de la salud de los trabajadores en Refinería mediante los exámenes ocupacionales, para detectar los posibles efectos que se pueden presentar en un futuro sobre la salud del trabajador y poder aplicar acciones preventivas o correctivas adecuadas.

CAPÍTULO XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Goberna, R., Hugues, R., Riveira, V., Bernal, F., Castejón, E., Beltrán, J., Castella, J., Gonzáles, E., Marcuello, D., Moreno, D., Pou, R., Riveira, J., Ávila, C., Cicero, P., La Torre, L. & Ramos, H. (1992). Ventilación industrial, Manual de recomendaciones prácticas para la prevención de riesgos profesionales. España: Generalitat Valenciana.
- 2) ACGIH. (1998). Industrial Ventilation, a manual of recommended practice. United States of America: American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
- 3) AIHA. (2010). La estrategia para la evaluación de la exposición ocupacional. United States of America: American Industrial Hygiene Association.
- 4) Mondelo, P., Gregori, E., Comas, S., Castejón, E. & Bartolomé, E. (1999). Ergonomía 2, confort y estrés térmico. Barcelona, España: Universitat Politècnica de Catalunya.
- 5) Drolet, D. (2015). Guide for the adjustment of permissible exposure values (PEVs) for unusual work schedules. 2020, de IRSST Sitio web: <https://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/T-22.pdf?v=2020-05-16>
- 6) INSST (2003) NTP 638: Estimación de la atenuación efectiva de los protectores auditivos. España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- 7) Ramírez, A. (2013). Exposición ocupacional y ambiental al arsénico. Actualización bibliográfica para investigación científica. *American College of Occupational and Environmental Medicine*, 74(3), 237-247.
- 8) Ramírez, A. (2002). Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Anales De La Facultad De Medicina*, 63(1), 51-64. <https://doi.org/10.15381/anales.v63i1.1477>
- 9) Ministerio de Sanidad y Consumo de España. (1999). Protocolo de vigilancia sanitaria específica para los trabajadores expuestos a plomo. Paseo del Prado, 18, 28014 Madrid: Ministerio de Sanidad y Consumo de España.
- 10) Valdivia, M. (2005). Intoxicación por plomo. *Sociedad Peruana de Medicina Interna*, 18(1), 22-27.
- 11) Leidel, N., Busch, K., & Lynch, J. (1977). Occupational exposure sampling strategy manual. Cincinnati: NIOSH.

- 12) MINEM. (s.f.). Ministerio de Energía y Minas. Obtenido de Estadística de enfermedades ocupacionales en minería: http://www.minem.gob.pe/_estadistica.php?idSector=1&idEstadistica=10187
- 13) MINTRA. (s.f.). Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo. Obtenido de Notificaciones de accidentes de trabajo, incidentes peligrosos y enfermedades ocupacionales: <http://www2.trabajo.gob.pe/estadisticas/estadisticas-accidentes-de-trabajo/>
- 14) Bravo, A. (2015) Evaluación de la exposición ocupacional a polvos y humos metálicos en una planta de afino y moldeo de una industria metalúrgica.
- 15) Coral, J. (2015) Evaluación de la exposición a sílice libre cristalina respirable en el área de corte de testigos, con ventilación exhaustiva, del proyecto cuprífero La Granja – Río Tinto Minera Perú SAC.
- 16) Cabello, I. (2010) Propuesta de matriz para la evaluación de riesgos a la salud ocupacional debido a agentes químicos.
- 17) Córdor, E. (2004) Mejoramiento del sistema de ventilación para la Planta de procesos – Refinería de oro – Compañía minera Barrick Misquichilca.
- 18) Chimbo, L., Ortiz, L. (2012) Diseño de un sistema de extracción localizada de gases y polvos del proceso de reconstrucción mecánica de turbinas hidráulicas y su manejo para el control de impacto ambiental.
- 19) Huang, Y., Wang, Y., Liu, L., Nielsen, P., Jensen, R., Yan, F. (2014) Reduced-scale experimental investigation on ventilation performance of a local exhaust hood in an industrial plant.

CAPÍTULO XII. ANEXOS

Anexo 1. Propiedades y volúmenes de las muestras – NIOSH 7300

Elemento	Símbolo	Peso atómico	Volumen de aire (L)	
			Mínimo	Máximo
Plata	(Ag)	107.87	250	2000
Aluminio	(Al)	26.98	5	100
Arsénico	(As)	74.92	5	2000
Bario	(Ba)	137.34	50	2000
Berilio	(Be)	9.01	1250	2000
Calcio	(Ca)	40.08	5	200
Cadmio	(Cd)	112.40	13	2000
Cobalto	(Co)	58.93	25	2000
Cromo	(Cr)	52.00	5	1000
Cobre	(Cu)	63.54	5	1000
Hierro	(Fe)	55.85	5	100
Potasio	(K)	39.10	5	1000
Lantano		138.91	5	1000
Litio	(Li)	6.94	100	2000
Magnesio	(Mg)	24.31	5	67
Manganeso	(Mn)	54.94	5	200
Molibdeno	(Mo)	95.94	5	67
Níquel	(Ni)	58.71	5	1000
Fósforo	(P)	30.97	25	2000
Plomo	(Pb)	207.19	50	2000
Antimonio	(Sb)	121.75	50	2000
Selenio	(Se)	78.96	13	2000
Estaño	(Sn)	118.69	5	1000
Estroncio	(Sr)	87.62	10	1000
Telurio	(Te)	127.60	25	2000
Titanio	(Ti)	47.90	5	100
Thalio	(Tl)	204.37	25	2000
Vanadio	(V)	50.94	5	2000
Tungsteno	(W)	183.85	5	1000
Itrio	(Y)	88.91	5	1000
Zinc	(Zn)	65.37	5	200
Circonio	(Zr)	91.22	5	200

