



| POSGRADOS |

MAESTRÍA EN SEGURIDAD, SALUD E HIGIENE INDUSTRIAL

RPC-SO-16-NO.268-2023

OPCIÓN DE TITULACIÓN:

PROYECTO DE TITULACIÓN CON
COMPONENTES DE INVESTIGACIÓN
APLICADA Y/O DE DESARROLLO

TEMA:

ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO DE AFECCIONES
RESPIRATORIAS EN SOLDADORES POR
EXPOSICIÓN A HUMOS METÁLICOS

AUTORA:

HEIDY ESTHEFANIA PALMA GUEVARA

DIRECTOR:

LUIS MARCELO LÓPEZ LÓPEZ

CUENCA – ECUADOR
2026

Autora:**Heidy Esthefania Palma Guevara**

Ingeniera Ambiental.

Candidata a Magíster en Seguridad, Salud e Higiene Industrial por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca.

heidypalmaguevara@gmail.com

Dirigido por:**Luis Marcelo López López**

Ingeniero Mecánico.

Magister en Sistemas Integrados de la Calidad, Seguridad y Ambiente.

Doctor en Ingeniería Industrial.

llopez@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2026 © Universidad Politécnica Salesiana.

CUENCA – ECUADOR – SUDAMÉRICA

HEIDY ESTHEFANIA PALMA GUEVARA

Análisis bibliográfico de afecciones respiratorias en soldadores por exposición a humos metálicos

Dedicatoria

A mis padres, por su constante apoyo, orientación y ejemplo, que han constituido la base fundamental para alcanzar mis objetivos académicos y profesionales. Cada logro obtenido es reflejo de sus enseñanzas y valores transmitidos a lo largo de mi formación.

A mi equipo de trabajo y a mis jefes, por otorgarme la confianza y las facilidades necesarias para el desarrollo de esta investigación, contribuyendo de manera significativa a la culminación satisfactoria de este proyecto de titulación.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por ser mi guía en los momentos difíciles, por recordarme que con fe todo llega en el tiempo perfecto, y por darme la fortaleza para no dejarme vencer por la adversidad. Sin fe y sin Dios, nada tendría sentido.

A mis padres, Marjorie y Vicente, son mi mayor ejemplo de amor, esfuerzo y perseverancia. Gracias por enseñarme que no existen obstáculos imposibles de superar y que siempre hay que seguir adelante. Sobre todo, gracias por la educación que me han brindado, por inculcarme valores firmes y por cada consejo, pues han sido las herramientas más valiosas para afrontar la vida. Sin su guía y sacrificios, hoy no sería la profesional que soy; este logro también es de ustedes.

Finalmente, extendo un agradecimiento muy especial a mi tutor, el PhD. Luis López, por su acompañamiento, guía y apoyo durante el desarrollo de este proyecto. ¡Gracias, profesor, por su paciencia y dedicación para encaminar esta investigación de la mejor manera!.

Índice

Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Resumen	XI
Abstract.....	XII

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1	Glosario	2
1.2	Antecedentes	2
1.3	Descripción del problema	3
1.4	Importancia y alcances	3
1.5	Delimitación	4
1.5.1	Espacial o geográfica	4
1.5.2	Temporal	4
1.5.3	Sectorial o institucional	4
1.6	Formulación del problema	4
1.6.1	Problema general	4
1.6.2	Problemas específicos	5
1.7	Justificación	5
1.8	Objetivos	6
1.8.1	Objetivo general	6
1.8.2	Objetivos específicos	6
1.9	Hipótesis	6
1.9.1	Hipótesis general	6
1.9.2	Hipótesis específicas	7

Capítulo 2

MARCO TEÓRICO

2.1	Procesos de soldadura y generación de humos metálicos	8
2.1.1	Composición elemental de los subproductos inhalables provenientes de la soldadura por arco	9
2.1.1.1	Humos metálicos generados en el proceso SMAW	10
2.1.1.2	Humos metálicos generados en el proceso GMAW.....	10
2.1.1.3	Humos metálicos generados en el proceso FCAW	11
2.1.1.4	Humos metálicos generados en el proceso GTAW.....	12
2.2	Efectos en la salud relacionado con afecciones respiratorias	14
2.2.1	Óxidos de hierro (Fe_2O_3 , Fe_3O_4).....	17
2.2.2	Óxidos de manganeso (MnO , Mn_3O_4)	17
2.2.3	Óxido de zinc (ZnO).....	18
2.2.4	Óxido de cobre (CuO)	18
2.2.5	Fluoruros y fluoruro de hidrógeno (HF)	18
2.2.6	Cromo (incluido Cr(VI))	18
2.2.7	Óxido de molibdeno (MoO_3).....	19
2.2.8	Óxido de tungsteno (WO_3) y lantano (La_2O_3)	19
2.2.9	Ozono (O_3) y Óxidos de nitrógeno (NO , NO_2)	19
2.3	Valores límite de exposición ocupacional.....	20

Capítulo 3

METODOLOGÍA

3.1	Identificación de los principales compuestos en los humos metálicos generados por los diferentes tipos de soldadura.....	25
3.1.1	Proceso de soldadura SMAW.....	25
3.1.1.1	Principales compuestos en la soldadura SMAW	27
3.1.1.1.1	Compuestos sólidos	27
3.1.1.1.1.1	Óxidos de hierro	28
3.1.1.1.1.2	Óxidos de manganeso.....	28
3.1.1.1.1.3	Fluoruros de calcio.....	28
3.1.1.1.2	Compuestos gaseosos.....	29
3.1.1.1.2.1	Monóxido de carbono (CO).....	30

3.1.1.1.2.2	Óxidos de nitrógeno (NO, NO ₂)	30
3.1.1.1.2.3	Ozono (O ₃)	30
3.1.1.2	Tiempo de exposición a los humos de soldadura.....	31
3.1.1.2.1	Determinación del tiempo efectivo de exposición al arco eléctrico (Arc-On Time).....	32
3.1.2	Proceso de soldadura GMAW.....	35
3.1.2.1	Principales compuestos en la soldadura GMAW.....	37
3.1.2.1.1	Compuestos sólidos	37
3.1.2.1.1.1	Óxidos de hierro	37
3.1.2.1.1.2	Óxidos de manganeso.....	38
3.1.2.1.1.3	Óxidos de silicio.....	38
3.1.2.1.2	Compuestos gaseosos.....	38
3.1.2.1.2.1	Monóxido de carbono (CO).....	39
3.1.2.1.2.2	Óxidos de nitrógeno (NO, NO ₂)	39
3.1.2.1.2.3	Ozono (O ₃)	40
3.1.2.2	Tiempo de exposición a los humos de soldadura.....	41
3.1.2.2.1	Determinación del tiempo efectivo de exposición al arco eléctrico (Arc-On Time).....	41
3.1.3	Proceso de soldadura FCAW	44
3.1.3.1	Principales compuestos en la soldadura FCAW	46
3.1.3.1.1	Compuestos sólidos	46
3.1.3.1.1.1	Óxidos de hierro	47
3.1.3.1.1.2	Óxidos de manganeso.....	47
3.1.3.1.1.3	Óxidos de silicio.....	48
3.1.3.1.2	Compuestos gaseosos.....	48
3.1.3.1.2.1	Monóxido de carbono (CO).....	49
3.1.3.1.2.2	Óxidos de nitrógeno (NO, NO ₂)	49
3.1.3.1.2.3	Ozono (O ₃)	50
3.1.3.2	Tiempo de exposición a los humos de soldadura.....	51
3.1.3.2.1	Determinación del tiempo efectivo de exposición al arco eléctrico (Arc-On Time).....	52
3.1.4	Proceso de soldadura GTAW.....	55
3.1.4.1	Principales compuestos en la soldadura GTAW.....	57
3.1.4.1.1	Compuestos sólidos	57
3.1.4.1.1.1	Óxidos de hierro	58

3.1.4.1.1.2	Óxidos de manganeso.....	59
3.1.4.1.1.3	Óxidos de silicio.....	59
3.1.4.1.1.4	Óxidos de tungsteno	60
3.1.4.1.1.5	Óxidos de lantano.....	60
3.1.4.1.2	Compuestos gaseosos.....	61
3.1.4.1.2.1	Monóxido de carbono (CO).....	62
3.1.4.1.2.2	Óxidos de nitrógeno (NO, NO ₂)	62
3.1.4.1.2.3	Ozono (O ₃).....	62
3.1.4.2	Tiempo de exposición a los humos de soldadura.....	63
3.1.4.2.1	Determinación del tiempo efectivo de exposición al arco eléctrico (Arc-On Time).....	64
3.2	Establecimiento de los efectos en la salud de los principales compuestos presentes en los humos metálicos generados por los diferentes tipos de soldadura en el ambiente de trabajo	67
3.2.1	SMAW	70
3.2.2	GMAW.....	70
3.2.3	FCAW	71
3.2.4	GTAW.....	71
3.3	Determinación de la relación entre los principales compuestos de los humos metálicos generados en los procesos de soldadura en el ambiente de trabajo y los efectos en la salud a base de revisiones bibliográficas.....	72

Capítulo 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Análisis, interpretación y discusión de resultados.....	78
4.1.1	Caracterización de la población encuestada.....	78
4.1.2	Condiciones de exposición y uso de equipos de protección.....	79
4.1.3	Percepción del proceso de mayor impacto sobre la salud.....	80
4.1.4	Síntomas respiratorios identificados.....	80
4.1.5	Relación entre antigüedad laboral y presencia de síntomas.....	81
4.1.6	Discusión técnica global	81
4.2	Pruebas de hipótesis	84
4.2.1	Variables de estudio	85
4.2.2	Método estadístico aplicado	85

4.2.3	Resultados del análisis de correlación	85
4.2.4	Discusión de la hipótesis en el contexto ocupacional.....	89
4.3	Presentación de resultados	89
4.3.1	Percepción del proceso de soldadura con mayor impacto sobre la salud	90
4.3.2	Frecuencia de síntomas respiratorios reportados.....	91
4.3.3	Cumplimiento de medidas preventivas.....	92
4.3.4	Relación entre antigüedad laboral y síntomas respiratorios	93
4.4	Análisis integral de resultados y correlación con posibles enfermedades ocupa- cionales	93
4.4.1	Correlación entre síntomas y agentes químicos identificados.....	93
4.4.2	Relación con enfermedades ocupacionales reconocidas	94
4.4.3	Implicaciones para el control médico y la gestión ocupacional.....	95
4.4.4	Síntesis técnica del capítulo	96

Capítulo 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones	99
5.2	Recomendaciones	100
5.2.1	Controles técnicos e ingeniería.....	100
5.2.2	Controles administrativos y capacitación	101
5.2.3	Control médico y vigilancia ocupacional.....	101
5.2.4	Recomendaciones generales de gestión.....	102
	Referencias bibliográficas	109
	ANEXOS.....	110
	Anexo A: Protocolo de investigación	111
	Anexo B: Evaluación de criterios técnicos	112
	Anexo C: Condiciones de control.....	113

Lista de Tablas

2.1	Tipos de proceso de soldadura	9
2.2	Contaminantes inhalables principales según el proceso de Soldadura	14
2.3	Efectos en la salud de los principales contaminantes.....	16
2.4	Comparativa de valores de exposición ocupacional asociados a procesos de soldadura	22
3.1	Tiempo neto de exposición durante la técnica de Soldadura SMAW.....	32
3.2	Parámetros operativos y comparativos del proceso SMAW	34
3.3	Parámetros operativos y comparativos del proceso GMAW	44
3.4	Parámetros operativos y comparativos del proceso FCAW	55
3.5	Parámetros operativos y comparativos del proceso GTAW.....	67
3.6	Comparación entre procesos de soldadura, compuestos predominantes y efectos en la salud	69
3.7	Compuestos presentes en los procesos de soldadura y sus efectos en la salud .	74
3.8	Compuestos presentes en los procesos de soldadura y sus efectos en la salud .	75
3.9	Comparación de contaminantes principales en procesos de soldadura con acero al carbono	77
4.1	Indicadores de exposición y control ocupacional en el área de soldadura	83
4.2	Datos obtenidos de los trabajadores	86

Lista de Figuras

3.1	Diagrama del proceso planteado para el desarrollo del trabajo de titulación .	25
3.2	Diagrama de proceso de soldadura SMAW.....	26
3.3	Soldadura SMAW aplicada a la unión de placas metálicas de 6 mm en acero al carbono	27
3.4	Gases generados en el proceso SMAW.....	29
3.5	Detalle de soldadura en viga de amarre tipo I.....	33
3.6	Diagrama de proceso de soldadura GMAW.....	35
3.7	Soldadura GMAW aplicada para remate de placas metálicas de 3 mm en acero al carbono	36
3.8	Gases generados en el proceso GMAW.....	39
3.9	Detalle de soldadura en cerchas tipo cajón	42
3.10	Diagrama de proceso de soldadura FCAW.....	44
3.11	Soldadura FCAW aplicada para remate de placas metálicas de 6-12 mm en acero al carbono	46
3.12	Gases generados en el proceso FCAW.....	49
3.13	Detalle de soldadura en cumbreros empernados	52
3.14	Diagrama de proceso de soldadura GTAW	56
3.15	Soldadura GTAW aplicada para remate de placas metálicas de 6-12 mm en acero al carbono	57
3.16	Gases generados en el proceso GTAW	61
3.17	Detalle de soldadura en cumbreros remate TIG	64
4.1	Uso de respiradores durante actividades de soldadura	79
4.2	Relación entre antigüedad laboral y síntomas respiratorios en trabajadores de soldadura	88
4.3	Percepción del proceso de soldadura de mayor impacto sobre la salud.....	90
4.4	Frecuencia de síntomas respiratorios reportados por los soldadores encuestados	91

4.5	Nivel de cumplimiento de medidas preventivas frente a humos metálicos . . .	92
-----	---	----

Resumen

El objetivo de este proyecto de investigación fue llevar a cabo un análisis basado en la revisión sistemática de la literatura sobre las afecciones respiratorias más relevantes relacionadas con la exposición a humos metálicos que contienen gases tóxicos y partículas ultrafinas, producidas durante los procesos de soldadura por arco eléctrico SMAW, GMAW, FCAW y GTAW aplicados al acero al carbono en la empresa Cuaral, dedicada al montaje y fabricación de estructuras metálicas. La finalidad es identificar síntomas respiratorios asociados a la exposición y evaluar las medidas preventivas implementadas por la empresa.

La investigación se desarrolló desde un enfoque cuantitativo, que se fundamenta en el estudio documental de fuentes científicas sobre los efectos respiratorios generados por humos metálicos. Se basó en una investigación aplicada, descriptiva, correlacional y explicativa, cuyo objetivo es determinar conexiones entre los contaminantes identificados y las enfermedades respiratorias detectadas en empleados expuestos.

Los resultados evidenciaron que el proceso SMAW obtuvo un factor de exposición, Arc-On Time del 38,83 %, seguido por FCAW con 21,14 % y GMAW con un 19,82 %; aunque el proceso GTAW genera una menor cantidad de partículas, su Arc-On Time representa el 52,12 %, lo cual implica una exposición prolongada a gases oxidantes como O_3 y NO_2 , para ello, se detectó una correlación positiva importante ($r = 0,43$; $p < 0,05$) entre la antigüedad laboral y la incidencia de síntomas respiratorios reportados, confirmando un efecto acumulativo de la exposición a humos metálicos sobre la salud respiratoria de los soldadores.

Los hallazgos confirman que la exposición a humos metálicos constituye un riesgo higiénico-ocupacional prioritario en la empresa Cuaral; La evidencia sintomática y la caracterización de contaminantes demuestran una relación directa entre la exposición prolongada y la afectación del sistema respiratorio, con base en estos resultados, se propusieron medidas técnicas específicas y se elaboró un protocolo de investigación con parámetros orientados a la presunción y control de enfermedades ocupacionales, considerando criterios de vigilancia médica, control ambiental y uso adecuado de protección respiratoria, estas acciones buscan preservar la salud ocupacional y fomentar en la empresa ambientes de trabajo más seguros y saludables.

Palabras clave: Soldadura, Humos metálicos, Afecciones respiratorias.

Abstract

The main goal about this research project is to carry out an analysis based on a systematic information review based on the most relevant respiratory conditions related to exposure to metal fumes which are contained in toxic gases and ultrafine particles, produced during SMAW, GMAW, FCAW and GTAW electric arc welding processes applied to carbon steel at Cuaral, a company that is dedicated to the assembly and manufacture of metal structures.

The aim is to identify respiratory symptoms associated with exposure and evaluate the preventive measures implemented by the company. The research was carried out using a quantitative approach, based on a review of scientific sources concerning to the respiratory effects of metal fumes. It was applied on a , descriptive, correlational, and explanatory research methodology, aiming to determine the connections between the identified contaminants and the respiratory illnesses observed in employees who were exposed.

The findings showed that the SMAW process had an exposure factor, Arc-On Time of 38.83 %, followed by FCAW with 21.14 % and GMAW with 19.82 %; although the GTAW process generates a smaller amount of particles, its Arc-On Time represents 52.12 %, which implies a prolonged exposure to oxidizing gases such as O₃ and NO₂. For this reason, a significant positive correlation ($r = 0.43$; $p < 0.05$) was detected between work experience and the incidence of reported respiratory symptoms, confirming a cumulative effect of exposure to metal fumes on the respiratory health of welders.

The findings confirm that exposure to metal fumes constitutes a priority occupational health risk at the Cuaral company; Symptomatic evidence and characterization of contaminants demonstrate a direct relationship between prolonged exposure and respiratory system impairment. Based on these results, specific technical measures were proposed and a research protocol was developed with parameters aimed at the presumption and control of occupational diseases, considering criteria for medical control, environmental control, and an appropriate use of respiratory protection. These actions seek to preserve occupational health and promote safer and healthier work environments in the company.

Keywords: Welding, Metal fumes, Respiratory conditions.

Capítulo 1

Introducción

Los procedimientos de soldadura con arco eléctrico, empleados con frecuencia en la industria metalmecánica para unir estructuras metálicas, generan como subproductos partículas ultrafinas y gases reactivos conocidos como humos metálicos (NIOSH, 2025). Estas emisiones representan un peligro directo para la salud de los trabajadores expuestos, particularmente en ambientes con deficiente ventilación y en ausencia de controles higiénicos apropiados. Diversos estudios han demostrado que estos contaminantes contemplan gases secundarios como el ozono, el monóxido de carbono, el dióxido de nitrógeno y el fosgeno, además de óxidos de níquel, cromo, manganeso, plomo y hierro, capaces de inducir afecciones respiratorias agudas y crónicas (Antonini, 2003; García, Quispe, y Raez, 2020).

En Ecuador, empresas como CUARAL desarrollan procesos de soldadura estructural que, dependiendo del tipo de técnica utilizada (SMAW, GMAW, FCAW o GTAW), varía la composición química en los humos generados de los procesos. La relación entre estos agentes contaminantes y la aparición de enfermedades como bronquitis crónica, siderosis, fibrosis pulmonar, fiebre por humos metálicos o incluso cáncer de pulmón ha sido documentada en literatura científica, aunque los mecanismos fisiopatológicos aún están bajo estudio (Cosgrove, 2015; Gomez, León, Puello, Granados, y León, 2019; Guha, Loomis, y Guyton, 2017).

Pese a la existencia de normas internacionales como las emitidas por la ACGIH, NIOSH y OSHA que establecen límites de exposición ocupacional, su aplicación efectiva requiere un conocimiento técnico preciso, el fortalecimiento de la gestión preventiva y una adecuada sistematización del riesgo (Pourtaghi, Kakooei, Salem, Pourtaghi, y Lahmi, 2009; Rahmani, Alhorabi, Josef, y Babiker, 2018). En este contexto, la presente investigación propone un

análisis bibliográfico riguroso con el fin de identificar los principales compuestos tóxicos presentes en los humos metálicos, establecer sus efectos sobre la salud respiratoria y generar criterios técnicos aplicables al entorno laboral, contribuyendo al desarrollo de estrategias de intervención fundamentadas en datos científicos, para mejorar las condiciones de salud y seguridad dentro del ámbito metalmecánico de la empresa en estudio.

1.1. Glosario

Humos metálicos	Los compuestos metálicos en suspensión que se forman cuando un metal se calienta a una temperatura muy alta, lo que causa que se vaporice y se condense, formando partículas sólidas suspendidas muy pequeñas en el aire, generadas por la sublimación o volatilización del metal (D'Addario, 2017).
Afecciones respiratorias	Las afecciones respiratorias, también conocidas como enfermedades del sistema respiratorio, son padecimientos que afectan la capacidad de respirar adecuadamente. Estas enfermedades pueden afectar cualquier parte del aparato respiratorio, incluyendo la nariz, boca, faringe, laringe, tráquea, bronquios, y pulmones (Gutiérrez, 2010).

1.2. Antecedentes

Cuaral es una empresa constructora especializada en la producción y montaje de estructuras en metal y actividades en acero, destacándose por la excelencia y calidad en los diferentes métodos de soldadura como SMAW, GMAW, FCAW y GTAW. Estos procedimientos de soldadura por arco permiten garantizar uniones precisas y de alta resistencia con distintos tipos de acero, asegurando así la integridad estructural de cada proyecto; constituida en la ciudad de Quito con más de 20 años de experiencia, Cuaral ha crecido significativamente, contando hoy con 50 trabajadores, de los cuales 35 se desempeñan en el área de ensamblaje estructural y 15 de ellos están certificados como soldadores; su centro de operaciones se encuentra en Quito, mientras que los trabajos de campo se realizan en campamentos, adaptando los espacios físicos a las condiciones del lugar y ubicación del contrato.

1.3. Descripción del problema

Los procedimientos de soldadura conllevan una exposición constante a partículas metálicas y gases, lo que constituye un serio riesgo tanto para la salud de los trabajadores como para la seguridad en general, el arco de soldadura funde tanto el metal base como el material de aporte y sus recubrimientos superficiales, produciendo partículas pequeñas en suspensión que pueden ser inhaladas con facilidad y son capaces de penetrar profundamente en el sistema respiratorio.

La ausencia de ventilación apropiada y el uso deficiente de equipos de protección personal han sido históricamente factores determinantes en la aparición de múltiples afecciones respiratorias entre los soldadores, estas manifestaciones van desde irritaciones agudas y fiebre por humos metálicos, hasta patologías crónicas como bronquitis, enfisema y, en casos graves, lesiones pulmonares irreversibles

1.4. Importancia y alcances

La presente investigación trata un asunto crítico en el campo de la seguridad y salud ocupacional vinculado a las afecciones respiratorias causados por la exposición a humos metálicos durante procesos de soldadura; la constante presencia de estos compuestos tóxicos generados en el ambiente laboral del sector metalmecánico constituye un factor de riesgo relevante para la salud ocupacional de los trabajadores, particularmente de los soldadores expuestos.

Es por ello, que el estudio permite comprender, mediante una revisión científica actualizada, la relación entre los contaminantes emitidos y las patologías respiratorias que se desarrollan como consecuencia de su inhalación. El desarrollo de la presente investigación contribuye al fortalecimiento de políticas preventivas, ofreciendo insumos técnicos para la planificación de acciones de control, formación profesional y toma de decisiones basadas en evidencia, aplicables en contextos industriales reales.

1.5. Delimitación

1.5.1. Espacial o geográfica

La investigación se circunscribe al contexto laboral ecuatoriano, con énfasis en la empresa del sector metalmecánico situada en la ciudad de Quito, como caso de estudio la empresa CUARAL, especializada en procesos de soldadura estructural. También se consideran las condiciones de exposición en campamentos operativos temporales, en los que se ejecutan trabajos de soldadura bajo condiciones adaptadas del entorno; cabe recalcar que la investigación no se limita al análisis de una única empresa, sino que establece criterios extrapolables a entornos metalmecánicos que aplican técnicas de unión por arco eléctrico.

1.5.2. Temporal

El desarrollo del proyecto está previsto para un periodo de ejecución de seis meses comprendidos entre julio a diciembre del 2025, conforme al cronograma de actividades establecido; por consiguiente, la revisión documental se apoya en fuentes científicas actualizadas, garantizando la pertinencia técnica y epidemiológica de los datos utilizados.

1.5.3. Sectorial o institucional

El estudio se enfoca sectorialmente en la industria metalmecánica, con especial atención a los procesos de soldadura estructural que implican exposición a humos metálicos. A nivel institucional, se basa en la prevención de riesgos patológicos en el contexto laboral mediante un abordaje técnico basado en evidencia científica, integrando estándares internacionales de higiene industrial y normativas de exposición ocupacional.

1.6. Formulación del problema

1.6.1. Problema general

- ¿Cuáles son las afecciones respiratorias más frecuentes en soldadores expuestos a humos metálicos, en base a revisiones bibliográficas?

1.6.2. Problemas específicos

- ¿Es posible identificar los principales compuestos presentes en los humos metálicos generados por los diferentes tipos de soldadura?
- ¿Será factible establecer los efectos en la salud de los principales compuestos presentes en los humos metálicos generados por los diferentes tipos de soldadura en el ambiente de trabajo?
- ¿Se puede determinar la relación entre los principales compuestos de los humos metálicos generados en los procesos de soldadura en el ambiente de trabajo y los efectos en la salud a base de revisiones bibliográficas?

1.7. Justificación

En el área de la salud ocupacional, la inhalación de partículas metálicas producidas durante las labores de soldadura es un peligro importante. (Ramírez Posada y Arias, 2021). Diversos estudios epidemiológicos y reportes clínicos han demostrado que los trabajadores involucrados en estas actividades tienen una mayor probabilidad de desarrollar enfermedades respiratorias, tanto agudas como crónicas (Antonini, 2003; NIOSH, 2025).

En entornos industriales, la soldadura es una actividad ampliamente utilizada, lo cual incrementa la cantidad de trabajadores potencialmente expuestos a estos agentes nocivos. La intensidad de las tareas de soldadura guarda una estrecha relación con el grado de concentración de agentes contaminantes en el ambiente laboral, lo que incrementa significativamente el riesgo de afecciones respiratorias entre los trabajadores. Frente a este panorama, se han establecido lineamientos para restringir el índice de exposición ocupacional en los niveles tanto nacional como internacional, destacando los emitidos por entidades como la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA); No obstante, su cumplimiento eficaz está condicionado por el nivel de formación técnica y preventiva que posean las organizaciones (Pourtaghi y cols., 2009; Rahmani y cols., 2018).

La presente investigación desarrolló una revisión documental sistemática de las afecciones respiratorias asociadas a los procedimientos de soldadura como SMAW, GMAW, FCAW y GTAW. Esta problemática cobra especial relevancia considerando que las actividades de

soldadura generan partículas finas y compuestos gaseosos, los cuales, al ser inhalados de forma reiterada, pueden desencadenar alteraciones respiratorias agudas y crónicas. En entornos laborales con prácticas preventivas deficientes, estos riesgos tienden a agravarse comprometiendo la salud del personal operativo expuesto.

El análisis realizado contribuye de manera significativa al reconocimiento de los principales agentes tóxicos involucrados, sus efectos sobre la salud respiratoria y las estrategias de prevención disponibles. Los hallazgos obtenidos permiten formular recomendaciones aplicables a contextos laborales reales, con la finalidad de fortalecer la gestión preventiva y optimizar la toma de decisiones basada en evidencia científica, mediante una comparación crítica entre la literatura especializada y las condiciones observadas en el contexto ocupacional.

1.8. Objetivos

1.8.1. Objetivo general

- Analizar con revisiones bibliográficas las afecciones respiratorias en soldadores por exposición a humos metálicos.

1.8.2. Objetivos específicos

- Identificar los principales compuestos presentes en los humos metálicos generados por los diferentes tipos de soldadura.
- Establecer los efectos en la salud de los principales compuestos presentes en los humos metálicos generados por los diferentes tipos de soldadura en el ambiente de trabajo.
- Determinar la relación entre los principales compuestos de los humos metálicos generados en los procesos de soldadura en el ambiente de trabajo y los efectos en la salud a base de revisiones bibliográficas.

1.9. Hipótesis

1.9.1. Hipótesis general

- Se analizará con revisiones bibliográficas las afecciones respiratorias en soldadores por exposición a humos Metálicos.

1.9.2. Hipótesis específicas

- Identificación de los principales compuestos presentes en los humos metálicos generados por los diferentes tipos de soldadura.
- Establecimiento de los efectos en la salud de los principales compuestos presentes en los humos metálicos generados por los diferentes tipos de soldadura en el ambiente de trabajo.
- Determinación de la relación entre los principales compuestos de los humos metálicos generados en los procesos de soldadura en el ambiente de trabajo y los efectos en la salud a base de revisiones bibliográficas.

Capítulo 2

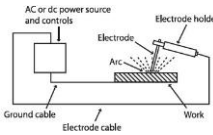
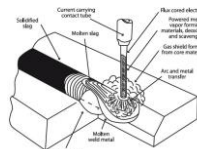
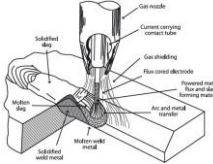
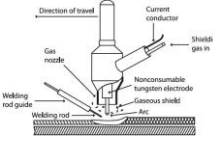
Marco teórico

2.1. Procesos de soldadura y generación de humos metálicos

Los procesos de soldadura como SMAW, GMAW, FCAW y GTAW se emplean extensamente en entornos industriales por su alto rendimiento y adaptabilidad; sin embargo, estas técnicas generan emisiones de humos metálicos que contienen partículas diminutas inferior a $1\ \mu\text{m}$, las cuales representan un riesgo significativo para la salud al ser inhaladas, ya que se originan durante la vaporización de los componentes metálicos tanto del material base como de los electrodos y sus recubrimientos, los mismos que al enfriarse se transforman en aerosoles sólidos que permanecen suspendidos en el ambiente laboral (Chang, Demokritou, Shafer, y Christiani, 2013; Guha y cols., 2017). La Tabla 2.1 muestra un resumen comparativo esquemático de las técnicas de soldadura por arco.

Tabla 2.1

Tipos de proceso de soldadura.

Tipo de soldadura	Descripción técnica	Material de aporte	Ilustración del proceso
SMAW (Electrodo Revestido)	Proceso de unión por arco eléctrico que funde un electrodo con recubrimiento protector, generando gases y escoria en el cordón de soldadura (Flores, 2016).	Electrodo revestido, arco eléctrico, escoria protectora.	
GMAW (Alambre Sólido con Gas)	Técnica de alta velocidad que usa un alambre continuo como electrodo y gases inertes o activos para blindar la zona de fusión (Castro et al., 2025).	Alambre metálico sólido, gas protector (argón, helio, CO ₂).	
FCAW (Alambre Tubular Autoprotectido)	Utiliza un alambre con núcleo fundente que genera gas y escoria al soldar, eliminando la necesidad de suministro externo de gas (Jaramillo, 2021).	Alambre con núcleo activo, formación de escoria.	
GTAW (Electrodo de Tungsteno)	Emplea un electrodo no consumible de tungsteno y gas inerte para lograr una unión precisa con aporte manual de material (Kute-lu et al., 2018).	Tungsteno, gas inerte (argón/helio).	

Nota: Síntesis de los diferentes de métodos de soldadura clasificados por tipo de electrodo, fuente térmica y sistema de protección. (Olavarrieta del Castillo, 2011).

2.1.1. Composición elemental de los subproductos inhalables provenientes de la soldadura por arco

Los principales componentes generados durante la soldadura consisten en partículas micro-métricas formadas por la condensación de vapores metálicos, emitidos cuando los materiales involucrados alcanzan temperaturas superiores a su punto de ebullición (Nicot Hinojosa, 2022). Estos compuestos suelen contener óxidos, fluoruros y silicatos, derivados del electrodo y del metal base fundido (Centro Canadiense de Salud y Seguridad Ocupacional, 2024).

2.1.1.1. Humos metálicos generados en el proceso SMAW

Los humos metálicos generados durante el proceso de soldadura por arco con electrodo revestido (SMAW) han sido ampliamente estudiados debido a su composición rica en partículas ultrafinas. Según la literatura, estas partículas están compuestas principalmente por óxidos de hierro (Fe_2O_3 , Fe_3O_4) y óxidos de manganeso (MnO , Mn_3O_4), seguidos de contaminantes secundarios como fluoruros (CaF_2 , NaF , MgF_2), provenientes del fundente. En algunos casos se detectan plomo (Pb), cobre (Cu) y molibdeno (Mo) en trazas (Brožek-Mucha, 2015; Pasic y Begić, 2006). Su morfología es heterogénea, predominando estructuras esféricas debido a los procesos de fusión, evaporación y solidificación instantánea de los metales durante la operación (Sowards, Lippold, Dickinson, y Ramirez, 2008).

Investigaciones recientes destacan que, cuando se trabaja con aceros inoxidables o electrodos aleados, existe riesgo de emisión de cromo hexavalente [Cr(VI)] y óxidos de níquel (NiO), reconocidos por su elevada toxicidad respiratoria y clasificación como carcinógenos, lo que representa un riesgo crítico para la salud ocupacional (Leonard y cols., 2010; Rahul, Sivapirakasam, Sreejith, Vishnu, y ijayakumar, 2024). Adicionalmente, estudios como las de (Gonser, Lippold, Dickinson, Sowards, y Ramirez, 2010) han demostrado que la concentración de estos metales varía según el material base y el tipo de electrodo, y que su oxidación incrementa la reactividad y toxicidad del material particulado inhalado.

2.1.1.2. Humos metálicos generados en el proceso GMAW

El proceso GMAW utiliza alambres sólidos y un gas protector, el cual durante el proceso se producen humos metálicos que consisten, en su mayoría, de óxidos de hierro (Fe_2O_3 , Fe_3O_4) y manganeso (MnO , Mn_3O_4), cuyas concentraciones oscilan entre 5-30 mg/m^3 para hierro y 0.2-8 mg/m^3 para manganeso, según los parámetros operacionales y composición del consumible (Berlinger, Náray, y Záray, 2008; Cena, Chisholm, Keane, y Chen, 2015).

Investigaciones recientes han evidenciado la presencia de nanopartículas (<100 nm) con elevada afinidad de penetración alveolar, lo que potencia su absorción sistémica y potencial tóxico. Su morfología en cadena está conformada por aglomerados de compuestos primarios, predominando el zinc (Zn), el níquel (Ni), el manganeso (Mn) y el hierro (Fe) (Kah, 2021;

Zhang y cols., 2013).

Un hallazgo crítico en la soldadura de aceros inoxidables se ha documentado la formación significativa de Cr(VI), con concentraciones que superan los límites permisibles de OSHA (0.005 mg/m³), lo que convierte a este proceso en uno de los más críticos en términos de exposición ocupacional; Asimismo, se han detectado óxidos de cobre (CuO) provenientes de alambres recubiertos de cobre (Cena, Chisholm, Keane, Cumpston, y Chen, 2014).

Un aspecto relevante en GMAW es la generación de contaminantes gaseosos como ozono (O₃) y óxidos de nitrógeno (NO, NO₂), producidos por la radiación ultravioleta del arco, los cuales representan un riesgo respiratorio adicional (Centro Canadiense de Salud y Seguridad Ocupacional, 2024)

La formación de estos compuestos está influenciada por variables como la intensidad de corriente (valores ≥ 200 A aumentan la liberación de Mn), la composición del gas de protección (mezclas con argón reducen la formación de óxidos) y la técnica de aplicación. Esto subraya la importancia de adoptar medidas jerárquicas, desde el uso de consumibles con bajo contenido de Mn y Cr, hasta la aplicación de controles de ingeniería para reducir la exposición laboral.