Anexo 2. Límites de exposición, N° CAS – NIOSH 7300

Elemento	Símbolo	N° CAS	Límites de exposición, mg/m3		
			OSHA	NIOSH	ACGIH
Plata	(Ag)	7440-22-4	0.01 (polvo, vapor, metal)	0.01 (metal, soluble)	0.1 (metal) 0.01 (soluble)
Aluminio	(Al)	7429-90-5	15 (polvo total) 5 (respirable)	10 (polvo total) 5 (vapor respirable) 2 (sales, alquijos)	10 (polvo) 5 (polvos, vapor) 2 (sales, alquijos)
Arsénico	(As)	7440-38-2	varían	C 0.002, Ca	0.01, Ca
Bario	(Ba)	7440-39-3	0.5	0.5	0.5
Berilio	(Be)	7440-41-7	0.002, C 0.005	0.0005, Ca	0.002, Ca
Calcio	(Ca)	7440-70-2	varían	varían	varían
Cadmio	(Cd)	7440-43-9	0.005	mínima posible, Ca	0.01 (total), Ca 0.002 (respirable), Ca
Cobalto	(Co)	7440-48-4	0.1	0.05 (polvo, vapor)	0.02 (polvo, vapor)
Cromo	(Cr)	7440-47-3	0.5	0.5	0.5
Cobre	(Cu)	7440-50-8	1 (polvo, rocío) 0.1 (vapor)	1 (polvo) 0.1 (vapor)	1 (polvo, rocío) 0.2 (vapor)
Hierro	(Fe)	7439-89-6	10 (polvo, vapor)	5 (polvo, vapor)	5 (vapor)
Potasio	(K)	7440-09-7	--	--	--
Lantano		7439-91-0	--	--	--
Litio	(Li)	7439-93-2	--	--	--
Magnesio	(Mg)	7439-95-4	15 (polvo) como óxido 5 (respirable)	10 (vapor) como óxido	10 (vapor) como óxido
Manganeso	(Mn)	7439-96-5	C 5	1; STEL 3	5 (polvo) 1; STEL 3 (vapor)
Molibdeno	(Mo)	7439-98-7	5 (soluble) 15 (total insoluble)	5 (soluble) 10 (insoluble)	5 (soluble) 10 (insoluble)
Níquel	(Ni)	7440-02-0	1	0.015, Ca	0.1 (soluble) 1 (insoluble, metal)
Fósforo	(P)	7723-14-0	0.1	0.1	0.1
Plomo	(Pb)	7439-92-1	0.05	0.05	0.05
Antimonio	(Sb)	7440-36-0	0.5	0.5	0.5
Selenio	(Se)	7782-49-2	0.2	0.2	0.2
Estaño	(Sn)	7440-31-5	2	2	2
Estroncio	(Sr)	7440-24-6	--	--	--
Telurio	(Te)	13494-80-9	0.1	0.1	0.1
Titanio	(Ti)	7440-32-6	--	--	--
Thalio	(Tl)	7440-28-0	0.1 (piel) (soluble)	0.1 (piel) (soluble)	0.1 (piel)
Vanadio	(V)	7440-62-2	--	C 0.05	--
Tungsteno	(W)	7440-33-7	5	5 10 (STEL)	5 10 (STEL)
Itrio	(Y)	7440-65-5	1	No aplica	1
Zinc	(Zn)	7440-66-6	--	--	--
Circonio	(Zr)	7440-67-7	5	5, STEL 10	5, STEL 10

*Ca = carcinógeno

Anexo 3. Datos y procedimientos de la medición. Filtros mixtos de membrana de ésteres de celulosa (0.45 µm) – NIOSH 7300

Elemento (a)	Longitud de onda nm	LDD estimado µg/Filtro	LDD ng/mL	Certificado 3 veces LDD (b)	% Recuperación (c)	Porcentaje RSD (N=25)	Certificado 10 veces LDD (b)	% Recuperación (c)	Porcentaje RSD (N=25)
Plata	328	0.042	1.7	0.77	102.9	2.64	3.21	98.3	1.53
Aluminio	167	0.115	4.6	1.54	105.4	11.5	6.40	101.5	1.98
Arsénico	189	0.140	5.6	3.08	94.9	2.28	12.9	93.9	1.30
Bario	455	0.005	0.2	0.31	101.8	1.72	1.29	97.7	0.69
Berilio	313	0.005	0.2	0.31	100.0	1.44	1.29	98.4	0.75
Calcio	317	0.908	36.3	15.4	98.7	6.65	64.0	100.2	1.30
Cadmio	226	0.0075	0.3	0.31	99.8	1.99	1.29	97.5	0.88
Cobalto	228	0.012	0.5	0.31	100.8	1.97	1.29	98.4	0.90
Cromo	267	0.020	0.8	0.31	93.4	16.3	1.29	101.2	2.79
Cobre	324	0.068	2.7	1.54	102.8	1.47	6.40	100.6	0.92
Hierro	259	0.095	3.8	1.54	103.3	5.46	6.40	98.0	0.95
Potasio	766	1.73	69.3	23.0	90.8	1.51	96.4	97.6	0.80
Lantano	408	0.048	1.9	0.77	102.8	2.23	3.21	100.1	0.92
Litio	670	0.010	0.4	0.31	110.0	1.91	1.29	97.7	0.81
Magnesio	279	0.098	3.9	1.54	101.1	8.35	6.40	98.0	1.53
Manganeso	257	0.005	0.2	0.31	101.0	1.77	1.29	94.7	0.73
Molibdeno	202	0.020	0.8	0.31	105.3	2.47	1.29	98.6	1.09
Níquel	231	0.020	0.8	0.31	109.6	3.54	1.29	101.2	1.38
Fósforo	178	0.092	3.7	1.54	84.4	6.19	6.40	82.5	4.75
Plomo	168	0.062	2.5	1.54	109.4	2.41	6.40	101.7	0.88
Antimonio	206	0.192	7.7	3.08	90.2	11.4	12.9	41.3	32.58
Selenio	196	0.135	5.4	2.3	87.6	11.6	9.64	84.9	4.78
Estaño	189	0.040	1.6	0.77	90.2	18.0	3.21	49	21.79
Estroncio	407	0.005	0.2	0.31	101.0	1.55	1.29	97.3	0.65
Telurio	214	0.078	3.1	1.54	102.0	2.67	6.40	97.4	1.24
Titanio	334	0.050	2.0	0.77	98.4	2.04	3.21	93.4	1.08
Thalio	190	0.092	3.7	1.54	100.9	2.48	6.40	99.1	0.80
Vanadio	292	0.028	1.1	0.77	103.2	1.92	3.21	98.3	0.84
Tungsteno	207	0.075	3.0	1.54	72.2	10.1	6.40	57.6	14.72
Itrio	371	0.012	0.5	0.31	100.5	1.80	1.29	97.4	0.75
Zinc	213	0.310	12.4	4.60	102.2	1.87	19.3	95.3	0.90
Circonio	339	0.022	0.9	0.31	88.0	19.4	1.29	25	57.87

(a) Los valores que aparecen en letra negra son cualitativos debido a su baja recuperación.

(a) Los valores están certificados por Inorganic Ventures INC. a 3 y 10 veces del LDD instrumental aproximado.

(c) Los valores reportados se obtuvieron mediante Instrumentos Spectro Analytical Instruments EOP ICP; el desempeño varía según el instrumento y se debe verificar en forma independiente.

Anexo 4. Datos y procedimientos de la medición. Filtro de cloruro de polivinilo (5.0 µm) – NIOSH 7300