2.1.1.3. Humos metálicos generados en el proceso FCAW

Durante el procedimiento FCAW se emplea alambre autoprotegido acompañado de gas protector CO₂, caracterizado por una alta tasa de generación de humos metálicos compuestos principalmente por óxidos metálicos, silicatos y otros productos derivados de las reacciones entre los componentes del metal base, el alambre tubular, el fundente y los gases presentes en el arco eléctrico (Cubas, Melton, Islam, y Krishnan, 2023; Yoon, Paik, y Kim, 2003).

En este tipo de acero, los elementos predominantes en los humos suelen ser hierro (Fe) y manganeso (Mn), presentes en forma de óxidos (Fe₂O₃, Fe₃O₄ y MnO); El hierro proviene en igual medida del metal base como del material de aporte, mientras que el manganeso se transfiere por vaporización desde el baño fundido y el alambre, siendo altamente volátil a las temperaturas características del arco (Antonini, 2003; Yoon, Paik, Kim, y Chae, 2009).

De igual manera, se detectan óxidos de silicio (Si) y aluminio (Al) en menor proporción, originados de los desoxidantes presentes en el núcleo del alambre y en el metal base; Incluso,

elementos como calcio (Ca), titanio (Ti) o magnesio (Mg), asociados del fundente, donde actúan como formadores de escoria y estabilizadores del arco. También se liberan fluoruros (NaF, KF, CaF_2) que, al descomponerse, pueden producir HF (Diniz Starling, Modenesi, y Donizete Borba, 2010).

Además, en cuanto al cromo, se ha observado que en soldaduras FCAW sobre acero al carbono la fracción de cromo total (Cr) y cromo hexavalente (Cr(VI)) suele ser baja en comparación con aceros inoxidable; No obstante, pueden detectarse en trazas cuando el alambre o el fundente contienen ferroaleaciones con cromo, alcanzando hasta el 1 de la masa total de humos (Cubas y cols., 2023; Yoon y cols., 2003).

Del mismo modo, la utilización de CO_2 como gas protector favorece la oxidación de metales vaporizados, lo que incrementa la formación de partículas esféricas o aglomerados de tamaño respirable ($<1 \mu\text{m}$), facilitando su penetración en las vías respiratorias (Garcia y Scotti, 2010; Zimmer y Biswas, 2001).

Finalmente, en los humos generados por FCAW también se identifican compuestos alcalinos como óxidos de sodio (Na_2O) y óxidos de potasio (K_2O), provenientes del fundente. Estos elementos no solo modifican la conductividad del plasma, sino que también pueden favorecer reacciones de oxidación que contribuyen a la formación de especies tóxicas, como se ha reportado para el Cr(VI) en ciertos tipos de alambre (Cubas y cols., 2023; Jung, Oh, Jung, y Yoon, 2025).

2.1.1.4. Humos metálicos generados en el proceso GTAW

el proceso de soldadura por arco de tungsteno (GTAW/TIG) utilizando argón como gas de protección, la generación de humos metálicos difiere notablemente de otros procesos debido a la ausencia de fundente y al uso de un electrodo no consumible, lo que reduce significativamente la tasa de emisión másica. (Graczyk y cols., 2016).

Sin embargo, cuando se emplea material de aporte, se ha documentado la presencia de partículas nanométricas y ultrafinas compuestas principalmente por óxidos de hierro (Fe_2O_3 , Fe_3O_4) manganeso (MnO), cromo (Cr_2O_4), níquel (NiO), molibdeno (MoO_3), carburos e incluso óxidos de tungsteno (WO_3), y posibles trazas de óxidos de torio (ThO_2) o cerio

(CeO₂) liberadas por abrasión y sobrecalentamiento del electrodo o contacto con el baño de fusión. (Miettinen, Torvela, y Leskinen, 2016; Pili y cols., 2024).

(Miettinen y cols., 2016), describen dos tipos de aglomerados presentes en los humos de soldadura TIG, conformados por partículas primarias de óxidos de hierro que incorporan Cr, Mn y Ni; y el segundo aglomero, compuesto por partículas con una proporción significativamente mayor de níquel, lo que sugiere diferencias en su comportamiento toxicológico y en su capacidad de penetración biológica.

Por su parte, (Pili y cols., 2024), reporta que hasta el 91 % de las partículas generadas en GTAW presentan tamaños entre 0.010 μm y 0.071 μm , lo que favorece su ingreso profundo en el tracto respiratorio. Además el riesgo dominante en GTAW es la generación de contaminantes gaseosos como óxidos de nitrógeno (NO, NO₂) y ozono (O₃), cuyo carácter tóxico ha llevado a que las organizaciones internacionales endurezcan los límites de exposición ocupacional (Wagner, Siewert, Schein, Hussary, y Jaeckel, 2018).

Los procesos de soldadura emplean tecnologías diversas que comparten el principio de unión metálica mediante la fusión (Puello Silva, León Méndez, Gómez Marrugo, Muñoz Monroy, y Blanco Herrera, 2018); estas operaciones generan humos metálicos cuya composición química y propiedades fisicoquímicas dependen de los insumos utilizados, pudiendo representar un riesgo significativo para la salud ocupacional y el entorno, tanto por exposición individual como por efectos sinérgicos (Marrugo, León-Méndez, Silva, Granados-Conde, y León-Méndez, 2019). Teniendo en cuenta lo anterior, en la Tabla 2.2 se identifican los principales compuestos con potencial toxicológico que pueden impactar negativamente la salud del soldador y el entorno laboral.

Tabla 2.2

Contaminantes inhalables principales según el proceso de Soldadura.

Tipo de soldadura	Metal base frecuente	Consumible	Sistema de protección	Contaminantes principales del proceso	Contaminantes ambientales asociados	Subproductos inhalables relevantes
SMAW (Electrodo Revestido)	Aceros al carbono, aleados	Electrodo revestido	Escoria protectora, gases de descomposición del revestimiento	Óxidos de Fe, Mn, Cr, Ni, Pb; Fluoruros	Óxidos de nitrógeno, fosgeno	Partículas metálicas y fluoruros
GMAW (Alambre Sólido con Gas)	Acero inoxidable, aluminio	Alambre metálico sólido	Gas protector (Argón, CO ₂ , Mezclas)	Óxidos de Fe, Mn, Ni, Cr, aerosoles metálicos finos	Ozono, óxidos de nitrógeno	Aerosoles metálicos finos, compuestos gaseosos
FCAW (Alambre Tubular Autoprotegido)	Aceros aleados, bronce, latón	Alambre tubular con fundente	Gas protector o autoprotección por fundente, formación de escoria	Óxidos, fluoruros, silicatos, compuestos de Zn, Cu, Pb	Fosgeno, óxidos de nitrógeno	Humos sólidos, partículas submicro-métricas
GTAW (Electrodo de Tungsteno)	Aluminio, acero inoxidable	Electrodo de tungsteno no consumible	Gas inerte (Ar, He)	Óxidos de base metálica Al, Cr, Ni; menor generación directa	Ozono, óxidos de nitrógeno	Vapores metálicos, partículas ultra finas

Nota: Categorización de los principales contaminantes inhalables provenientes de la soldadura por arco eléctrico (Dos Santos, 2021).

2.2. Efectos en la salud relacionado con afecciones respiratorias

La soldadura es un proceso industrial mediante el cual se fusionan metales a elevadas temperaturas, generando humos o vapores que contienen partículas ultrafinas en suspensión. La composición y concentración de dichas partículas varían en función del proceso de soldadura

empleado, los materiales involucrados y las condiciones operativas. Estas partículas, debido a su reducido tamaño, pueden ser inhaladas fácilmente, penetrando profundamente en el sistema respiratorio e incluso alcanzando el torrente sanguíneo, lo que incrementa su potencial tóxico (García y cols., 2020).

La exposición ocupacional a partículas metálicas en el trabajo durante los procedimientos de soldadura ha sido ampliamente vinculada con efectos respiratorios y neurológicos, cuya intensidad depende del tipo de proceso, los materiales utilizados y las condiciones ambientales (Cosgrove, 2015). La inhalación repetida de estos contaminantes puede inducir desde irritaciones respiratorias leves hasta enfermedades crónicas como bronquitis y deterioro progresivo de la función pulmonar, dado que el tamaño ultrafino de las partículas facilita su penetración en el sistema respiratorio e incrementa su potencial tóxico sobre órganos vitales.

Entre las patologías más comunes en trabajadores expuestos se encuentran la bronquitis crónica, la fiebre de los humos metálicos, la siderosis y diversas alteraciones funcionales pulmonares. Además, se ha reportado una mayor susceptibilidad a infecciones respiratorias recurrentes en esta población ocupacional (Antonini, 2014). En entornos industriales, también se han descrito síndromes febriles agudos posteriores a la inhalación de humos metálicos, polímeros o polvos orgánicos, los cuales se agrupan bajo el diagnóstico clínico de fiebre inhalatoria. Este cuadro suele manifestarse entre 4 y 8 horas tras la exposición, con síntomas como fiebre, tos, mialgias y cefalea (Chillón, Díez, y Fuentes, 2018; Mañas Baena, Pérez Rodríguez, Pacheco Galván, y Gaudó Navarro, 2006).

Investigaciones recientes también indican que el humo de soldadura puede tener vínculos con enfermedades más severas, incluyendo cáncer pulmonar, trastornos neurodegenerativos y un progresivo deterioro de la función pulmonar (Kim, Y., H., y Bae, 2022). En la siguiente Tabla 2.3 expone un resumen de los efectos a la salud más relevantes relacionados con los principales contaminantes presentes en los humos de soldadura.

Tabla 2.3

Efectos en la salud de los principales contaminantes.

Contaminante	Fuente / Tipo	Efectos agudos (corto plazo)	Efectos crónicos (largo plazo)
Aluminio	Aleaciones (ej. acero, aluminio, magnesio)	Irritación respiratoria	—
Berilio	Agente endurecedor en aleaciones	Fiebre de humos metálicos	Cáncer, daño respiratorio
Cadmio (óxidos)	Acero inoxidable, baños galvanizados	Edema pulmonar, síntomas respiratorios	Daño renal, fibrosis, posible carcinógeno
Cromo (VI)	Acero inoxidable, electrodos	Irritación de ojos, piel, tracto respiratorio	Cáncer de pulmón y senos, daño renal y hepático
Cobre	Recubrimiento de electrodos, aleaciones	Fiebre de humos metálicos, irritación de ojos/nariz	Dermatitis, anemia
Fluoruros	Revestimientos de electrodos, fundentes	Irritación ocular y respiratoria	Daño óseo, renal, acumulación pulmonar
Óxido férrico	Soldadura de hierro o acero	Siderosis, irritación pulmonar	Litiasis pulmonar benigna
Óxido de magnesio	Aleaciones de magnesio o aluminio	Fiebre de humos metálicos, irritación respiratoria	—
Manganeso	Procesos de soldadura en general	Fiebre de humos metálicos	Daño al sistema nervioso central, enfermedad tipo Parkinson, daño renal, insomnio
Níquel	Acero inoxidable, aleaciones, galvanizado	Irritación respiratoria, dermatitis	Cáncer de pulmón, disfunción renal, asma inducida
Monóxido de carbono	Arco (CO ₂ , CO)	Dolor de cabeza, mareo, debilidad muscular, confusión	—
Fluoruro de hidrógeno	Descomposición de recubrimientos	Irritación ocular y respiratoria	Daño a pulmón, riñón, hueso, hígado
Óxidos de nitrógeno	Generados por arco	Irritación ocular y respiratoria; edema pulmonar	Bronquitis crónica, enfisema
Oxígeno (deficiencia)	Soldadura en espacios confinados	Mareo, confusión, asfixia, muerte	—
Ozono	Interacción de arco con O ₂	Dolor de cabeza, sequedad ocular; edema pulmonar	Cambios significativos en la función pulmonar
Fosgeno	Solventes desengrasantes + radiación UV	Irritación severa con síntomas retardados	—
Fosfina	Inhibidores de óxido + radiación UV	Irrita ojos y vías respiratorias; daño renal y otros órganos	—

Nota: Detalle de los principales contaminantes inhalables asociada a una amplia gama de enfermedades respiratorias (Alberta, 2009).

Se realizó una revisión sistemática como parte de la investigación sistemática con síntesis narrativa de la evidencia epidemiológica y toxicológica sobre los efectos en la salud asociados a los compuestos predominantes que están presentes en los humos generados por los procesos SMAW, GMAW, FCAW y GTAW.

La revisión integró estudios observacionales, intervenciones de control en campo, guías

técnicas y monografías de organismos internacionales como la IARC, OSHA/NIOSH y CCOHS. Dado el contexto industrial específico, se estratificó la evidencia según el material base y los consumibles utilizados, destacando los contaminantes más predominantes: óxidos de hierro y manganeso, óxido de zinc (ZnO), óxido de cobre (CuO) en alambres cobreados, fluoruros y ácido fluorhídrico (HF) provenientes de revestimientos y fundentes, así como gases secundarios como ozono (O₃), óxidos de nitrógeno (NO, NO₂) y monóxido de carbono (CO), los cuales han sido ampliamente asociados a efectos adversos sobre la salud respiratoria, neurológica y sistémica (Yáñez Moreta, Morales Perrazo, y Portero Pérez, 2025). La clasificación de los humos de soldadura como carcinógenos del Grupo 1 por parte de la IARC se utilizó como hito de referencia para ponderar el peso de la evidencia recopilada.

2.2.1. Óxidos de hierro (Fe₂O₃, Fe₃O₄)

La exposición reiterada a niveles elevados de óxido de hierro se asocia con siderosis, una neumoconiosis benigna caracterizada por depósitos de partículas en los pulmones. Aunque clínicamente suele ser menos grave que otras neumoconiosis, puede generar irritación en el tracto respiratorio, tos crónica, disnea y alteraciones funcionales respiratorias cuando la exposición es prolongada (Antonini, 2003; Centro Canadiense de Salud y Seguridad Ocupacional, 2024).

2.2.2. Óxidos de manganeso (MnO, Mn₃O₄)

El contacto con manganeso durante el proceso de soldadura representa un serio riesgo para la salud de los trabajadores, especialmente a nivel respiratorio y neurológico. Este metal se libera en forma de humos muy finos cuando los materiales se funden, y sus diminutas partículas pueden llegar fácilmente a los pulmones, provocando inflamación aguda, que en ocasiones se manifiesta como “fiebre por humos metálicos”, con síntomas similares a una gripe (Brenner y Keyes, 2024; Cepeda Ortega, 2017).

El problema más preocupante surge con la exposición prolongada, especialmente a nivel neurológico, ya que la inhalación crónica de manganeso se ha asociado con el desarrollo de manganismo, un trastorno neurodegenerativo similar a la enfermedad de Parkinson. Este se manifiesta con temblores, rigidez muscular, dificultades en la coordinación motora y, además, con problemas de memoria, atención y cambios en el comportamiento (Kwakye, Paoliello, Mukhopadhyay, Bowman, y Aschner, 2015). Incluso antes de que aparezcan los síntomas más

evidentes, ya pueden detectarse alteraciones sutiles mediante pruebas neuroconductuales en trabajadores expuestos (Rutchik, 2024).

2.2.3. Óxido de zinc (ZnO)

En la soldadura de superficies metálicas puede generarse óxido de zinc, responsable de la fiebre por humos metálicos. Esta enfermedad ocupacional aguda se caracteriza por fiebre, escalofríos, malestar general, tos y dolor torácico, apareciendo entre 4 y 12 horas después de la exposición. Aunque los síntomas suelen remitir en 24 a 48 horas, la exposición repetida sugiere una reacción de hipersensibilidad que afecta la capacidad laboral en los soldadores (Antonini, 2014; Szűcs-Somlyó, Lehel, Májlínger, Lőrincz, y Kővágó, 2023).

2.2.4. Óxido de cobre (CuO)

Durante los procesos de soldadura que emplean alambres o recubrimientos cobreados, se generan humos metálicos ricos en óxidos de cobre (CuO, Cu₂O), siendo un peligro inmediato para la salud respiratoria y que al estar expuesto a estos aerosoles puede provocar irritación en las vías respiratorias superiores, náuseas, cefalea, un sabor metálico y síntomas que coinciden con la fiebre por humos metálicos, caracterizada por malestar general, escalofríos y fiebre transitoria (NIOSH, 2014; OSHA, 2023a).

Estos efectos se deben a la capacidad del cobre particulado de inducir respuestas inflamatorias en el epitelio respiratorio, especialmente en ambientes con ventilación deficiente o exposición prolongada (Karlsson, Cronholm, Gustafsson, y Möller, 2008).

2.2.5. Fluoruros y fluoruro de hidrógeno (HF)

Los recubrimientos de los electrodos liberan compuestos fluorados como CaF₂, NaF y AlF₃, los cuales pueden transformarse en fluoruro de hidrógeno (HF). Este gas es altamente irritante para vías respiratorias y mucosas, provocando tos, broncoconstricción, lagrimeo, dolor torácico y, en casos severos, edema pulmonar. La exposición crónica a fluoruros se ha asociado con fluorosis ósea y dental (Hedberg y cols., 2021; Olavarrieta del Castillo, 2011).