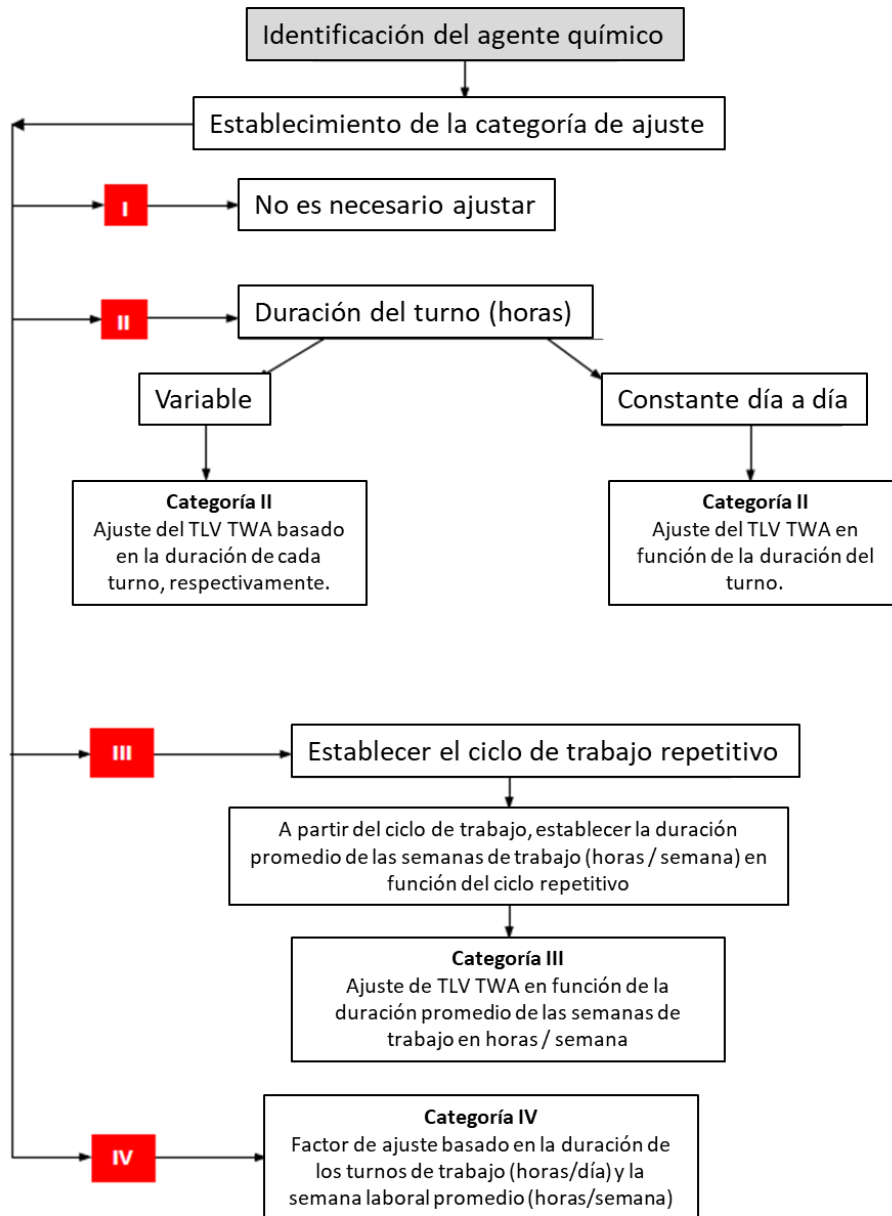
Elemento (c)	Longitud de onda nm	LDD estimado µg/Filtro	LDD ng/mL	Certificado 3 veces LDD (b)	% Recuperación (a)	Porcentaje RSD (N=25)	Certificado 10 veces LDD (b)	% Recuperación (a)	Porcentaje RSD (N=25)
Plata	328	0.042	1.7	0.78	104.2	8.20	3.18	81.8	18.9
Aluminio	167	0.115	4.6	1.56	77.4	115.24	6.40	92.9	20.9
Arsénico	189	0.140	5.6	3.10	100.7	5.13	12.70	96.9	3.2
Bario	455	0.005	0.2	0.31	102.4	3.89	1.270	99.8	2.0
Berilio	313	0.005	0.2	0.31	106.8	3.53	1.270	102.8	2.1
Calcio	317	0.908	36.3	15.6	68.1	12.66	64.00	96.8	5.3
Cadmio	226	0.0075	0.3	0.31	105.2	5.57	1.27	101.9	2.8
Cobalto	228	0.012	0.5	0.31	109.3	4.67	1.27	102.8	2.8
Cromo	267	0.020	0.8	0.31	109.4	5.31	1.27	103.4	4.1
Cobre	324	0.068	2.7	1.56	104.9	5.18	6.40	101.8	2.4
Hierro	259	0.095	3.8	1.56	88.7	46.82	6.40	99.1	9.7
Potasio	766	1.73	69.3	23.4	96.4	4.70	95.00	99.2	2.2
Lantano	408	0.048	1.9	0.78	45.5	4.19	3.18	98.8	2.6
Litio	670	0.010	0.4	0.31	107.7	4.80	1.27	110.4	2.7
Magnesio	279	0.098	3.9	1.56	54.8	20.59	6.40	64.5	5.7
Manganeso	257	0.005	0.2	0.31	101.9	4.18	1.27	99.3	2.4
Molibdeno	202	0.020	0.8	0.31	106.6	5.82	1.27	98.1	3.8
Níquel	231	0.020	0.8	0.31	111.0	5.89	1.27	103.6	3.2
Fósforo	178	0.092	3.7	1.56	101.9	17.82	6.40	86.5	10.4
Plomo	168	0.062	2.5	1.56	109.6	6.12	6.40	103.2	2.9
Antimonio	206	0.192	7.7	3.10	64.6	22.54	12.70	38.1	30.5
Selenio	196	0.135	5.4	2.30	83.1	26.23	9.50	76.0	17.2
Estaño	189	0.040	1.6	0.78	85.7	27.29	3.18	52.0	29.4
Estroncio	407	0.005	0.2	0.31	71.8	4.09	1.27	81.2	2.7
Telurio	214	0.078	3.1	1.56	109.6	7.49	6.40	97.3	3.8
Titanio	334	0.050	2.0	0.78	101.0	9.46	3.18	92.4	5.5
Thalio	190	0.092	3.7	1.56	110.3	4.04	6.40	101.9	2.0
Vanadio	292	0.028	1.1	0.78	108.3	3.94	3.18	102.5	2.6
Tungsteno	207	0.075	3.0	1.56	74.9	15.79	6.40	44.7	19.6
Itrio	371	0.012	0.5	0.31	101.5	3.63	1.27	101.4	2.5
Zinc	213	0.310	12.4	4.70	91.0	68.69	19.1	101.0	9.6
Circonio	339	0.022	0.9	0.31	70.7	54.20	1.27	40.4	42.1

(a) Los valores reportados se obtuvieron mediante Spectro Analytical Instruments EOP ICP; el desempeño varía según el instrumento y debe ser verificada en forma independiente.

(b) Los valores están certificados por Inorganic Ventures INC. a 3 y 10 veces del LDD instrumental aproximado.

(c) Los valores que aparecen en letras negras son cualitativos solamente debido a su baja recuperación. Puede haber otros procedimientos de digestión más apropiados para estos elementos y sus compuestos.