2.2.6. Cromo (incluido Cr(VI))

En los aceros que contienen carbono, las cantidades de cromo hexavalente y de cromo total (Cr) suelen ser bajas; no obstante, cuando se emplean fundentes o alambres tubulares

que contienen ferroaleaciones con cromo, pueden liberarse trazas significativas durante el proceso de soldadura. El Cr(VI) es reconocido como agente carcinógeno tipo I por la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC), y su exposición prolongada se asocia con efectos adversos como irritación nasal, ulceraciones dérmicas y cáncer pulmonar (Cena y cols., 2015; Pueyo y Valero, 2015).

2.2.7. Óxido de molibdeno (MoO_3)

El óxido de molibdeno (MoO_3) puede generarse durante procesos de soldadura que emplean materiales con contenido de molibdeno, incluyendo aceros aleados, aceros inoxidable, consumibles como alambres, varillas de aporte y fundentes especializados; este compuesto ha sido identificado como un agente irritante respiratorio, especialmente en forma de polvo o aerosol inhalable (Kapp, 2005). La exposición aguda puede provocar síntomas como tos, opresión torácica y disconfort respiratorio, mientras que exposiciones prolongadas o a concentraciones elevadas se han asociado con efectos sistémicos sobre órganos como el hígado y los riñones (Tallkvist y Oskarsson, 2015).

2.2.8. Óxido de tungsteno (WO_3) y lantano (La_2O_3)

En GTAW, la contribución de WO_3 y La_2O_3 al riesgo higiénico deriva sobre todo de emisiones particuladas ultrafinas y, de forma muy relevante, del esmerilado de electrodos de tungsteno (toriados o lantaneados). A diferencia de procesos con fundente, la tasa másica de humos de GTAW suele ser menor; sin embargo, el tamaño nano y la biopersistencia de ciertas partículas pueden favorecer respuestas inflamatorias pulmonares y efectos crónicos (NIH, 2005; Sisler y cols., 2015).

Desde el punto de vista higiénico, registros históricos en trabajadores expuestos a polvos con trióxido de tungsteno y otras formas indicaron signos radiográficos tempranos de fibrosis en una minoría, sugiriendo que exposiciones intensas y prolongadas pueden ser relevantes (Marui y cols., 2022).

2.2.9. Ozono (O_3) y Óxidos de nitrógeno (NO , NO_2)

El ozono (O_3) presenta un riesgo agudo inmediato al soldador, debido a que su límite de exposición ocupacional es inferior a su umbral olfativo, esto significa que la detección olfativa no es un mecanismo de protección fiable y la exposición aguda puede causar tos, disnea,

lagrimeo y dolor torácico; En exposiciones repetidas, se ha observado una reducción sostenida de la capacidad vital forzada (FVC) y exacerbación de asma ocupacional (Azari, Esmaeilzadeh, Mehrabi, y Salehpour, 2011; Centro Canadiense de Salud y Seguridad Ocupacional, 2024).

Los óxidos de nitrógeno (NO y NO_2) tienen efectos más severos cuando la exposición ocurre en espacios confinados o con ventilación insuficiente. El NO_2 , más soluble en agua, provoca irritación intensa del epitelio respiratorio, con riesgo de bronquitis química y edema pulmonar retardado. La exposición crónica se asocia con EPOC, enfisema y reducción progresiva de la función pulmonar en soldadores con más de 10 años de servicio (Wagner y cols., 2018).

El monóxido de carbono (CO) se combina con la hemoglobina, generando carboxihemoglobina, lo que disminuye significativamente el transporte de oxígeno en la sangre. Los efectos agudos incluyen mareo, cefalea, visión borrosa y síncope; en ambientes mal ventilados puede producir pérdida de conciencia y muerte. La exposición crónica se asocia a alteraciones cardiovasculares y neurológicas (Antonini, 2003; OSHA, 2023b).

2.3. Valores límite de exposición ocupacional

Los Valores Límite de Exposición Ocupacional (VLEP) son criterios definidos por entidades especializadas para resguardar la salud de los trabajadores ante agentes químicos y físicos que se encuentran en el entorno laboral; los VLEP establecen los niveles máximos de concentración de sustancias en el aire, por debajo de los cuales se considera que la mayoría de los empleados pueden estar expuestos con regularidad, a lo largo de jornadas laborales estándar, sin experimentar efectos negativos importantes para la salud (ACGIH, 2024; NIOSH, 2020; OSHA, 2023b).

Los VLEP se representan en distintas modalidades de acuerdo a los organismos reguladores; en función de parámetros específicos tales como:

- TLV (Threshold Limit Value): Definidos por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), son valores recomendados basados exclusivamente en criterios de salud, en los cuales se incluyen TLV-TWA (promedio ponderado en el tiempo), TLV-STEL (exposición de corto plazo) y TLV-C (valor techo) (ACGIH, 2024).
- REL (Recommended Exposure Limit): Propuestos por el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), son recomendaciones científicas que buscan prevenir

efectos adversos incluso en exposiciones prolongadas (NIOSH, 2020).

- PEL (Permissible Exposure Limit): Establecidos por la Occupational Safety and Health Administración (OSHA), son límites legalmente exigibles en EE.UU. y se basan en estudios toxicológicos, epidemiológicos y consideraciones regulatorias (OSHA, 2023b).

La correcta aplicación de estos valores permite diseñar estrategias de control higiénico, implementar acciones de prevención y garantizar condiciones laborales seguras, sobre todo en actividades peligrosas, como la soldadura por arco eléctrico. La Tabla 2.4 recoge los principales gases tóxicos presentes en entornos de soldadura por arco, junto con sus valores límite de exposición conforme a los criterios de ACGIH, NIOSH y OSHA; además, se detallan los TLV correspondientes a cada compuesto y las afecciones respiratorias y sistémicas que pueden surgir ante exposiciones prolongadas en el ambiente laboral.

Tabla 2.4

Comparativa de valores de exposición ocupacional asociados a procesos de soldadura.

Sustancia / Gas	ACGIH (TLV)	NIOSH (REL)	OSHA (PEL)	Efectos en la Salud
Aluminio (óxidos)	1 resp. / 5 inh. mg/m ³	5 mg/m ³	15 mg/m ³ (total)	Molestias respiratorias, irritación
Arsénico	0.01 mg/m ³ (A1)	0.002 mg/m ³	0.01 mg/m ³	Ronquera, irritación, cáncer pulmonar
Berilio	0.00005 mg/m ³ (A1)	0.0005 mg/m ³ (C)	0.002 mg/m ³	Daño pulmonar severo
Cadmio (óxido)	0.01 mg/m ³ (A2)	0.005 mg/m ³	0.005 TWA / 0.05 C	Dolor abdominal, daño renal, cáncer, irritación
Cobalto	0.02 mg/m ³ (A3)	0.05 mg/m ³	0.1 mg/m ³	Alergias, daño pulmonar
Cobre (humos)	0.2 mg/m ³	0.1 mg/m ³	0.1 mg/m ³	Fiebre de humos metálicos
Cromo II/III	0.5 mg/m ³	0.5 mg/m ³	0.5 mg/m ³	Irritación nasal, daño pulmonar
Cromo VI	0.0002 mg/m ³ (A1)	0.001 mg/m ³	0.005 mg/m ³	Cáncer, perforación nasal
Estaño (óxidos)	2 mg/m ³	2 mg/m ³	2 mg/m ³	Estannosis (benigno)
Fluoruros	2.5 mg/m ³	2.5 mg/m ³	2.5 mg/m ³	Daño renal, irritación respiratoria
Hierro (óxidos)	5 mg/m ³	5 mg/m ³	10 mg/m ³	Siderosis (benigno)
Magnesio (óxidos)	10 mg/m ³	10 mg/m ³	15 mg/m ³	Fiebre de humos metálicos
Manganeso	0.02 resp. / 0.1 inh.	1 mg/m ³	5 mg/m ³ (C)	Neurotoxicidad, neumonía
Molibdeno	3 resp. / 10 inh. mg/m ³	5 mg/m ³	15 mg/m ³	Irritación respiratoria
Níquel	1 soluble / 0.2 insol. (A5)	0.015 mg/m ³	1 mg/m ³	Asma, cáncer
Plomo	0.05 mg/m ³ (A3)	0.05 mg/m ³	0.05 mg/m ³	Neurotoxicidad, intoxicación
Titanio (dióxido)	10 mg/m ³	N.D.	15 mg/m ³	Efectos pulmonares leves
Vanadio (óxidos)	0.05 mg/m ³	0.05 mg/m ³	0.5 mg/m ³ (C)	Bronquitis
Zinc (óxidos)	2 resp. / 10 STEL	5 mg/m ³	5 mg/m ³	Fiebre de humos metálicos
Dióxido de carbono	5000 ppm	5000 ppm	5000 ppm	Efectos narcóticos leves
Monóxido de carbono	25 ppm	35 TWA / 200 C	50 ppm	Cefaleas, somnolencia, asfixia
Ácido clorhídrico	2 ppm (C)	5 ppm (C)	5 ppm (C)	Fuerte irritación
Ácido fluorhídrico	2.5 ppm (C)	3 ppm (C)	3 ppm (C)	Irritación vías, ojos, huesos
Monóxido de nitrógeno	—	1 ppm TWA	5 ppm	Efectos cianóticos
Dióxido de nitrógeno	0.2 ppm	1 ppm TWA	5 ppm	Irritación, congestión pulmonar
Ozono	0.1 ppm	0.1 ppm	0.1 ppm	Irritación pulmonar, bronquitis
Fosgeno	0.1 ppm	0.1 ppm	0.1 ppm	Congestión pulmonar crónica

Nota: TWA (Time-Weighted Average): Promedio ponderado de exposición durante una jornada laboral estándar de 8 horas; STEL (Short-Term Exposure Limit): Valor límite para exposiciones breves, usualmente de hasta 15 minutos; Ceiling (C): Concentración máxima que no debe ser superada en ningún momento; A1–A5: Categorización del potencial carcinogénico. Adaptado de (ACGIH, 2024; NIOSH, 2020; OSHA, 2023b).

Capítulo 3

Metodología

Enfoque, tipo y alcance de la investigación

Esta investigación se enmarcó en un enfoque cuantitativo y se fundamentó en el análisis documental que examina los impactos respiratorios asociados con la exposición a humos metálicos generados por procedimientos de soldadura por arco eléctrico, tales como SMAW, GMAW, FCAW y GTAW. Se trata de una investigación de tipo aplicado que busca resolver un problema real de la industria en una compañía que emplea diversos procedimientos de soldadura en su actividad principal, con alcance descriptivo, correlacional y explicativo, orientado a sistematizar la evidencia disponible y establecer relaciones entre los agentes contaminantes identificados y las patologías respiratorias reportadas en trabajadores expuestos en entornos industriales.

Proceso de investigación

El procedimiento metodológico se estructura en cinco fases secuenciales:

1. Revisión teórica y científica

Se efectuó una búsqueda bibliográfica exhaustiva en bases académicas indexadas como Scopus, PubMed, SciELO y ScienceDirect, además de manuales técnicos y guías normativas de organismos de referencia como ACGIH, OSHA y NIOSH; se priorizó la literatura científica publicada relacionada con:

- Identificación de humos metálicos según el tipo de soldadura.
- Composición química de los contaminantes.

- Afecciones respiratorias asociadas.
- Normativas de exposición ocupacional vigentes.

2. Selección de fuentes bajo criterios de inclusión

Para el análisis documental, se seleccionaron las fuentes con base en los siguientes criterios:

- Estudios sobre la exposición a humos metálicos en trabajadores que realizan labores de soldadura.
- Investigaciones que vinculen procesos de soldadura con enfermedades respiratorias.
- Documentación normativa relacionada con la exposición laboral a contaminantes.

3. Categorización temática

El análisis se realizó mediante una categorización temática por tipo de proceso de soldadura, considerando los siguientes ejes:

- Tipo de proceso de soldadura.
- Principales metales y compuestos presentes en los humos.
- Enfermedades respiratorias asociadas a la exposición.

4. Sistematización y síntesis de la información

A partir de la categorización realizada, se elaboraron matrices temáticas que facilitaron el análisis técnico comparativo de los contaminantes comunes y diferenciales según cada técnica, así como sus implicaciones toxicológicas y riesgos higiénicos en el ambiente de trabajo.

5. Análisis comparativo y criterios técnicos

Finalmente, los hallazgos fueron contrastados con las condiciones laborales observadas en una empresa del sector metalmecánico en Ecuador, lo que permitió el desarrollo de propuestas orientadas al diseño de estrategias preventivas fundamentadas en evidencia científica y en las normas actuales en relación con la salud y la seguridad ocupacional.

En la Figura 3.1 muestra el proceso desarrollado para el trabajo de titulación.

Figura 3.1

Diagrama del proceso planteado para el desarrollo del trabajo de titulación.



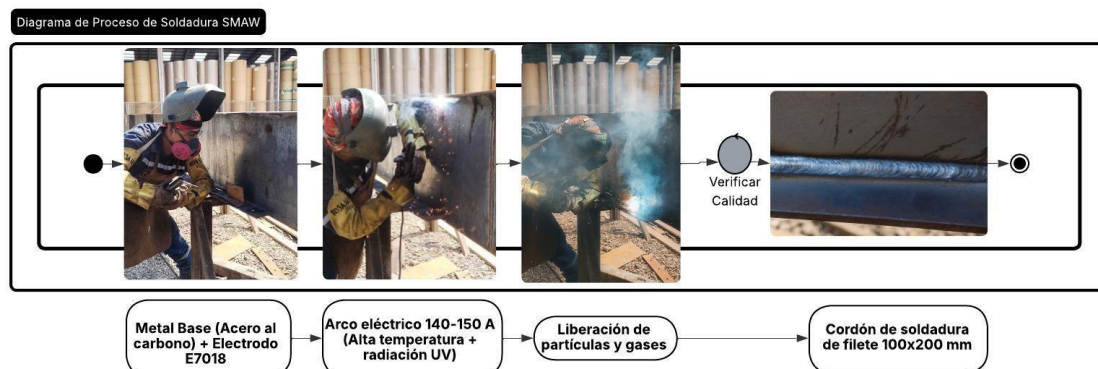
Nota: En la Figura se puede observar el procedimiento que se llevó a cabo para la investigación, con el propósito de lograr las metas propuestas..

3.1. Identificación de los principales compuestos en los humos metálicos generados por los diferentes tipos de soldadura

3.1.1. Proceso de soldadura SMAW

El procedimiento de soldadura manual por arco con electrodo recubierto (SMAW) se utiliza en el área de ensamblaje para la fabricación de cerchas, columnas y vigas IPN que son construidas

Figura 3.2

Diagrama de proceso de soldadura SMAW.

Nota: La Figura muestra la realización del procedimiento de soldadura SMAW con un electrodo revestido tipo E7018.

en acero al carbono de 6 mm de espesor, utilizando electrodos E7018 con un rango de corriente de 140–150 amperios (Brožek-Mucha, 2015; Gonser y cols., 2010; Leonard y cols., 2010; Pasic y Begić, 2006). El procedimiento SMAW inicia con la preparación superficial del metal mediante desbarbado y desengrasado para garantizar la ausencia de contaminantes; posteriormente, se configura la fuente de potencia en corriente continua (CC), estableciendo un rango de 140–150 A, valor recomendado para electrodos de 3.2 mm de diámetro; la ignición del arco se realiza mediante técnica de raspado (scratch start), manteniendo una longitud de arco constante de 2–4 mm. Durante la operación, se mantiene un ángulo de trabajo de 15–20° en sentido de avance (drag angle), aplicando un patrón de movimiento lineal u oscilatorio controlado que permite garantizar penetración uniforme y una distribución adecuada de calor; el revestimiento celulósico-mineral del electrodo E7018 genera una atmósfera protectora, mientras que forma una capa de escoria vitrificada sobre el cordón de soldadura; finalizada la deposición, se procede a la remoción mecánica de escoria mediante cepillado metálico e inspección visual del cordón, para verificar perfil y discontinuidades, conforme a los criterios técnicos. Los cordones de soldadura varían de acuerdo con el tipo de unión: los cordones estándar de 10 cm requieren 0.75 minutos (45 segundos). A continuación, la Figura 3.3 visualiza la ejecución del proceso de soldadura de arco con electrodo revestido (Piaún Cabrera, 2013).

Figura 3.3

Soldadura SMAW aplicada a la unión de placas metálicas de 6 mm en acero al carbono.



Nota: La Figura muestra la realización del procedimiento de soldadura SMAW con un electrodo revestido tipo E7018.

3.1.1.1. Principales compuestos en la soldadura SMAW

3.1.1.1.1. Compuestos sólidos

Se llevó a cabo la determinación de los compuestos más importantes que se encuentran en los humos metálicos producidos durante el procedimiento de soldadura SMAW, a través del estudio de la composición del metal base (acero al carbono) y de los componentes constitutivos del revestimiento del electrodo E7018, en comparación con lo que dice la literatura técnica especializada (Brožek-Mucha, 2015; Gonser y cols., 2010; Leonard y cols., 2010; Pasic y Begić, 2006). A continuación se detallan los compuestos químicos sólidos más relevantes identificados en SMAW, específicamente para la unión de aceros al carbono, según la revisión bibliográfica relacionada con el proceso productivo de la empresa de estudio.

3.1.1.1.1. Óxidos de hierro

Concepto	Presencia en la empresa
Los óxidos de hierro presentes en los humos metálicos generados durante la soldadura SMAW corresponde principalmente a (Fe_2O_3 y Fe_3O_4). Estos compuestos constituyen la fracción predominante de los productos de oxidación del acero al carbono, el cual forma parte del metal base utilizado en el proceso.	Fe_2O_3 Óxidos de hierro presentes en la superficie de los sustratos y en los humos metálicos 

3.1.1.1.2. Óxidos de manganeso

Concepto	Presencia en la empresa
Los óxidos de manganeso (MnO , Mn_3O_4) se generan como subproductos del proceso de soldadura por arco manual, derivados tanto del revestimiento del electrodo como del metal base. El manganeso, presente como desoxidante y estabilizador del arco, se volatiliza durante la fusión y forma parte de los humos metálicos emitidos.	MnO Óxidos de manganeso presentes en los componentes del electrodo y en los humos metálicos 

3.1.1.1.3. Fluoruros de calcio

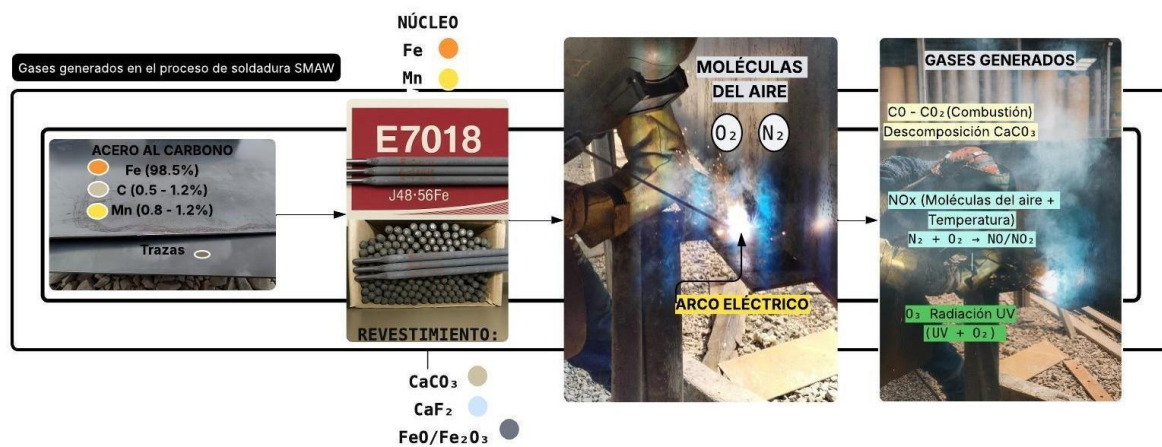
Concepto	Presencia en la empresa
Durante la soldadura por arco manual, los fluoruros de calcio (CaF_2) son liberados del revestimiento esencial del electrodo E7018. Estos compuestos se dispersan en forma de partículas sólidas en suspensión, formando parte de los humos metálicos generados en el ambiente laboral.	CaF_2 Fluoruros de calcio presentes en los componentes del electrodo y en los humos metálicos 

3.1.1.1.2. Compuestos gaseosos

En el procedimiento de soldadura SMAW como se observa en la Figura 3.4, además de partículas sólidas de óxidos metálicos, se generan diversos contaminantes gaseosos como resultado de las reacciones químicas inducidas por la alta temperatura del arco eléctrico y la radiación ultravioleta.

Figura 3.4

Gases generados en el proceso SMAW.

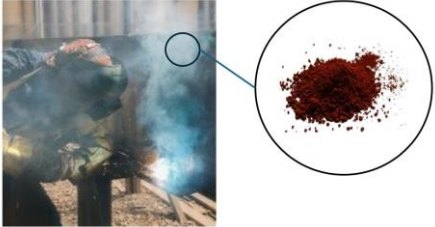


Nota: En la figura se observa que el monóxido de carbono se origina por la descomposición térmica de los carbonatos, mientras que la interacción de las moléculas del aire circundante da lugar a la formación de ozono y óxidos de nitrógeno.

3.1.1.1.2.1. Monóxido de carbono (CO)

Concepto	Presencia en la empresa
El electrodo E7018 posee en su recubrimiento carbonatos, como el carbonato de calcio (CaCO_3), los cuales se descomponen térmicamente en el arco, generando dióxido de carbono: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$. Cuando este CO_2 entra en contacto con el baño fundido y existe combustión incompleta del carbono, se transforma en monóxido de carbono: $\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2 \cdot \text{CO}$. El CO resultante constituye un gas tóxico característico de la atmósfera de soldadura.	Óxidos de hierro presentes en la superficie de los sustratos y en los humos metálicos Fe_2O_3 

3.1.1.1.2.2. Óxidos de nitrógeno (NO, NO₂)

Concepto	Presencia en la empresa
La elevada temperatura del arco facilita la combinación entre nitrógeno (N_2) y oxígeno (O_2) del aire. Las reacciones principales son: $\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \cdot \text{NO}$ y $2 \cdot \text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \cdot \text{NO}_2$. Estos óxidos, especialmente el dióxido de nitrógeno (NO_2), son reconocidos por su carácter irritante en vías respiratorias y su efecto adverso en la salud de los soldadores.	Óxidos de hierro presentes en la superficie de los sustratos y en los humos metálicos Fe_2O_3 

3.1.1.1.2.3. Ozono (O₃)

Concepto	Presencia en la empresa
La radiación ultravioleta emitida por el arco eléctrico provoca la ruptura de moléculas de oxígeno en átomos individuales: $\text{O}_2 + \text{energíaUV} \rightarrow 2\text{O}$. Dichos radicales libres se combinan con oxígeno molecular formando ozono: $\text{O}_2 + \text{O} \rightarrow \text{O}_3$. El ozono generado es altamente oxidante, inestable y suele acumularse en atmósferas mal ventiladas, ocasionando efectos irritativos en ojos y sistema respiratorio.	Óxidos de hierro presentes en la superficie de los sustratos y en los humos metálicos Fe_2O_3 

En síntesis, la presencia de CO, NO_x y O₃ durante el procedimiento SMAW con electrodo E7018 se atribuye a la descomposición térmica de compuestos del revestimiento, a las reacciones de alta temperatura con el aire circundante y a la acción fotoquímica inducida por la radiación ultravioleta del arco eléctrico. En este contexto, los óxidos de hierro y manganeso constituyen los contaminantes metálicos de mayor relevancia, mientras que los fluoruros de calcio, el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el ozono (O₃) destacan como los principales contaminantes gaseosos. La caracterización de estos compuestos, respaldada por la literatura científica y la composición del metal base y los insumos utilizados, representa un paso clave para dimensionar la exposición ocupacional de los soldadores y establecer estrategias de control integrales en el marco de la Higiene y Seguridad en el Trabajo.

3.1.1.2. Tiempo de exposición a los humos de soldadura

En la empresa Cuaral, dentro del área de ensamblaje, se aplica el método SMAW para fabricar vigas IPN, columnas y cerchas de acero al carbono con un grosor de 6 mm, empleando electrodos E7018 y un rango operativo de 140–150 A. Las actividades se desarrollan en dos turnos diarios: de 08:00 a 13:00 h y de 14:00 a 17:00 h, con una hora de almuerzo entre ambos.

El personal asignado a esta tarea está conformado por dos soldadores, quienes realizan de forma conjunta las operaciones de armado y remate de los elementos estructurales. Durante la jornada matutina se considera un descanso formal de 15 minutos, además de cuatro pausas de 10 minutos distribuidas a lo largo del turno. Estas pausas se utilizan para hidratarse, reposición de insumos, posicionamiento y fijación de placas, realizar trazados y preparar uniones.

En la jornada vespertina se efectúan en promedio tres pausas de 10 minutos con fines similares, incluyendo actividades de rectificación, inspección de acuerdo al diseño estructural y enderezado de placas. Al descontar estos tiempos de interrupción, la exposición neta en el área de soldadura se estima en 245 minutos (4 h 05 min) durante la mañana y 150 minutos (2 h 30 min) en la tarde, alcanzando un total de 395 minutos diarios (6 h 35 min) de permanencia en la zona donde se generan humos metálicos y gases, como se muestra en la siguiente Tabla 3.1.

Tabla 3.1

Tiempo neto de exposición durante la técnica de Soldadura SMAW.

Tramo de jornada	Horario	Tiempo	Descanso	Pausas indirectas	Tiempo neto en el área
Mañana	08:00–13:00	300 min (5h)	15 min	55 min	245 min (4 h 05 min)
Tarde	14:00–17:00	180 min (3h)	0 min	30 min	150 min (2 h 30 min)
Diaria	08:00–17:00	480 min (8h)	80 min		395 min (6 h 35 min)

Nota: Las pausas programadas, tiempos muertos o no productivos, se restan del tiempo de exposición ya que el trabajador no está en contacto directo con el arco ni con la nube de humos (se aleja o detiene la actividad).

3.1.1.2.1. Determinación del tiempo efectivo de exposición al arco eléctrico (Arc-On Time)

Con el objeto de calcular la dosis de exposición a la que están expuestos los soldadores a los agentes químicos y físicos producidos durante el procedimiento SMAW, resulta esencial determinar el tiempo efectivo de exposición, conocido como Arc-On Time. Este parámetro corresponde al intervalo durante el cual el electrodo permanece activo, generando el arco eléctrico y provocando la fusión del metal base. Su cálculo permite diferenciar entre el tiempo neto de exposición y el tiempo real de contacto con los principales riesgos higiénicos, tales como:

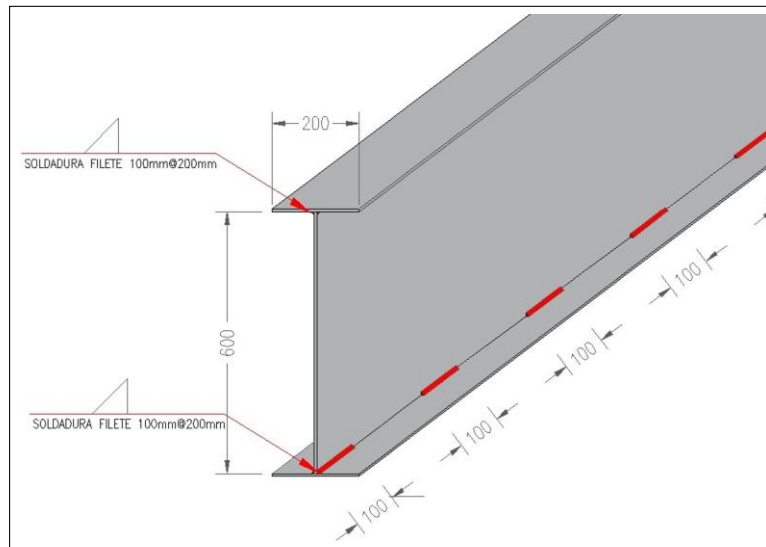
- la emisión de humos metálicos
- la radiación ultravioleta
- y el estrés térmico.

El procedimiento se estructuró en las siguientes etapas:

1. Caracterización de la Tarea: La actividad evaluada consiste en el remate de vigas tipo IPN de 7.87 metros de longitud, como se muestra en la Figura 3.5. Cada viga requiere un patrón de soldadura intermitente compuesto por 51 cordones de filete de 10 cm de longitud, distribuidos en las secciones superior e inferior de ambas caras, con una separación de 20 cm entre cordones y una producción diaria de dos vigas por jornada de trabajo.

Figura 3.5

Detalle de soldadura en viga de amarre tipo I.



Nota: En la Figura se observa el detalle de cordones de soldadura tipo filete intermitente para la técnica de soldadura manual por arco metálico (SMAW), empleando un electrodo revestido del tipo E7018.

2. Cuantificación de la Carga de Trabajo:

- Cordones por viga: $51 \text{ cordones/cara} \times 2 \text{ caras} = 102 \text{ cordones/viga}$.
- Cordones totales por jornada: $102 \text{ cordones/viga} \times 2 \text{ vigas/día} = 204 \text{ cordones/día}$.

3. Medición del Tiempo de Arco Encendido (Arc-On Time):

Mediante cronometraje directo en campo, se estableció un tiempo promedio de 45 segundos (0.75 minutos) de arco encendido para la ejecución de cada cordón de 10 cm.

4. Cálculo del Tiempo Total de Arco Encendido Diario:

- Tiempo total de arco encendido = $204 \text{ cordones/día} \times 0.75 \text{ min/cordón} = 153 \text{ minutos/día}$ (equivalente a 2 horas y 33 minutos)

5. Determinación del Tiempo Neto de Exposición:

La jornada laboral efectiva, descontando pausas reglamentarias, se estableció en 395 minutos (6 horas y 35 minutos). Este tiempo incluye tanto la operación de soldadura como las tareas auxiliares asociadas (montaje

e intercambio de electrodos, limpieza, posicionamiento efectivo, colocación de EPP), representando el intervalo total de exposición a los riesgos higiénicos del proceso.

6. Cálculo del Factor de Operación de Arco (Arc-On Time Factor): Relaciona el tiempo de arco encendido con el tiempo neto de exposición, reflejando la intensidad de la exposición directa a los agentes peligrosos durante la jornada.

$$\text{Factor de Arc-On (\%)} = \frac{\text{Tiempo Total de Arco}^3}{\text{Tiempo Neto de Exposición}^4} \times 100 = \frac{153 \text{ min}^3}{395 \text{ min}^4} \times 100 = 38.83 \%$$

No obstante, el tiempo efectivo de arco encendido (arc-on time), durante el cual el electrodo genera el arco eléctrico y se produce la fusión del metal base, para trabajos de soldadura estructural, se adopta un factor de arc-on de 38.83 % como base confiable para la evaluación cuantitativa de la exposición a humos metálicos y otros agentes de riesgo asociados al proceso SMAW en este entorno específico en la empresa. La Tabla 3.2. presenta los parámetros operativos del procedimiento de soldadura SMAW, obtenidos mediante medición directa, cronometraje y registros de jornada. Durante una jornada típica, se realizaron 204 cordones de soldadura, con un tiempo total de arco encendido de 153 minutos. Este valor representa un factor de arc-on del 38.83 % respecto a la jornada neta de exposición (395 minutos) incluyó un tiempo de arco por cordón promedio de 0.75 minutos, lo que refleja una alta frecuencia de intervención por parte del operador.

Tabla 3.2

Parámetros operativos y comparativos del proceso SMAW.

Parámetro	Valor	Unidad	Fuente
Cordones totales por jornada	204	cordones	Medición en campo
Tiempo de arco por cordón	0.75	minutos	Cronometraje directo
Tiempo total de arco encendido diario	153	minutos	Cálculo
Jornada neta de exposición	395	minutos	Registro de jornada
Factor de Arc-On (Caso de Estudio)	38.83	%	Cálculo (Esta investigación)

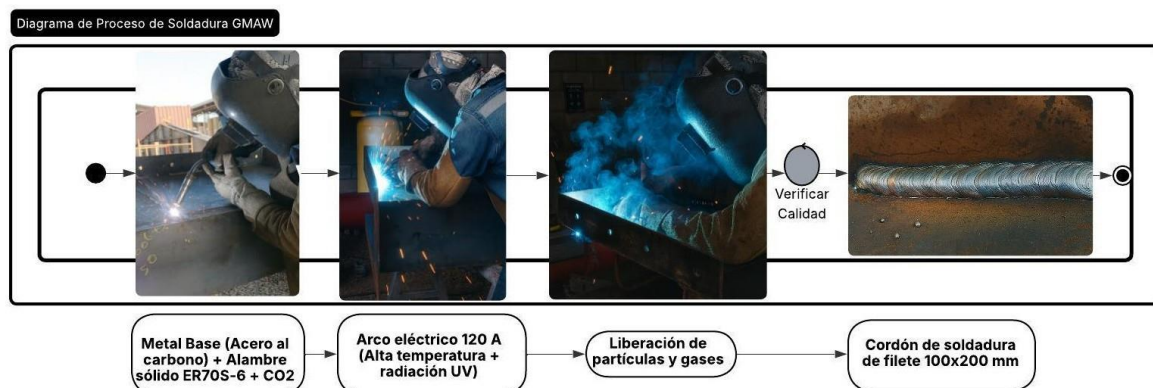
Nota: La Tabla presenta los diferentes parámetros del proceso y las unidades en las que son medidas.

3.1.2. Proceso de soldadura GMAW

En la empresa Cuaral, uno de los procesos productivos implementados es la soldadura GMAW, aplicada específicamente en el remate de estructuras prearmadas fabricadas en acero al carbono de 3 mm de espesor, conforme a los requerimientos establecidos en el diseño estructural. Para este procedimiento se emplea alambre sólido ER70S-6 y dióxido de carbono (CO₂) como gas de protección, operando bajo parámetros de corriente eléctrica de aproximadamente 120 amperios.

Figura 3.6

Diagrama de proceso de soldadura GMAW.



Nota: En la Figura se muestra cómo se lleva a cabo el procedimiento GMAW, empleando alambre sólido ER70S-6 y gas de protección CO₂.

Una de las ventajas operativas de la técnica GMAW radica en su moderado aporte térmico, lo cual permite reducir significativamente el riesgo de deformación del material base, aspecto crítico al trabajar con espesores delgados de 3 mm. Esta característica contribuye a mantener la integridad dimensional de las piezas y facilita el cumplimiento de tolerancias estructurales.

El proceso inicia con la preparación del material base, mediante limpieza mecánica o química, con el objetivo de eliminar óxidos, escoria e impurezas superficiales que puedan interferir con la calidad metalúrgica de la unión. Posteriormente, se procede a la alimentación continua de alambre sólido de 1,2 mm de diámetro a través de la antorcha, estableciendo el arco eléctrico bajo condiciones de polaridad directa (DC+),

lo que favorece la penetración del arco y la estabilidad del proceso.

El gas de protección CO_2 se suministra a un caudal regulado entre 15 y 25 L/min, asegurando la cobertura del baño de fusión frente a la atmósfera circundante y previniendo la oxidación durante la transferencia metálica. La distancia de trabajo entre la boquilla de la antorcha y la superficie metálica se mantiene entre 10 y 15 mm, conforme a parámetros operativos seguros y eficientes, como se muestra en la imagen 3.7. El alambre ER70S-6, enriquecido con silicio (Si) y manganeso (Mn), mejora la fluidez del metal fundido y actúa como agente desoxidante, lo que reduce la probabilidad de defectos como inclusiones o porosidad en el cordón de soldadura. Al finalizar el proceso, se realiza una inspección visual del cordón, verificando su continuidad, adecuada fusión y ausencia de discontinuidades superficiales, como parte del control de calidad y aseguramiento de la integridad estructural en uniones de acero al carbono de bajo espesor.