Anexo 5. Proceso de ajuste del TLV-TWA



Anexo 6. Ajuste por categoría de agente químico

El acetaldehído	I-
El ácido acético	I-b
El anhídrido acético	I-b
Acetona	I-c
La acetona cianhidrina	I-
Acetonitrilo	II
Acetofenona	I-b
Acetileno	I-c
El ácido acetilsalicílico (aspirina)	II
La acroleína	I-b
La acrilamida	III
El ácido acrílico	I-b
Acilonitrilo	III
Ácido adipico	III
Adiponitrilo	IV
Aldrin	IV
Alcohol alílico	I-b
Eter alil glicidílico (AGE)	I-b
Disulfuro de alilo y propilo	I-b
Aluminio [7429-90-5], (como Al), Alquilos (NOC)	I-b
Aluminio (como Al), metal	I-c
Aluminio [7429-90-5], (como Al), Py-	I-c
Aluminio [7429-90-5], (como Al), Las sales solubles	I-b
Aluminio [7429-90-5], (como Al), Los humos de soldadura	I-c
Oxido de aluminio (como Al), Pt	I-c
4-aminodifenilo	III
2-aminoetanol	III
2-aminopiridina	II
Amitrol	III
Amoniaco	I-b
Cloruro de amonio de humos	I-b
Amonio perfluorooctanoato	III
Sulfamato de amonio	I-b
Anilina	I-c
o-anisidina	II
p-anisidina	II
El antimonio [7440-36-0], de metal y	III
El trióxido de antimonio (como Sb)	III
El trióxido de antimonio, de producción (como	III
ANTU (alfa-Naphthylthiourea)	II
Argón	I-c

El arsénico elemental [7440-38-2], y compuestos inorgánicos (excepto Arsina) (como As)	III
El trióxido de arsénico, la producción	III
Arsina	IV
El asbesto, Actinolita	III
El amianto, amosita	III
El amianto, antofilita	III
El amianto, crisotilo	III
El amianto, crocidolita	III
El asbesto, tremolita	III
Asfalto (petróleo), los humos	III
La atrazina	II
Azinfos-metil	IV
Bario, compuestos solubles (como Ba)	II
El sulfato de bario, Pt	III
El sulfato de bario, Pr	III
Benomilo	I-c
Benzo (a) antraceno	III
Benceno	III
Bencidina (de producción)	III
El benzo (a) pireno	III
El benzo (b) fluoranteno	III
p-benzoquinona	I-b
El peróxido de benzoilo	I-b
Cloruro de bencilo	IV
El berilio [7440-41-7], de metal y compuestos (como Be)	III
Bifenilo	I-b
Telurio de bismuto (como Bi ₂ Te ₃), Se-	III
Telurio de bismuto (como Bi ₂ Te ₃), ONU-	I-c
De óxido de boro	I-b
El boro tribromuro	I-
Trifluoruro de boro	I-
Bromacil	III
Bromo	I-b
Pentafluoruro de bromo	I-b
El bromoformo	IV
Bromotrifluorometano	I-c
El 1,3-butadieno	III
Butano	I-c
2-butoxi-etanol	III
acetato de n-butilo	I-b

acetato de sec-butilo	I-b
terc-butil acetato	I-b
n-butil acrilato	I-b
alcohol n-butílico	I-
sec-butil alcohol	II
terc-butil alcohol	II
cromato de terc-butilo (como CrO ₃)	I-
n-butil éter glicidílico (MBM)	III
n-butilo lactato	I-b
Butil mercaptano	I-b
n-butilamina	I-
o-sec-butilfenol	I-b
p-terc-butiltolueno	III
El cadmio elemental y compuestos (como Cd)	III
El carbonato de calcio, Pt.	I-c
Cromato de calcio (como Cr)	III
Cianamida cálcica	I-b
Hidróxido de calcio	I-b
Oxido de calcio	I-b
El silicato de calcio (sintético), Pt	I-c
El sulfato de calcio, Pt.	I-c
El sulfato de calcio, Pr	I-c
Alcanfor (sintético)	I-b
Caprolactama, el polvo	I-b
Caprolactama, vapor	I-b
El captafol	III
Captan	III
Carbanil	IV
Carbofuran	IV
Negro carbón	III
Dióxido de carbono	I-c
Disulfuro de carbono	IV
El monóxido de carbono	IV
Tetrabromuro de carbono	IV
Tetracloruro de carbono	IV
Fluoruro de carbonilo	IV
Catecol	IV
Celulosa (fibras de papel), Pt	I-c
Hidróxido de cesio	I-b
El clordano	IV
Carfeno clorado	IV
Oxido de difenilo clorado	III

Cloro	I-c
El dióxido de cloro	II
Trifluoruro de cloro	I-
Cloroacetaldehído	I-
Cloroacetona	I-
alfa-cloroacetofenona	I-b
Cloruro de cloroacetilo	I-b
Clorobenceno	IV
o-clorobenciliden malononitrilo	I-
Clorobromometano	III
Clorodifluorometano	I-c
Chlorodiphenyl (42% de cloro)	III
Chlorodiphenyl (54% de cloro)	III
Cloroforno	IV
Eter metil clorometílico	III
bis (clorometil) éter	III
1-cloro-1-nitropropano	II
Cloropentafluoroetano	I-c
Cloropicrina	II
β-cloropreno	IV
3-cloropropeno	III
2-cloropropiónico ácido	III
o-cloroestireno	IV
o-clorotolueno	I-b
Clorpirifos	IV
De procesamiento de mineral cromita (cro-	III
El cromo (metal)	III
Cromo (III) compuestos (como Cr)	III
El cromo IV, agua INOR insoluble compuestos orgánicos (como Cr)	III
El cromo IV, INOR soluble en agua compuestos orgánicos (como Cr)	III
Cloruro de cromilo	III
Criseno	III
Clopidol	I-c
Polvo de carbón (menos de 5% cristalino)	III
El polvo de carbón (5% más de cristal-	III
Carbón volátiles alquitrán de hulla, como benceno	III
El cobalto, elemental e inorgánicos compuestos (como Co)	III
Hidrocarbonilo cobalto (Co)	II
Tetracarbonilo cobalto (Co)	II
Cobre [7440-50-8], de aire (como Cu)	II
Cobre [7440-50-8], polvo y nieblas (como Cu)	I-b
Pt Corindón,	I-c
Polvo de algodón, de algodón proceso de los residuos ción de la operación de	III

Polvo de algodón, en la fabricación de hilados	III
Polvo de algodón, en los residuos fábrica textil las operaciones de la casa o en el hilo de fabrica-ción al polvo de	III
Polvo de algodón, en la industria textil y de la roza	III
Cresol (todos los isómeros)	I-b
Crotonaldehído	I-b
Cruformate	IV
Cumeno	II
Cianamida	I-b
Cianuros(Como Cn)	I-
Cianogeno	I-b
Cianogenocloruro	I-
Ciclohexano	I-b
Ciclohexanol	IV
Ciclohexanona	III
Ciclohexeno	I-b
Ciclohexilamina	I-b
Ciclonita	III
Ciclopentadieno	I-b
Ciclopentano	IV
Cihexatina	I-c
2,4-D	III
DDT (Dichlorodiphenyltrichloro-etano)	IV
Decaborano	IV
Demeton ®	IV
Di-sec-octil ftalato	III
2,6-di-terc-butil-p-cresol	I-c
Diacetona alcohol	I-b
1,6-diaminohexano	I-b
El diazinon ®	IV
Diazometano	IV
El diborano	IV
1,2-dibromoetano	III
Dibutilo fenil fosfato	IV
Fosfato de dibutilo	I-b
Ftalato de dibutilo	I-b
2-N-Dibutylaminoethanol	III
1,3-dicloro -5,5-dimetil-hydan fenitoína	I-b
Dicloroacetileno	I-
o-diclorobenceno	I-
p-diclorobenceno	III
3,3'-diclorobencidina	III
1,4-dicloro-2-buteno	III
Diclorodifluorometano	I-c
El 1,1-dicloroetano	IV

El 1,2-dicloroetano	III
Eter dicloroetil	II
1,1-Dicloroetileno	III
1,2-Dicloroetileno	IV
Diclorofluorometano	IV
1,1-dicloro-1-nitroetano	II
El 1,2-dicloropropano	IV
Dicloropropeno (cis y trans)	IV
2,2-dicloropropiónico ácido	I-b
1,2 dicloro-1, 1,2,2-tetrafluoroetano	I-c
El diclorvos	IV
Dicrotophos	IV
Diciclopentadieno	III
Diciclopentadienilo hierro	I-c
La dieldrina	IV
Dietanolamina	I-b
Eter dietílico	I-b
Dietil cetona	II
El dietil ftalato	III
Dietilamina	I-b
2-dietilaminoetanol	I-b
Dietilentriamina	III
Difluorodibromomethane	IV
Diglicidil éter (DGE)	III
Diisobutil cetona	I-b
Eter diisopropílico	I-b
Diisopropilamina	I-b
Cloruro de carbamilo Dimetil	III
Sulfato de dimetilo	III
N, N-dimetilacetamida	IV
Dimetilamina	I-b
N, N-dimetilanilina	IV
N, N-dimetilformamida	III
1,1-dimetilhidracina	III
Dimethylphthalate	I-b
Dinitolmida	III
Dinitro-orto-cresol	III
Dinitrobenceno (todos los isómeros)	IV
Dinitrotolueno	IV
Dioxano	III
Dioxatión	III
Difenilamina	IV
Dipropilenglicol monometil éter	II
El diquat, Pt	III
El diquat, Pr	III
Disulfiram	II

Disulfotón	IV
Diurón	I-c
Divinil benceno	I-b
Emery, Pt	I-c
El endosulfán	IV
Endrina	II
Enflurano	II
Epiclorhidrina	IV
EPN	IV
Etano	I-c
El etión	IV
2-Etoxietanol (EGEE)	IV
Acetato de 2-etoxietilo (EGEEA)	IV
Acetato de etilo	I-b
El acrilato de etilo	III
El alcohol etílico	I-b
Etil amil cetona	I-b
Etil benceno	III
Bromuro de etilo	IV
Etil butil cetona	II
El cloruro de etilo	IV
Formiato de etilo	I-b
Etil mercaptano	I-b
Silicato de etilo	III
Etilamina	I-b
Etileno	I-c
Etileno clorhidrina	I-
Etilenglicol (vapor o neblina)	I-
Dinitrato de glicol de etileno	I-
Etilenimina	IV
Oxido de etileno	III
Etilendiamina	III
Etilidennorbomeno	I-
N etilmorfina	II
Fenamifos	IV
Fensulfotón	IV
Fentión	IV
Ferbam	I-b
Ferovanadio (polvo)	I-b
Las fibras, minerales vitreo artificial	I-c
Fibras de vidrio fibroso, filamento continuo, Pt.	III
Las fibras, minerales vitreo artificial	I-b
Fibras de vidrio fibroso, microfibras	I-b
Las fibras, minerales vitreo artificial	I-b
Las fibras, fibras aislantes de lana, lana de vidrio	I-b
Las fibras, minerales vitreo artificial	I-b
Las fibras, fibras aislantes de lana, lana de roca	I-b
Las fibras, minerales vitreo artificial	I-b
Las fibras, fibras aislantes de lana,	I-b

lana	
Las fibras, minerales vitreo artificial	III
Fibras, fibras refractarias de cerámica (u otros)	III
Fibras, Fibras naturales minerales, a los	I-
Fibras, Fibras minerales naturales, Erionita	I-b
Fibras naturales de fibras minerales, Wol-	I-b
Fibras naturales de fibras minerales, Wol-	III
Fibras, Fibras orgánicas sintéticas, Fibras de carbono y grafito, Pt.	III
Fibras, Fibras orgánicas sintéticas, Fibras de carbono y grafito, Pr	III
Fibras, Fibras orgánicas sintéticas, Para-aramida fibras (Kevlar ®, Twaron ®)	I-c
Fibras, Fibras orgánicas sintéticas, Fibras de poliolefina, Pt	III
Fluoruros (como F)	I-b
Fluor	IV
Fosfos	I-
Formaldehído	III
Formamida	I-b
Acido fórmico	I-b
Furfural	I-b
El alcohol furfúrico	II
Gasolina	I-
Germaniotetrahidruo	I-c
Glutaraldehído	I-b
Glicerina(Niebla)	IV
Glicidol	III
El polvillo del grano (avena, trigo, cebada), Pt	III
Grafito (todas las formas excepto fibras),	I-c
Yeso, Pt	I-c
Yeso, Pr	III
Hafnio	IV
Halotano	I-c
Helio	IV
El heptacloro	III
Heptacloro epóxido	II
n-heptano	III
El hexaclorobenceno	III
Hexaclorobutadieno	IV
Hexaclorociclopentadieno	III
El hexacloroetano	III
Hexacloronaftaleno	IV
Hexafluoroacetone	III
Fosforamida Hexametil	III
Disocianato de hexametileno	IV
El n-hexano	III
Hexano (otros isómeros)	I-c

sec-hexilo acetato	I-b
Hexilenglicol	I-
Hidrazina	III
Hidrógeno	I-c
Bromuro de hidrógeno	I-
Hidrogenocloruro	I-
El cianuro de hidrógeno	I-
Hidrogenofluoruro (como F)	I-b
Hidrogenoperóxido	IV
Hidrogenoseleniuro (como Se)	I-c
Hidrogenosulfuro	III
Hidrogenadoterfenilos	IV
La hidroquinona	I-b
2-hidroxiopropil acrilato	I-b
Indeno	IV
Indio [7440-74-8] y com-libras (como In)	I-
Yodo	II
Yodofomo	II
Pentacarbonilo de hierro (como Fe)	I-b
Las sales de hierro, solubles (como Fe)	III
El trióxido de hierro, polvo y humo (como Fe)	II
Alcohol isoamilico	I-b
Acetato de isobutilo	I-b
Alcohol isobutilico	III
Oligómeros de isocianato	II
El alcohol isooctilico	I-
Isoforona	III
Isoforona diisocianato	I-b
Isopropoxyethanol	III
Acetato de isopropilo	II
El alcohol isopropilico	III
Glicidil éter isopropilico (IGE)	I-b
Isopropilamina	II
N-isopropilnilina	III
Caolín, Pr	II
Cetena	I-c
L.P.G. (Gas de petróleo licuado)	III
Los compuestos de plomo e isómeros	IV
El arseniato de plomo (como Pb3 (AsO4) 2)	III
Cromato de plomo (como Cr)	III
Tetraetilo de plomo (como Pb)	III
El plomo tetrametilo (como Pb)	I-c
Piedra caliza, Pt	IV
El lindano	I-b
Hidruo de litio	I-c
Magnesita, Pt	II
Oxido de magnesio de humos (como Mn)	