Figura 3.7

Soldadura GMAW aplicada para remate de placas metálicas de 3 mm en acero al carbono.



Nota: En la Figura se observa el momento de transferencia de material durante el proceso GMAW, en el cual el gas CO_2 actúa como medio protector mientras el electrodo ER70S-6 es consumido progresivamente por el arco eléctrico.

3.1.2.1. Principales compuestos en la soldadura GMAW

3.1.2.1.1. Compuestos sólidos

En la empresa Cuaral, se llevó a cabo la identificación de los compuestos más importantes que se encuentran en los humos metálicos durante el procedimiento de soldadura GMAW, mediante el análisis químico del metal base (acero al carbono de 3 mm de grosor), del alambre sólido ER70S-6 y del gas protector CO₂. Este análisis fue contrastado con literatura técnica especializada en higiene ocupacional y procesos de soldadura (Cena y cols., 2015; Centro Canadiense de Salud y Seguridad Ocupacional, 2024; Karlsson y cols., 2008; Zhang y cols., 2013).

A continuación se detallan los compuestos químicos más relevantes identificados en los productos de emisión del proceso GMAW, específicamente para la unión de aceros al carbono en condiciones operativas de 120 amperios, según la revisión bibliográfica vinculada al proceso productivo de la empresa en estudio.

3.1.2.1.1.1. Óxidos de hierro

Concepto	Presencia en la empresa
Los óxidos de hierro presentes en los humos metálicos generados durante la soldadura GMAW corresponde principalmente a (Fe ₂ O ₃ y Fe ₃ O ₄). Estos compuestos constituyen la fracción predominante del humo, derivados de la fusión del acero al carbono y del alambre de aporte.	Fe₂O₃ Óxidos de hierro presentes en la superficie de la base metálica, alambre sólido y en los humos metálicos 

3.1.2.1.1.2. Óxidos de manganeso

Concepto	Presencia en la empresa
Los óxidos de manganeso ((MnO , Mn_3O_4)) se generan como subproductos de la fusión del alambre sólido ER70S-6 y del metal base utilizado durante el proceso GMAW. Los óxidos de manganeso constituyen contaminantes críticos en ambientes de soldadura debido a su capacidad de penetrar el sistema respiratorio y acumularse en el organismo.	MnO Óxidos de manganeso presentes en los componentes del consumible y en los humos metálicos 

3.1.2.1.1.3. Óxidos de silicio

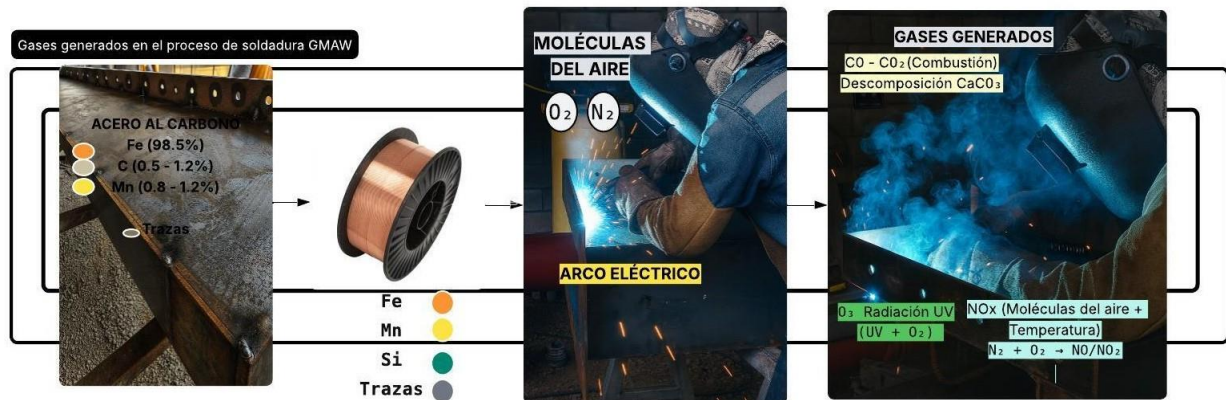
Concepto	Presencia en la empresa
Los óxidos de silicio se generan como subproductos de la fusión del alambre sólido ER70S-6, el cual contiene silicio como agente desoxidante. Bajo condiciones térmicas elevadas, este elemento se oxida y forma partículas finas de SiO_2 .	SiO₂ Óxido de silicio presentes en los componentes del alambre sólido ER70S-6 

3.1.2.1.2. Compuestos gaseosos

En la soldadura GMAW, los gases se generan a partir de la oxidación de componentes del alambre, del metal base, y de la interacción entre el arco eléctrico y el aire circundante, así como por la descomposición térmica del gas protector CO_2 , tal como se muestra en la Figura 3.16. Estos procesos generan compuestos como CO , O_2 , NO_x y O_3 , que forman parte de la fracción gaseosa de los contaminantes respirables.

Figura 3.8

Gases generados en el proceso GMAW.



Nota: La figura muestra que el monóxido de carbono se genera a partir de la descomposición térmica de los carbonatos, mientras que la interacción entre las moléculas presentes en el aire circundante contribuye a la formación de ozono y óxidos de nitrógeno.

3.1.2.1.2.1. Monóxido de carbono (CO)

Concepto	Presencia en la empresa
En el procedimiento GMAW, el CO_2 se emplea como gas de protección, cuya función principal es prevenir la contaminación del baño de soldadura y favorecer la transferencia de calor y metal. Sin embargo, bajo las elevadas temperaturas del arco eléctrico, el CO_2 se descompone térmicamente en monóxido de carbono (CO) y oxígeno (O_2). El oxígeno liberado puede oxidar el metal fundido, mientras que el CO se incorpora a los gases emitidos durante la soldadura.	Monóxido de carbono forma parte de los gases emitidos por la descomposición térmica del dióxido de carbono (CO_2) CO Gas: Incoloro Inodoro

3.1.2.1.2.2. Óxidos de nitrógeno (NO, NO_2)

Concepto	Presencia en la empresa
En el proceso de soldadura GMAW, las elevadas temperaturas generadas en el arco eléctrico favorecen la combinación del nitrógeno (N_2) y el oxígeno (O_2) presentes en el aire circundante, dando lugar a la formación de óxidos de nitrógeno (NO_x). Las reacciones principales incluyen la generación de monóxido de nitrógeno (NO) y su posterior oxidación a dióxido de nitrógeno (NO_2), compuesto reconocido por su carácter irritante en las vías respiratorias y su efecto perjudicial sobre la salud de los soldados expuestos.	NO_x Óxidos de nitrógeno se forma por la Reacción entre el nitrógeno Y el oxígeno del aire bajo Altas temperaturas del arco eléctrico. 

3.1.2.1.2.3. Ozono (O_3)

Concepto	Presencia en la empresa
Durante el proceso de soldadura GMAW, la radiación ultravioleta (UV) emitida por el arco eléctrico interactúa con el oxígeno molecular (O_2), provocando su disociación y posterior recombinación en forma de ozono (O_3). Este gas posee propiedades altamente oxidantes e irritantes, especialmente para las vías respiratorias.	O₃ Ozono se forma por la interacción del arco eléctrico con el oxígeno del aire. 

En consecuencia, los óxidos de hierro y manganeso son los principales contaminantes metálicos del proceso, mientras que los gases (CO , NO_x y O_3) constituyen los contaminantes gaseosos más relevantes. La identificación de estos compuestos, en función del metal base y los insumos empleados, permite caracterizar los peligros higiénicos a los que están expuestos los trabajadores y fundamentar las medidas de prevención y control en el área de soldadura.

3.1.2.2. Tiempo de exposición a los humos de soldadura

En la empresa, el procedimiento GMAW se lleva a cabo en el área de fabricación de cerchas, utilizando placas de acero al carbono de 3 mm de espesor. Las actividades se desarrollan en dos turnos diarios: de 08:00 a 13:00 h y de 14:00 a 17:00 h, con una hora destinada al almuerzo. Dos operarios especializados participan en el remate de estructuras metálicas, realizando además tareas complementarias propias del ensamblaje metalmecánico.

Durante la jornada matutina, se contempla un descanso formal de 15 minutos, junto con cuatro pausas operativas de 10 minutos para hidratación, reposición de insumos, posicionamiento de placas, trazado y preparación de uniones. En el turno vespertino, se registran en promedio tres pausas de 10 minutos, orientadas a la rectificación de piezas, verificación según planos estructurales e inspección visual de los cordones de soldadura, evaluando continuidad, fusión completa y ausencia de poros.

El tiempo de exposición neta en el área de soldadura o zona donde se generan humos metálicos y gases como CO, NO_x y O₃ se estima en un tiempo de 245 minutos (4 h 05 min) durante la mañana y 150 minutos (2 h 30 min) en la tarde, alcanzando un total de 395 minutos diarios (6 h 35 min) de permanencia efectiva. Como parte del control de calidad, se aplican ensayos no destructivos mediante tintas penetrantes, especialmente relevantes en aceros al carbono de bajo espesor, para detectar discontinuidades superficiales que puedan comprometer la resistencia estructural.

3.1.2.2.1. Determinación del tiempo efectivo de exposición al arco eléctrico (Arc-On Time)

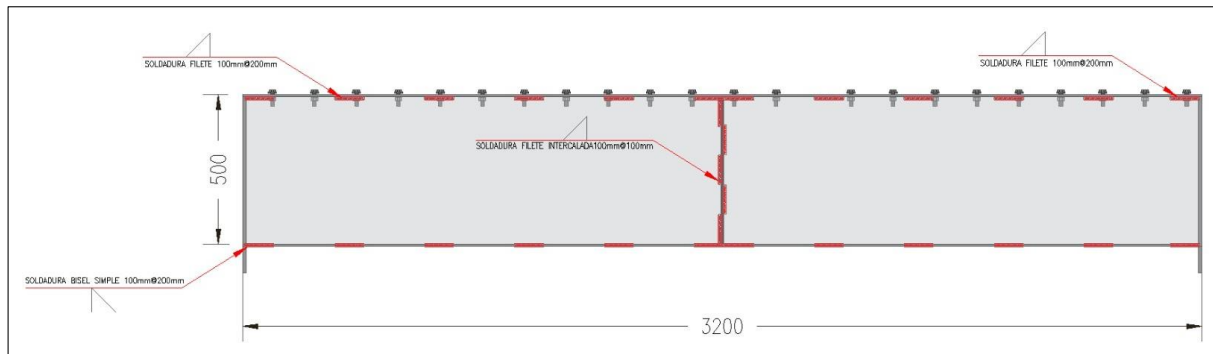
Para estimar el tiempo efectivo de exposición al arco eléctrico (Arc-On Time) en el proceso GMAW, con alambre sólido y protección con dióxido de carbono (CO₂), aplicado en la empresa, se desarrolló un procedimiento específico que permite cuantificar el intervalo real de activación de la antorcha durante la fusión del metal base, estructurado en las siguientes etapas:

- a) Caracterización de la Tarea: La actividad evaluada corresponde al proceso de remate de cerchas tipo cajón de 3200 mm de longitud, conforme a los requerimientos

estructurales del proyecto. Este procedimiento contempla la aplicación de soldadura de filete intermitente en las secciones superior e inferior de cada cercha, distribuidas en ambas caras, como se observa en la Figura 3.9.

Figura 3.9

Detalle de soldadura en cerchas tipo cajón.



Nota: En la Figura se observa el detalle de cordones de soldadura tipo filete intermitente para la técnica de soldadura por arco eléctrico (GMAW).

Por cada cara de la cercha se ejecutan:

- 24 cordones de soldadura de filete, de 10 cm de longitud, distribuidos de forma intermitente, con una separación de 20 cm entre cordones. Esta configuración se aplica tanto en la parte superior como en la inferior de la cercha.
- En la zona central se incorpora un refuerzo estructural, el cual requiere 5 cordones de soldadura por cara, distribuidos de manera intercalada: 3 cordones en el lado izquierdo y 2 cordones en el lado derecho del refuerzo.

Dado que cada cercha posee 2 caras, en total son 58 cordones tipo filete intermitente. La producción diaria es programada para 3 cerchas tipo cajón por jornada laboral, representando un total de 174 cordones de soldadura GMAW.

b) Cuantificación de la Carga de Trabajo:

- Cordones por cercha: $29 \text{ cordones/cara} \times 2 \text{ caras} = 58 \text{ cordones/cercha}$.
- Cordones totales por jornada: $58 \text{ cordones/cercha} \times 3 \text{ cerchas/día} = 174 \text{ cordones/día}$.

- c) **Medición del Tiempo de Arco Encendido (Arc-On Time):** Mediante cronometraje directo en campo, se estableció un tiempo promedio de 27.13 segundos (0.45 minutos) de arco encendido para la ejecución de cada cordón de 10 cm.

Cálculo del Tiempo Total de Arco Encendido Diario:

- Tiempo total de arco encendido = 174 cordones/día × 0.45 min/cordón = 78.30 minutos/día (equivalente a 1 horas y 18 minutos)
- d) **Determinación del Tiempo Neto de Exposición:** La jornada laboral efectiva, descontando pausas reglamentarias, se estableció en 395 minutos (6 horas y 35 minutos). Este tiempo incluye tanto la operación de soldadura como las tareas auxiliares asociadas, representando el intervalo total de exposición a los riesgos higiénicos del proceso.
- e) **Cálculo del Factor de Operación de Arco (Arc-On Time Factor):** Este indicador, expresado en porcentaje, relaciona el tiempo de arco encendido con el tiempo neto de exposición, reflejando la intensidad de la exposición directa a los agentes peligrosos durante la jornada.

$$\text{Factor de Arc-On (\%)} = \frac{\text{Tiempo Total de Arco}}{\text{Tiempo Neto de Exposición}} \times 100$$

$$\text{Factor de Arc-On (\%)} = \frac{78.30 \text{ min}}{395 \text{ min}} \times 100 = 19.82 \%$$

Desde una perspectiva de productividad en el procedimiento de soldadura GMAW con alambre sólido y protección con gas CO₂, se considera el tiempo efectivo de arco encendido (arc-on time) durante el cual la antorcha está activa, generando el arco eléctrico y promoviendo la fusión del metal base.

En la Tabla 3.3 se resumen los principales parámetros operativos del proceso de soldadura GMAW obtenidos mediante medición directa y cálculos específicos del caso de estudio. Durante una jornada típica, se registraron 174 cordones de soldadura, con un tiempo de 0.45 minutos por cordón. El tiempo efectivo de arco encendido alcanzó los 78.30 minutos, lo que representa un factor de arc-on del 19.82 % respecto al tiempo neto de exposición.

Tabla 3.3

Parámetros operativos y comparativos del proceso GMAW.

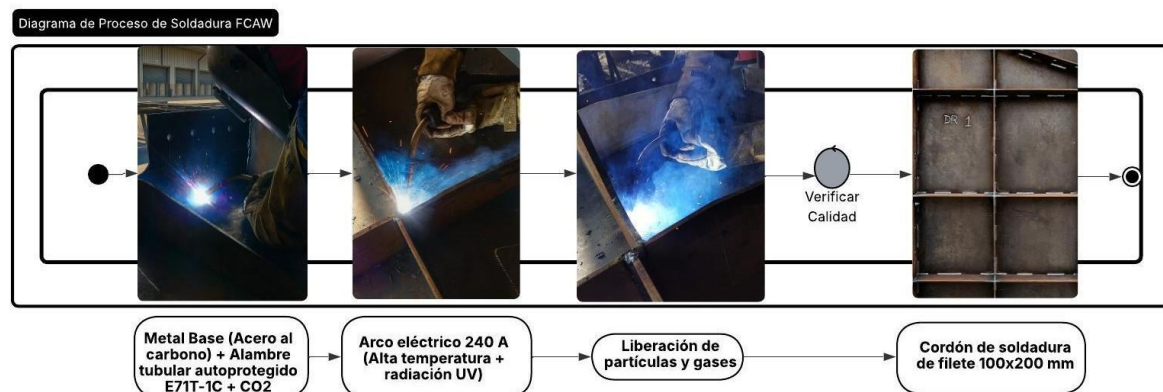
Parámetro	Valor	Unidad	Fuente
Cordones totales por jornada	174	cordones	Medición en campo
Tiempo de arco por cordón	0.45	minutos	Cronometraje directo
Tiempo total de arco encendido diario	78.3	minutos	Cálculo
Jornada neta de exposición	395	minutos	Registro de jornada
Factor de Arc-On (Caso de Estudio)	19.82	%	Cálculo (Esta investigación)

Nota: La Tabla presenta los diferentes parámetros del proceso y las unidades en las que son medidas.

3.1.3. Proceso de soldadura FCAW

En la empresa Cuaral, el procedimiento de soldadura FCAW, se aplica en el montaje y remate de uniones en placas metálicas prefabricadas en altura, utilizadas en el remate de cumbreros en acero al carbono con espesores de 6, 8 y 12 mm.

Figura 3.10

Diagrama de proceso de soldadura FCAW.

Nota: En la Figura se observa la ejecución del proceso de soldadura FCAW, en el que se emplea alambre con núcleo fundente E71T-1C y dióxido de carbono (CO₂) como gas protector.

El procedimiento FCAW, realizado con alambre tubular autoprotegido E71T-1C y gas

CO₂ como protección externa, comienza con la preparación del material base mediante cepillado mecánico, con el objetivo de eliminar óxidos, escoria y residuos superficiales que puedan interferir con la calidad de la fusión.