El malatión	IV
Anhidrido maleico	IV
El manganeso [7439-98-5] (como Mn)	III
Manganeso (como Mn), humos	IV
Manganeso ciclopentadienil tricarbonilo (como Mn)	IV
Metil-manganeso cyclopentadi tricarbonilo enilo (como Mn)	IV
Tetroxido de manganeso	III
El mercurio [7439-97-6], alquilo com-	IV
El mercurio [7439-97-6], arilo com- libras (como Hg)	III
El mercurio [7439-97-6], inorgánicos	III
El mercurio [7439-97-6], Mercury va-	III
Oxido de mesitilo	I-b
Acido metacrílico	I-b
Metano	I-c
Metomil	IV
El metoxicloro	IV
2-metoxietanol (EGME)	IV
Acetato de 2-metoxietilo (EGMEA)	IV
4-metoxifenol	I-b
Metil acetato	II
Metil acetileno	I-c
Metil acetileno-propadieno mezcla- tura (MAPP)	I-c
Metil acrilato	III
El alcohol metílico	IV
Metil amil alcohol	I-b
Metil n-amil cetona	I-b
El bromuro de metilo	IV
Metil tero-butil éter	IV
Metil n-butil cetona	III
Cloruro de metilo	IV
El metilcloroformo	II
2-cianoacrilato de metilo	III
Metilo demeton	IV
Metil etil cetona (MEK)	I-b
Metil etil cetona peróxido	I-
El formiato de metilo	I-b
Metil hidrazina	I-
Yoduro de metilo	IV
Metil cetona isoamilico	I-b
Metil isobutil cetona	I-b
Metil isocianato	III
Metil isopropil cetona	I-b
El metil mercaptano	I-b
Metacrilato de metilo (monómero)	I-b

El metilparatión	IV
Metil propil cetona	II
Metil silicato	II
alfa-metil estireno	II
Methylacrylonitrile	IV
Metilal	I-b
Metilamina	I-b
N-metilaniina	IV
Metilciclohexano	I-b
METILCICLOHEXANOL	III
o-metilciclohexanona	I-b
Cloruro de metileno	IV
4,4'-metileno bis (2-cloroaniina) (MOCA)	IV
Metilen bis (4 - ciclohexilisocianato)	III
4,4'-metilendianilina	III
Metilen bis (4-fenil-isocy conejo antiofino) (MDI)	III
Metribuzin	II
Mica, Pr	III
Aceite mineral (niebla)	III
Molibdeno [7439-98-7] (como Mo), Los compuestos insolubles	I-c
Molibdeno [7439-98-7] (como Mo), Los compuestos solubles	I-c
Monocrotafos	IV
La morfina	I-b
Naled	IV
Naftalina	I-b
β-naftilamina	III
Neón	I-c
El niquel, metal	III
Niquel [7440-02-0], insoluble compuestos (como Ni)	III
Niquel [7440-02-0], soluble compuestos (como Ni)	III
Carbonilo de niquel (como Ni)	II
Sulfuro de niquel tostado, humo y polvo (como Ni)	III
Nicotina	II
Nitrapirina	I-c
Acido nítrico	II
p-nitroaniina	IV
Nitrobenzeno	IV
p-nitroclorobenzeno	IV
4-nitrodifenil	III
Nitroetano	I-b
Nitrógeno	I-c
Dióxido de nitrógeno	IV
Monóxido de nitrógeno	II
Trifluoruro de nitrógeno	II

La nitroglicerina (NG)	I-
El nitrometano	IV
1-nitropropano	III
2-nitropropano	III
N-nitrosodimetilamina	III
Nitrotolueno (todos los isómeros)	II
Oxido nítrico	III
Nonano	II
Octachloronaphthalene	III
Octano	II
Tetroxido de osmio (como Os)	I-b
Oxálicoácido	I-b
El oxígeno difluoruro	I-
Ozono	I-
La cera de parafina, de humos	I-b
Partículas respirables y paraquat, Pr	III
Paratión	IV
Partículas no clasifi- cado (PNOC), Pt	I-c
Pentaborano	II
Pentachloronaphthalene	III
Pentachloronitrobenzeno	III
El pentaclorofenol	III
Pentaeritritol	I-c
n-pentano	II
acetato de n-amilo	I-b
sec-amilo acetato de	I-b
terc-amilo acetato	I-b
Acetato de isoamilo	I-b
2-metil-1-acetato de butilo	I-b
3-pentil el acetato	I-b
El percloroetileno	IV
Mercaptano Perchloromethyl	II
Fluoruro de perclorilo	IV
Perfluoroisobutylene	I-
Perlita, Pt	I-c
Perlita, Pr	I-c
Fenol	IV
Fenotiazina	III
Fenil éter, el vapor	I-b
Eter fenil glicidílico (PGE)	III
Fenil mercaptano	I-b
meta-fenilendiamina	III
orto-fenilendiamina	III
p-fenilendiamina	III
Fenilhidrazina	III
N-fenil-beta-naftilamina	III

Fenilfosfina	I-
Forato	IV
Fosfina	IV
Fosgeno	II
La fosfina	II
El ácido fosfórico	I-b
Fósforo (amarillo)	I-b
Oxocloruro de fósforo	I-b
Pentacloruro de fósforo	I-b
Fósforo pentasulfuro	I-b
Tricloruro de fósforo	I-b
El anhídrido ftálico	III
m-Phthalodinitrilo	I-c
Picloram	I-c
El ácido picrico	III
Pindone	III
Piperacina dihidrocloruro	III
Yeso de París, Pt	I-c
Yeso de París, Pr	I-c
El platino, metal	III
Platinum [7440-08-4], sales solubles	III
Descomposición-politetrafluoroetileno	II
El cemento Portland, Pt	I-b
El cemento Portland, Pr	I-b
El hidróxido de potasio	I-
Propano	I-c
Propano sulfona	III
Propargílico alcohol	I-b
β-propiolactona	III
El ácido propiónico	I-b
Propoxur (Baygon)	IV
n-propil acetato	I-b
n-propil alcohol	I-b
n-propilo nitrato	II
Propileno	I-c
Dinitrato de glicol de propileno	IV
Propileno glicol monometil éter	IV
Propilenimina	III
Oxido de propileno	III
Pelite	III
Piridina	III
Resorcinol	II
Rodio [7440-16-6], de metal y compuestos insolubles (como Rh)	III
Rodio [7440-16-6], soluble compuestos (como Rh)	III
Ronnel	IV
Rosin pirólisis de soldadura central (Como GRMA de d)	III