A continuación, el alambre tubular de 1.2 mm se alimenta de forma continua a través de una antorcha, mientras el arco eléctrico con una corriente de 240-260 A, funde conjuntamente el alambre y el metal base como se observa en la siguiente imagen 3.11. En paralelo, el gas CO₂ suministrado a un flujo de 20-30 L/min actúa como escudo frente a la atmósfera, reforzando el efecto del fundente interno del alambre, el cual genera una escoria que recubre el cordón de soldadura durante la solidificación.

Además, la composición del alambre E71T-1C, rica en manganeso y silicio, favorece la desoxidación y mejora la fluidez del metal fundido, reduciendo defectos como porosidad.

Finalmente, se realiza una inspección visual del cordón para verificar la continuidad, la correcta fusión y la ausencia de defectos, obteniendo así uniones confiables aptas para aplicaciones estructurales e industriales.

Figura 3.11

Soldadura FCAW aplicada para remate de placas metálicas de 6-12 mm en acero al carbono.



Nota: La imagen captura el instante de transferencia de material durante el proceso FCAW, el CO_2 cumple la función de gas protector, mientras el alambre tubular E71T-1C es consumido gradualmente por la acción del arco eléctrico, generando humos metálicos y gases propios del proceso.

3.1.3.1. Principales compuestos en la soldadura FCAW

3.1.3.1.1. Compuestos sólidos

En la empresa Cuaral, el proceso de soldadura por arco con núcleo fundente (FCAW) se implementa específicamente en las labores de remate de cumbreros, empleando acero al carbono en espesores de 6, 8 y 12 mm. Para esta operación se utiliza alambre tubular autoprotegido tipo E71T-1C, en conjunto con dióxido de carbono CO_2 como gas de protección, bajo corriente continua operando con parámetros entre 240–260 amperios.

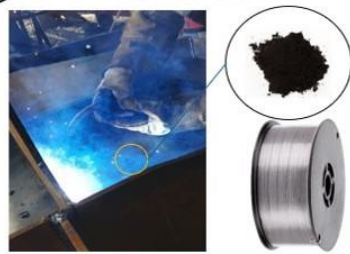
Con base en la literatura científica especializada (Antonini, 2003; Cubas y cols., 2023; Diniz Starling y cols., 2010; Yoon y cols., 2009), y considerando las condiciones operativas particulares de este procedimiento FCAW en la empresa, se han identificado los

principales componentes predominantes en los humos metálicos en función del tipo de metal base y del consumible utilizado.

3.1.3.1.1.1. Óxidos de hierro

Concepto	Presencia en la empresa
Son los componentes fundamentales de los humos metálicos que se producen en la soldadura FCAW sobre acero al carbono correspondiente a (Fe_2O_3 y Fe_3O_4). Estos compuestos son derivados de la fusión del acero y el alambre en forma de partículas respirables que pueden causar irritación y en exposiciones prolongadas, provocar siderosis pulmonar.	Óxidos de hierro generados por la oxidación del hierro contenido en la base metálica y el alambre tubular liberado en forma de partículas inhalables. Fe_2O_3 

3.1.3.1.1.2. Óxidos de manganeso

Concepto	Presencia en la empresa
Los óxidos de manganeso (MnO , Mn_3O_4) se generan durante el proceso FCAW por la oxidación del manganeso presente en el alambre tubular consumible E71T-1C, especialmente bajo altas temperaturas y en presencia de oxígeno y el metal base en menor proporción. Estas partículas metálicas se incorporan al humo de soldadura en forma de aerosoles finos inhalables, y su exposición está asociada a efectos neurotóxicos en exposiciones prolongadas.	Óxidos de manganeso se originan a partir de la composición del alambre tubular y están presentes en los humos metálicos MnO 

3.1.3.1.1.3. Óxidos de silicio

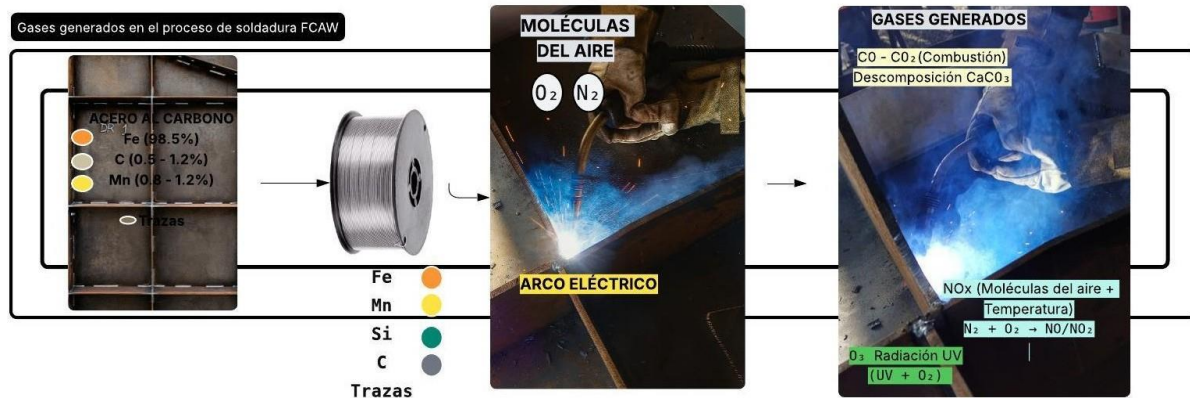
Concepto	Presencia en la empresa
Los óxidos de silicio se forman durante la soldadura FCAW por la oxidación del silicio contenido en el alambre tubular E71T-1C, donde actúa como desoxidante. Bajo las altas temperaturas del arco eléctrico, el silicio reacciona con el oxígeno atmosférico, generando partículas finas de SiO_2 que se incorporan al humo metálico como fracción inhalable.	SiO_2 Óxido de silicio presentes en los componentes del alambre tubular E71T-1C 

3.1.3.1.2. Compuestos gaseosos

Durante la soldadura FCAW, con alambre tubular y dióxido de carbono (CO_2) como gas de protección, se generan diversos compuestos gaseosos por la acción térmica del arco eléctrico y la descomposición de materiales. Entre los principales se encuentran el monóxido de carbono (CO), producto de la disociación parcial del CO_2 ; óxidos de nitrógeno (NO , NO_2), formados por la reacción del nitrógeno atmosférico con el oxígeno a altas temperaturas; y ozono (O_3), generado por la ionización del oxígeno. Estos gases se liberan junto con partículas metálicas, conformando una mezcla gaseosa de contaminantes respirables.

Figura 3.12

Gases generados en el proceso FCAW.



Nota: La figura muestra que el monóxido de carbono se genera a partir de la descomposición térmica de los carbonatos, mientras que la interacción entre las moléculas presentes en el aire circundante contribuye a la formación de ozono y óxidos de nitrógeno.

3.1.3.1.2.1. Monóxido de carbono (CO)

Concepto	Presencia en la empresa
Durante la soldadura FCAW con dióxido de carbono (CO_2), las altas temperaturas del arco eléctrico provocan su descomposición térmica, generando monóxido de carbono (CO) y oxígeno (O_2). El CO se incorpora a los gases emitidos como subproducto de la reacción, formando parte de la fracción gaseosa del humo de soldadura.	Monóxido de carbono forma parte de los gases emitidos por la descomposición térmica del dióxido de carbono (CO_2) CO   Gas: Incoloro Inodoro

3.1.3.1.2.2. Óxidos de nitrógeno (NO, NO_2)

Concepto	Presencia en la empresa
Durante la soldadura FCAW, los óxidos de nitrógeno (NO, NO_2) se generan por la reacción entre el nitrógeno (N_2) y el oxígeno (O_2) presentes en el aire atmosférico, bajo las altas temperaturas del arco eléctrico. Esta condición térmica favorece la ruptura de enlaces moleculares y permite la formación de compuestos como el monóxido de nitrógeno (NO), que puede oxidarse posteriormente a dióxido de nitrógeno (NO_2). Ambos gases se liberan como parte de la fracción gaseosa del humo de soldadura y están asociados a efectos irritativos y tóxicos en las vías respiratorias.	Óxidos de nitrógeno se forma por la reacción entre el nitrógeno y el oxígeno del aire bajo altas temperaturas del arco eléctrico. NOx 

3.1.3.1.2.3. Ozono (O_3)

Concepto	Presencia en la empresa
Durante la soldadura FCAW, el ozono (O_3) se produce como resultado de la radiación ultravioleta (UV) que emite el arco eléctrico y actúa sobre el oxígeno molecular (O_2) que se encuentra en el aire, esta radiación separa las moléculas de oxígeno en átomos individuales, que posteriormente se combinan con otras moléculas de O_2 para formar ozono. El O_3 se acumula principalmente en la zona cercana al arco y es altamente oxidante, con efectos irritativos sobre las vías respiratorias, especialmente en ambientes cerrados o con ventilación deficiente.	Ozono se forma por la interacción del arco eléctrico con el oxígeno del aire. O₃ 

En el proceso GTAW (TIG) realizado en la empresa Cuaral, se generan óxidos metálicos (Fe, Mn, Si y W) y gases como CO , CO_2 , NO y O_3 , producto de las reacciones térmicas del arco eléctrico y la interacción del aire con el metal base. Aunque se presentan en bajas concentraciones, estos compuestos forman parte de la fracción respirable del humo de soldadura y constituyen un posible riesgo para la salud de los trabajadores.

Algunos compuestos comúnmente reportados en la literatura para el proceso FCAW, como el óxido de titanio (TiO_2), óxido de aluminio (Al_2O_3), óxido de calcio (CaO), óxidos de sodio y potasio ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$), fluoruros (CaF_2 , NaF) y compuestos de cromo (Cr VI/Cr III) están principalmente asociados a procesos de soldadura en aceros inoxidables o aceros aleados que emplean fundentes con minerales especiales. Por lo tanto, no presentan relevancia significativa en las condiciones específicas del proceso FCAW utilizado en la empresa Cuaral.

En este contexto, los principales compuestos considerados en la evaluación de riesgos higiénicos son los óxidos metálicos de hierro, manganeso y silicio, así como los gases generados por la reacción térmica: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y ozono (O_3). Estos contaminantes representan una fuente significativa de exposición para los trabajadores y, por tanto, constituyen los principales elementos de interés en la caracterización del riesgo ocupacional asociado a este proceso.

3.1.3.2. Tiempo de exposición a los humos de soldadura

Las actividades de soldadura estructural mediante FCAW son ejecutadas por cinco trabajadores especializados en remates, operando de forma simultánea en obra. El procedimiento técnico emplea alambre tubular autoprotegido E71T-1C, en combinación con el CO_2 , bajo corriente continua (DC) con parámetros eléctricos entre 240 y 260 amperios. Esta configuración permite la ejecución de cordones de soldadura de distinta longitud, desde tramos cortos de 10 cm (52.82 segundos), según las condiciones de accesibilidad y montaje.

La jornada laboral se organiza en dos turnos: de 08:00 a 13:00 h y de 14:00 a 17:00 h, con una hora intermedia destinada al almuerzo. Durante la mañana se identifican 90 minutos de tiempos no productivos, correspondientes a charla de seguridad (15 min), ingreso y ubicación de equipos móviles (30 min), adecuación del área (15 min), actividades complementarias (15 min) y pausa de hidratación (15 min). En la tarde se registran 60 minutos adicionales, destinados a limpieza de cordones, inspección y rectificación (15 min), hidratación (15 min) y salida de equipos (30 min).

Una vez descontados estos tiempos, el tiempo neto de exposición efectiva en el área de soldadura se estima en 210 minutos (3 h 30 min) durante la mañana y 120 minutos (2 h) en la tarde, alcanzando un total de 330 minutos diarios (5 h 30 min por trabajador). Esta caracterización permite delimitar con precisión los tiempos de emisión de contaminantes,

establecer condiciones reales de exposición ocupacional y contextualizar la evaluación de riesgos respiratorios en función de la carga térmica, tipo de tarea y duración del arco activo.

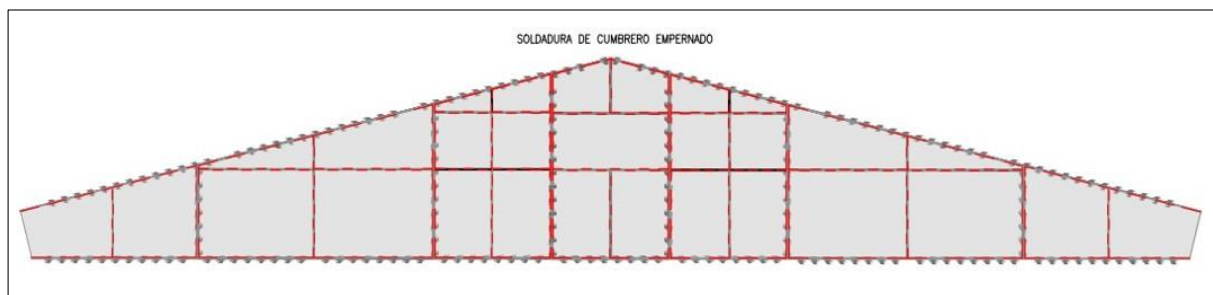
3.1.3.2.1. Determinación del tiempo efectivo de exposición al arco eléctrico (Arc-On Time)

El tiempo efectivo de arco encendido (Arc-On Time) en FCAW se determina mediante el análisis detallado de la jornada laboral, utilizando cronometraje directo de la ejecución de cordones. Se considera únicamente el periodo en que el arco eléctrico está activo, lo que permite delimitar con precisión el tiempo real de emisión de contaminantes metálicos y gaseosos, caracterizado en las siguientes etapas del proceso.

- a) **Caracterización de la Tarea:** La actividad evaluada corresponde al proceso de remate de placas en estructuras de cumbrero, con espesores de 6, 8 y 12 mm, según los requerimientos del diseño estructural del proyecto. Estas labores se ejecutan sobre una armadura simétrica compuesta por elementos triangulares y rectangulares, diseñada para soportar cargas distribuidas en techos inclinados. El procedimiento contempla la aplicación de soldadura de filete intermitente, dispuesta de forma intercalada y distribuida uniformemente en todas las juntas que conforman la estructura principal, tal como se observa en la Figura 3.17.

Figura 3.13

Detalle de soldadura en cumbreros empernados



Nota: En la Figura se puede apreciar el detalle de cordones de soldadura tipo filete intermitente para el procedimiento FCAW.

El proceso de soldadura FCAW aplicado al remate de cumbreros se caracteriza por

los siguientes elementos operativos:

- Tipo de cordón aplicado: Se emplean cordones de soldadura tipo filete intermitente, distribuidos según las especificaciones del diseño estructural.
- Cantidad de cordones por cara: Cada cara del cumbrero requiere la ejecución de 310 cordones, aplicados de forma secuencial y controlada.
- Producción diaria estimada: En una jornada laboral se completa el remate de la mitad de una cara, equivalente a 155 cordones por día.
- Duración total del remate por cumbrero: El ciclo completo de remate de un cumbrero se realiza en 4 días, considerando la progresión diaria y las condiciones de montaje.
- Total de cordones por estructura: Dado que cada cumbrero posee 2 caras, el total de cordones por unidad asciende a 620 cordones de soldadura FCAW.

b) Cuantificación de la Carga de Trabajo:

- Cordones de cumbrero: $310 \text{ cordones/1 cara} \times 2 \text{ caras} = 620 \text{ cordones/cumbrero}$.
- Producción diaria estimada: $155 \text{ cordones/día} = \text{equivalente a } \frac{1}{2} \text{ cara por jornada}$
- Avance en cumbreros por jornada: Un cumbrero completo (2 caras) requiere 4 días de trabajo, entonces

$$\frac{1 \text{ cumbrero}}{4 \text{ días}} = 0.25 \text{ cumbreros/día.}$$

- Cordones totales por jornada: $620 \text{ cordones/cumbrero} \times 0.25 \text{ cumbreros/día} = 155 \text{ cordones/día}$

c) Medición del Tiempo de Arco Encendido (Arc-On Time): Mediante cronometraje directo en campo, se estableció un tiempo promedio de 27.13 segundos (0.45 minutos) de arco encendido para la ejecución de cada cordón de 10 cm.

Cálculo del Tiempo Total de Arco Encendido Diario:

- Tiempo total de arco encendido = $155 \text{ cordones/día} \times 0.45 \text{ min/cordón} = 69.75 \text{ minutos/día}$ (equivalente a 1 horas y 10 minutos)

d) Determinación del Tiempo Neto de Exposición: La jornada laboral efectiva, descontando pausas reglamentarias, se estableció en 330 minutos (5 horas y 30 minutos). Este tiempo incluye tanto la operación de soldadura como las tareas auxiliares asociadas.

- e) Cálculo del Factor de Operación de Arco (Arc-On Time Factor): Este indicador, expresado en porcentaje, relaciona el tiempo de arco encendido con el tiempo neto de exposición, reflejando la intensidad de la exposición directa a los agentes peligrosos durante la jornada.

Fórmula:

$$\text{Factor de Arc-On (\%)} = \frac{\text{Tiempo Total de Arco}}{\text{Tiempo Neto de Exposición}} \times 100$$

$$\text{Factor de Arc-On (\%)} = \frac{69.75 \text{ min}}{330 \text{ min}} \times 100 = 21.14\%$$

En el marco del estudio desarrollado en la empresa, se determinó que el Factor de Operación de Arco (Arc-On Time Factor) en el proceso de soldadura FCAW alcanza un valor del 21.14 %, lo que significa que, durante una jornada laboral promedio, el soldador mantiene el arco encendido aproximadamente una quinta parte del tiempo neto de exposición, mientras que el resto del tiempo se destina a actividades complementarias tales como la preparación de juntas, posicionamiento de piezas, limpieza, inspección visual y ajuste de parámetros de soldadura.