ductos (como formaldehído)	
La rotenona	IV
Rouge, Pt	I-c
Caucho solvente (nafta)	II
Selenio y compuestos (como Se)	IV
Hexafluoruro de selenio (como Se)	IV
Sesone	III
Sílice, diatomeas amorfa, la tierra (sin calcinar), Pt	I-c
Sílice - amorfo, humos, Pr	III
Sílice, amorfa, Pr fundida,	III
Sílice, amorfa, gel, Pr	I-c
Sílice, precipitada amorfa, Pt	I-c
La sílice, cristobalita cristalina, Pr	III
Sílice, cristalina, cuarzo Pr,	III
Sílice, tridimita cristalina, Pr	III
Sílice, cristalina Tripoli, Pr	III
El silicio, Pt	I-c
El carburo de silicio (no fibrosa), Pt	I-c
Silicio tetrahidruo	II
Plata, metal	III
Silver [7440-22-4], com-Soluble libras (como Ag)	III
Esteatita, Pt	III
Esteatita, Pr	III
Azida de sodio	I-
Bisulfito sódico	I-b
Sodio fluoroacetato	II
Hidróxido de sodio	I-
Metabisulfito sódico	I-b
Los boratos, tetra, sal de sodio, An-	I-b
Los boratos, tetra, sal de sodio, De-	I-b
Los boratos, tetra, la sal de sodio, de Pen-	I-b
El almidón, Pt	III
Estibina (como Sb)	IV
El solvente Stoddard	IV
Cromato de estroncio (como Cr)	III
Estricnina	II
Estireno (monómero)	IV
Subtilisinas (enzimas proteolíticas como	I-c
Succinaldehído	I-b
Sacarosa	I-c
Sulfometurón de metilo	III
Sulfotep	IV
El dióxido de azufre	I-b
El hexafluoruro de azufre	I-c
Monocloruro de azufre	I-

Pentafluoruro de azufre	I-
Tetrafluoruro de azufre	I-
Acido sulfúrico	I-b
El fluoruro de sulfurilo	III
Sulprofos	IV
2,4,5-T	I-c
El talco, fibroso	III
El talco, fibroso no, Pr	III
Tántalo [7440-25-7], metal y polvos de óxido (como Ta)	I-c
Teluro y sus compuestos (como Te)	IV
Hexafluoruro de teluro (como Te)	II
Temephos	IV
TEPP	IV
Acido tereftálico	I-c
Terfenilos	I-
1,1,2,2-Tetrabromoetano	IV
1,1,1,2-tetracloro-2, 2 - difluoroetano	IV
1,1,2,2-tetracloro-1, 2 - difluoroetano	IV
El 1,1,2,2-tetracloroetano	IV
Tetrachloronaphthalene	III
Tetrahidrofurano	I-b
Succinonitrilo tetrametilo	II
Tetranitrometano	IV
Tetrasodio pirofosfato	I-b
Tetril	III
El talio, elemental [7440-28-0], y compuestos solubles (como Tl)	III
4,4'-tobis (6-terc-butil-m-cresol)	I-c
Acido tioglicólico	I-b
Cloruro de tionilo	I-
Tiram ®	III
Estañio, metal	III
Tin [7440-31-5], Orgánica com-libras (como Sn)	III
Tin [7440-31-5], óxido y INOR compuestos orgánicos, excepto SnH4 (Como Sn)	III
El dióxido de titanio, Pt	I-c
o-tolidina	III
Tolueno	IV
El tolueno diisocianato (TDI) (isómeros mezcla)	III
o-toluidina	IV
m-toluidina	II
p-toluidina	IV
El fosfato de tributilo	I-b
El ácido tricloroacético	I-b
1,2,4-triclorobenceno	I-b
El 1,1,2-tricloroetano	IV

El tricloroetileno	II
Triclorofluorometano	I-
Trichloronaphthalene	III
El 1,2,3-tricloropropano	III
1,1,2-tricloro-1, 2,2 - trifluoroetano	II
Tri-O-cresil fosfato	III
Trietanolamina	III
Trietilamina	IV
Isocianurato de triglicidilo (TGIC) (Alfa-)	III
Isocianurato de triglicidilo (TGIC) (Beta)	III
Isocianurato de triglicidilo (TGIC) (Mezcla de isómeros)	III
Anhidrido trimelítico	III
Trimetilbenceno	III
Fosfito de trimetilo	I-b
Trimetilamina	I-b
El 2,4,6-trinitrotolueno (TNT)	III
Trifenil amina	I-c
Trifenil fosfato	IV
Tungsteno [7440-33-7] (como W), En-	I-c
Tungsteno [7440-33-7] (como W), So-	II
Trementina	I-b
El uranio [7440-61-1] (naturales), En-	III
El uranio (natural) [7440-61-1], Soluble compuestos (como U)	III
n-valeraldehído	I-b
Pentóxido de vanadio, de humo y polvo respirable (como V2O5)	I-b
Las nieblas de los aceites vegetales (a excepción de ricino, anacardo y otros aceites)	I-c
Acetato de vinilo	I-b
Vinilo bromuro	III
El cloruro de vinilo (monómero)	III
Vinilo ciclohexeno dióxido de	III
Vinil tolueno	I-b
VM & P Nafta	I-b
La warfarina	IV
Los humos de soldadura (de otro modo no)	II
El polvo de madera (cedro rojo del este), Pt	III
Madera dura y blanda de polvo, con la excepción	III
Xileno(O-, m-, p-isómeros)	II
m-xileno-alfa, alfa-diamina	I-
Xilidina(Mezcla de isómeros)	III
litio[7440-65-5], metal y compuestos (como Y)	III
El cloruro de zinc, de humos	II
Zinc cromatos [13530-85-9; 11103-86-9; 37300-23-5] (como	III

Estearato de zinc	I-c
El zinc, el óxido, el polvo, Pt	I-c
El zinc, óxido, humos	II
Circonio [7440-67-7] y compuestas (como Zr)	I-c

Anexo 7. Ficha técnica del protector auditivo 3M 1270 y 1271



Tapones Auditivos con Cordón 1270 y 1271

Hoja Técnica



Características principales

Los tapones auditivos reusables con cordón 1270, fabricados con materiales hipoalergénicos, brindan una efectiva e higiénica protección a los trabajadores que se desempeñan en áreas donde los niveles de ruido superan los 85 dB(A) por día. Fácil limpieza, sólo agua y jabón.

Su estructura de tres aletas (falanges) y su superficie perfectamente lisa han sido específicamente diseñados para adaptarse cómodamente a la mayoría de los canales auditivos, el color naranja permite una fácil visualización y comprobación de uso en los lugares de trabajo.

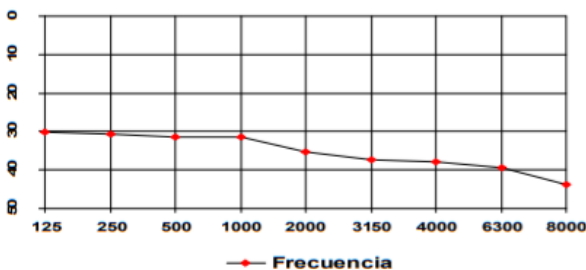
Los tapones auditivos reusables con cordón 1271 vienen en un cómodo y práctico estuche para colocar en el cinturón o colgar del casco.

Aplicaciones

Los tapones auditivos 1270 y 1271 pueden utilizarse en aquellas industrias donde exista riesgo de exposición a ruido, tales como construcción, procesos de maderas, metalurgia, o donde existan motores o turbinas, están recomendados en aquellos puestos de trabajo donde existe tanto exposición a ruido como a humedad o calor.

Atenuación

Valores medios de Atenuación para tapones auditivos 1270 y 1271 según norma ANSI S3.19-1974



La tasa de reducción de ruido (NRR) calculada a partir de los valores de Atenuación es de 25.0 dB, cuando los tapones están correctamente colocados.

Especificaciones

Material tapón: Elastómero sintético

Garantía

La única responsabilidad del vendedor o fabricante será la de reemplazar la cantidad de este producto que se pruebe ser defectuoso de fabrica.

Ni el vendedor ni el fabricante serán responsables de cualquier lesión personal pérdida o daños ya sean directos o consecuentes del mal uso de este producto.

Antes de ser usado, debe determinarse si el producto es apropiado para el uso pretendido y el usuario asume toda responsabilidad y riesgo en conexión con dicho uso.

Empaque

Piezas / Bolsa	Bolsas / Caja	Piezas / Caja
2	100	200

Para mayor información:

3M Manufacturera Venezuela S.A.
División Salud Ocupacional y Protección Ambiental
Tlf. 508-8087, 508-8084, 508-8114 fax 578-3925

Frecuencia	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000	NRR
Atenuación en el oído 9 dB(A)	30,2	30,7	31,4	31,5	35,2	37,4	37,8	39,5	43,9	25
Desviación estándar	3,8	3,3	3,1	4	3,4	4,1	4,7	5,7	4,5	dB

Anexo 8. Ficha técnica del protector auditivo 3M serie X4

Fonos 3M™ PELTOR™ Serie X4 Ficha Técnica



■ Descripción

Los nuevos protectores auditivos del tipo fono, **Serie X4** de 3M™ Peltor™, han sido fabricados para brindar una efectiva protección a los trabajadores que se desempeñan en áreas donde los niveles de ruido superan los límites establecidos, como por ejemplo, 85 dB(A) para exposiciones efectivas a ruido durante 8 hrs.

Estos fonos combinan una efectiva protección junto con un diseño moderno, copas de bajo perfil, bajo peso y anillos espaciadores entre las copas y las almohadillas los cuales permiten disminuir las frecuencias de resonancia, características que mejoran la comodidad y eficiencia. Las carcasas de las copas han sido fabricadas con un sistema pre-moldeado doble, a base de Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) y Poliuretano Termoplástico (TPU), lo cual brinda una mayor resistencia a los golpes, y constituye una eficiente barrera para evitar que el ruido ingrese al interior del fono. Adicionalmente, dentro de las carcasas se han incluido nuevas espumas absorbentes de ruido, lo cual permite mejorar aún más la atenuación que entrega el fono.



El arnés metálico que poseen estos fonos, ha sido fabricado en acero inoxidable, lo cual permite distribuir la presión que ejerce sobre los costados de la cabeza de manera uniforme, entregando una mayor comodidad y adaptación a las diversas características antropométricas del cráneo. Además, este arnés resiste torceduras y deformaciones, y mantiene constante la presión a lo largo del tiempo, asegurando de esta forma la mantención de la atenuación entregada durante el tiempo de uso. El nuevo arnés ha sido recubierto con plásticos blandos y duros, lo que permite un mayor confort en los puntos de contacto en la cabeza, combinados con rigidez y resistencia para una mayor durabilidad. El diseño de arnés doble ayuda a reducir la acumulación de calor y mejorar el ajuste y equilibrio del fono.



■ Atenuación

Las atenuaciones y desviaciones estándar de los fonos Serie X4, obtenidos bajo la norma europea EN 352 (*) son las siguientes:

Modelo	Frec (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
X4A	Atenuac. (dB)	19,6	17,8	22,1	30,6	39,5	37,3	43,8	42,1
	Desv. Est. (dB)	4,1	2,1	2,5	1,8	2,9	4,1	2,8	4
Modelo	Frec (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
X4P3E	Atenuac. (dB)	16,6	16,8	21,8	30,6	40,1	36,7	43,1	41,9
	Desv. Est. (dB)	3,6	2,5	2,1	1,9	2,3	3,7	2,7	4,7

Fono X4A SNR: 33 dB H: 36 dB M: 30 dB L: 22 dB

Fono X4P3E SNR: 32 dB H: 36 dB M: 30 dB L: 21 dB

(*) Esta información resulta necesaria para poder utilizar la norma chilena NCh1311/6.02001, para seleccionar protección auditiva según lo indicado en Art. 82 del Decreto Supremo N° 594.

Según la norma ANSI S3.19-1974, los valores NRR son:

X4A: 27 dB

X4P3E: 25 dB

■ Modelos Serie X4



X4A
Arnés sobre la Cabeza
(234 g.)

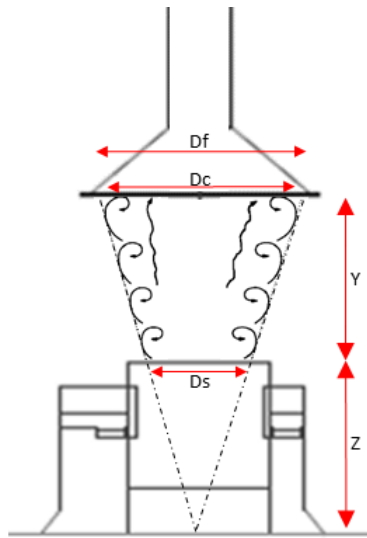


X4P3E
Arnés para casco
(236 g.)



3M

Anexo 9. Cálculo del caudal mínimo en campanas elevadas para focos calientes



Ítem	Parámetros	Unidad	Horno de fundición	Horno de re-fusión
1	Diámetro del foco caliente (Ds)	pie	1.31	0.92
2	Distancia desde la parte superior del horno hasta la boca de la campana (Y)	pie	2.89	2.4
3	Temperatura de foco (Tf)	°F	2012	2012
4	Temperatura del ambiente (Ta)	°F	88.7	77
5	Distancia desde la parte superior del horno hasta la fuente puntual hipotética (Z)	pie	2.998	2
6	Diámetro de la columna caliente en la boca de la campana (Dc)	pie	2.38	1.85
7	Velocidad de la columna caliente en la boca de la campana (Vf)	fpm	135.9	115.7
8	Diámetro de la campana (Df)	pie	4.69	3.78
9	Caudal (Q)	cfm	1886.2	1165.4

$$Z = (2D_s)^{1.138} \quad D_c = 0.5(X_c^{0.88}) \quad V_f = 8(A_s^{0.33}) \frac{(\Delta T^{0.42})}{X_c^{0.25}} \quad D_f = D_c + 0.8Y \quad Q = (V_f \times A_c) + V_r \times (A_f - A_c)$$

Ds = Diámetro del foco caliente.

Xc = Distancia desde la fuente puntual hipotética a la boca de la campana.

As = Área del foco caliente.

ΔT = Diferencia de temperatura entre el foco caliente y el aire ambiente.

Dc = Diámetro de la columna caliente en la boca de la campana

Y = Distancia desde la parte superior del proceso hasta la boca de la campana.

Vf = Velocidad de la columna caliente en la boca de la campana

Ac = Área de la columna de aire caliente en la boca de la campana = $0.25 \pi (D_c^2)$

Vr = Velocidad del aire requerida en el resto de la boca de la campana

Af = Área total de la boca de la campana = $0.25 \pi (D_f^2)$.