Desde la perspectiva metodológica, este indicador proporciona una medida objetiva del nivel de exposición directa del personal a los agentes de riesgo inherentes al proceso de soldadura FCAW, tales como radiación ultravioleta, emisión de humos metálicos, gases de protección y calor radiante. El valor obtenido se encuentra dentro del rango de referencia reportado para procesos semiautomáticos, lo que confirma la coherencia del desempeño operativo y las condiciones observadas en campo dentro de la empresa.

En la Tabla 3.4 se resumen los principales parámetros operativos del proceso de soldadura FCAW obtenidos mediante medición directa y cálculos específicos del caso de estudio. Durante una jornada laboral se registraron 155 cordones de soldadura, con un tiempo de 0.45 minutos por cordón. El tiempo efectivo de arco encendido alcanzó los 69.75 minutos, lo que representa un factor de arc-on del 21.14 % respecto al tiempo neto de exposición.

Tabla 3.4

Parámetros operativos y comparativos del proceso FCAW.

Parámetro	Valor	Unidad	Fuente
Cordones totales por jornada	155	cordones	Medición en campo
Tiempo de arco por cordón	0.45	minutos	Cronometraje directo
Tiempo total de arco encendido diario	69.75	minutos	Cálculo
Jornada neta de exposición	330	minutos	Registro de jornada
Factor de Arc-On (Caso de Estudio)	21.14	%	Cálculo (Esta investigación)

Nota: La Tabla presenta los diferentes parámetros del proceso FCAW y las unidades en las que son medidas.

3.1.4. Proceso de soldadura GTAW

En Cuaral, se emplea el método de soldadura GTAW/TIG para la unión y el acabado de arreglos metálicos realizados en acero al carbono en espesores de 6, 8 y 12 mm, empleando como insumos un electrodo de tungsteno dorado WL15 y argón de alta pureza como gas de protección.

El procedimiento inicia con la limpieza minuciosa del material base, eliminando óxidos, grasas y contaminantes superficiales que pudieran comprometer la estabilidad del arco o la calidad del cordón de soldadura.

Figura 3.14

Diagrama de proceso de soldadura GTAW.**Nota:**

La figura muestra el procedimiento de soldadura por arco metálico (GTAW), que utiliza varilla de aporte ER70S-6 y gas argón como medio de protección.

Durante la operación, se establece un arco eléctrico entre el electrodo de tungsteno no consumible y la superficie metálica, utilizando corriente continua con polaridad directa (DC+) en un rango de 150 a 190 amperios, de acuerdo con el espesor de la placa a soldar. El argón, suministrado a un caudal de 8 a 15 L/min, actúa como escudo frente a la atmósfera, protegiendo el baño de fusión de la oxidación y contribuyendo a estabilizar el arco.

A diferencia de otros procesos de soldadura, el material de aporte se incorpora manualmente en la zona de fusión, mientras se mantiene una distancia de trabajo controlada (2–5 mm) entre el electrodo y la pieza, asegurando la estabilidad del arco y reduciendo la dispersión térmica. El electrodo de tungsteno, por su alta resistencia térmica, permite obtener una fusión precisa y controlada, favoreciendo uniones con mínima deformación.

Al concluir la aplicación, se lleva a cabo una inspección visual del cordón, con el fin de verificar su continuidad, la correcta penetración y la ausencia de defectos como porosidad o falta de fusión.

Este proceso se caracteriza por su baja proyección de salpicaduras y su capacidad de producir uniones de alta calidad metalúrgica como se observa en la siguiente imagen 3.15,

lo que lo convierte en la alternativa más adecuada para trabajos en altura y zonas con alto riesgo de incendio, donde la reducción de chispas constituye una medida preventiva esencial de seguridad industrial.

Figura 3.15

Soldadura GTAW aplicada para remate de placas metálicas de 6-12 mm en acero al carbono.



Nota: La imagen muestra el momento de transferencia de material durante el proceso GTAW, en el cual el gas Argón actúa como medio protector mientras la varilla de aporte ER70S-6 es consumida progresivamente por el arco eléctrico.

3.1.4.1. Principales compuestos en la soldadura GTAW

3.1.4.1.1. Compuestos sólidos

En la empresa Cuaral, el proceso de soldadura por arco de tungsteno con protección gaseosa inerte (GTAW o TIG) se utiliza principalmente en las actividades de remate de cumbreros, realizadas sobre placas de acero al carbono con espesores de 6, 8 y 12 milímetros. Para su ejecución se emplean electrodos de tungsteno dorado tipo WL15,

compuestos por un 98.5 % de tungsteno (W) y 1.5 % de óxido de lantano (La_2O_3); mientras que el argón de alta pureza actúa como gas protector del arco y de la zona fundida. Como material de aporte se utiliza la varilla ER70S-6, que garantiza una adecuada fusión y continuidad del cordón

A pesar de que el proceso GTAW produce niveles relativamente bajos de humos metálicos como consecuencia del uso de un electrodo no consumible y de la estabilidad del arco, la fusión del metal base y del material de aporte genera trazas de partículas metálicas.

3.1.4.1.1.1. Óxidos de hierro

Concepto	Presencia en la empresa
En el proceso de soldadura GTAW, los óxidos de hierro se generan cuando el oxígeno del aire reacciona con el metal base de acero al carbono expuesto a las altas temperaturas del arco, favoreciendo la oxidación superficial del hierro fundido y la formación de compuestos como FeO , Fe_2O_3 y Fe_3O_4 en la zona adyacente al cordón de soldadura.	Óxidos de hierro generados en la fusión localizada del acero al carbono y de la varilla ER70S-6; constituyen la fracción mayoritaria de los humos en TIG. Fe_2O_3 

3.1.4.1.1.2. Óxidos de manganeso

Concepto	Presencia en la empresa
En el proceso de soldadura GTAW, los óxidos de manganeso se forman cuando el manganeso presente en la varilla de aporte ER70S-6 se oxida por efecto del oxígeno atmosférico o por una protección inadecuada del gas de argón. Las altas temperaturas del arco favorecen la oxidación del manganeso vaporizado o superficial, dando lugar a compuestos como MnO y Mn_3O_4 , que se incorporan a los humos metálicos o se depositan en la superficie del cordón de soldadura representando una fuente potencial de partículas metálicas respirables.	MnO Óxidos de manganeso presentes en los componentes del consumible y en los humos metálicos 

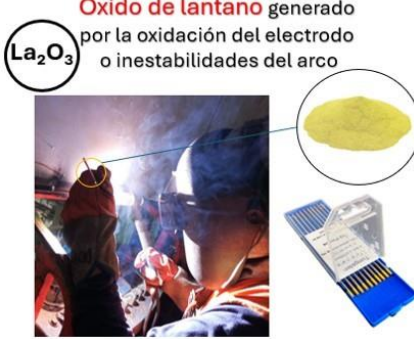
3.1.4.1.1.3. Óxidos de silicio

Concepto	Presencia en la empresa
Los óxidos de silicio (SiO_2) se generan a partir de la oxidación del silicio presente en la varilla de aporte ER70S-6, la cual contiene este elemento como desoxidante del baño metálico, el silicio reacciona con el oxígeno del aire y forma películas delgadas de sílice (SiO_2) en la superficie del cordón.	SiO_2 Óxido de silicio presente en varilla de aporte ER70S-6 

3.1.4.1.1.4. Óxidos de tungsteno

Concepto	Presencia en la empresa
los óxidos de tungsteno (WO_3) se generan en pequeñas cantidades debido a la oxidación superficial del tungsteno, durante el encendido del arco o en condiciones de inestabilidad térmica, parte del tungsteno presente en la punta del electrodo reacciona con el oxígeno del aire, formando finas capas de óxido de tungsteno (WO_3). Este fenómeno puede manifestarse como una decoloración azulada o amarillenta del electrodo y, en casos severos, afecta la pureza del cordón de soldadura y la estabilidad del arco.	Óxido de tungsteno generado por la erosión del electrodo durante el encendido o inestabilidades del arco WO_3 

3.1.4.1.1.5. Óxidos de lantano

Concepto	Presencia en la empresa
En el proceso GTAW con electrodo de tungsteno dorado lantalado (WL15), los óxidos de lantano (La_2O_3) se generan principalmente por la oxidación del lantano presente en la aleación del electrodo cuando se expone al oxígeno atmosférico durante el encendido o ante una protección deficiente del gas de argón.	Óxido de lantano generado por la oxidación del electrodo o inestabilidades del arco La_2O_3 

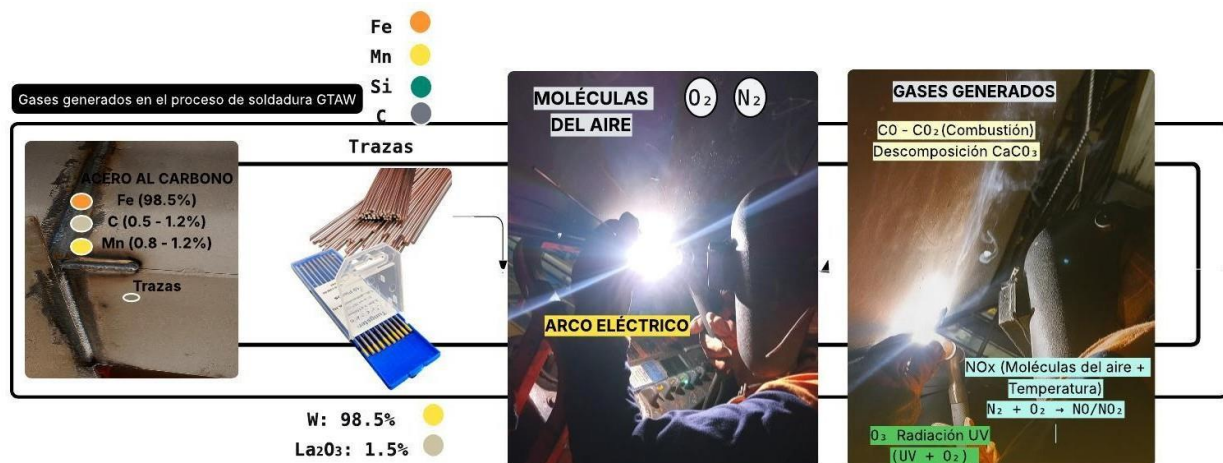
- Óxidos de nitrógeno (NO , NO_2): generados a altas temperaturas por la reacción del arco con el nitrógeno atmosférico. Son gases irritantes y tóxicos que afectan directamente la función pulmonar.
- Ozono (O_3): principal contaminante en GTAW, producido por la radiación ultravioleta del arco sobre el oxígeno del aire. Es un oxidante fuerte que provoca irritación ocular y respiratoria.

3.1.4.1.2. Compuestos gaseosos

Durante la soldadura GTAW (TIG) empleada en el remate de cumbreros, utilizando argón de alta pureza como gas de protección, se generan compuestos gaseosos producto de la interacción del arco eléctrico con el aire circundante. Aunque el argón es un gas inerte, las altas temperaturas del arco, pueden provocar la disociación del oxígeno y nitrógeno atmosférico, favoreciendo la formación de óxidos de nitrógeno (NO y NO_2) y ozono (O_3). Estos gases se liberan en bajas concentraciones junto con trazas de partículas metálicas provenientes de la fusión del metal base y del material de aporte, conformando una mezcla gaseosa que puede representar un riesgo respiratorio para el personal si no se mantienen condiciones adecuadas de ventilación y control de exposición.

Figura 3.16

Gases generados en el proceso GTAW.



Nota: La figura muestra que el monóxido de carbono se genera a partir de la descomposición térmica de los carbonatos, mientras que la interacción entre las moléculas presentes en el aire circundante contribuye a la formación de ozono y óxidos de nitrógeno.

3.1.4.1.2.1. Monóxido de carbono (CO)

Concepto	Presencia en la empresa
En el proceso GTAW (TIG) realizado en la empresa, se producen pequeñas cantidades de dióxido de carbono (CO_2) y monóxido de carbono (CO) como resultado de las reacciones térmicas del arco eléctrico sobre las placas de acero al carbono y el material de aporte ER70S-6. Estos gases se liberan en la zona del arco y posteriormente se incorporan a la fracción gaseosa del humo de soldadura, donde constituyen contaminantes respirables de baja concentración.	Monóxido de carbono forma parte de los gases emitidos por la descomposición térmica del dióxido de carbono (CO_2) CO 

3.1.4.1.2.2. Óxidos de nitrógeno (NO , NO_2)

Concepto	Presencia en la empresa
Los óxidos de nitrógeno (NO y NO_2) se producen cuando el oxígeno en la atmósfera reacciona con el nitrógeno en la envolvente térmica del arco, donde las altas temperaturas del arco de soldadura favorecen su formación. Estos gases (NO_x) se incorporan a la fracción gaseosa del humo de soldadura y actúan como contaminantes respiratorios.	Óxidos de nitrógeno se forma por la Reacción entre el nitrógeno Y el oxígeno del aire bajo Altas temperaturas del arco eléctrico. NO_x 

3.1.4.1.2.3. Ozono (O_3)

Concepto	Presencia en la empresa
El ozono (O_3) se genera por la ionización y recombinación del oxígeno del aire bajo la influencia de la radiación ultravioleta que emite el arco eléctrico. Este gas se forma en la zona periférica del arco y, aunque aparece en bajas concentraciones en el proceso TIG, posee un alto poder oxidante e irritante para las vías respiratorias.	O₃ Ozono se forma por la interacción del arco eléctrico con el oxígeno del aire. 

En el proceso de soldadura GTAW (TIG) realizado en la empresa Cuaral, se generan óxidos metálicos (Fe, Mn, Si y W) y gases como CO, CO, NO y O, producto de las reacciones térmicas del arco eléctrico y la interacción del aire con el metal base. Aunque se presentan en bajas concentraciones, estos compuestos forman parte de la fracción respirable del humo de soldadura y representan un riesgo para la salud de los trabajadores.

3.1.4.2. Tiempo de exposición a los humos de soldadura

En la empresa Cuaral, el proceso de soldadura GTAW (TIG) se aplica en las actividades de remate de cumbreros, empleando argón de alta pureza como gas protector, varilla de aporte ER70S-6 y electrodos de tungsteno dorado tipo WL15 (98.5 % W – 1.5 % LaO). Este procedimiento se desarrolla bajo las mismas condiciones operativas, parámetros de trabajo y organización de jornada que el proceso FCAW, siendo ejecutado en idénticos turnos de producción.

En consecuencia, el tiempo neto de exposición efectiva a los humos y gases de soldadura durante el proceso GTAW se considera equivalente al determinado para el proceso FCAW, con un total de 330 minutos diarios (5 h 30 min por trabajador). Esta equivalencia permite homogeneizar la evaluación de la exposición ocupacional y establecer un criterio comparativo para el análisis de riesgos respiratorios asociados a la emisión de contaminantes metálicos y gaseosos en las operaciones de remate estructural.

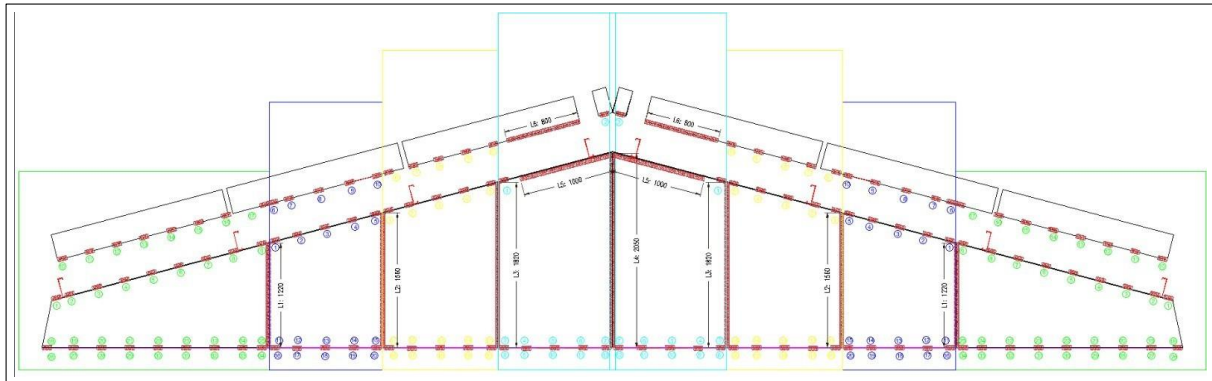
3.1.4.2.1. Determinación del tiempo efectivo de exposición al arco eléctrico (Arc-On Time)

El tiempo efectivo de arco encendido (Arc-On Time) en el proceso GTAW se determinó utilizando cronometraje directo de la ejecución de cordones, considerando únicamente el periodo en que el arco eléctrico está activo, lo que permite delimitar con precisión el tiempo real de emisión de contaminantes metálicos y gaseosos, caracterizado en las siguientes etapas del proceso.

- a) **Caracterización de la Tarea:** La actividad evaluada corresponde al proceso de remate de placas en estructuras de cumbrero, con espesores de 6, 8 y 12 mm, según los requerimientos del diseño estructural del proyecto. Estas labores se ejecutan sobre una armadura simétrica compuesta por elementos triangulares y rectangulares, diseñada para soportar cargas distribuidas en techos inclinados. El procedimiento contempla la aplicación de soldadura de filete intermitente, dispuesta de forma intercalada y distribuida uniformemente en todas las juntas que conforman la estructura principal, tal como se aprecia en la Figura 3.17.

Figura 3.17

Detalle de soldadura en cumbreros remate TIG



Nota: La Figura muestra un detalle de los cordones de soldadura intermitente tipo filete que se utilizan en el proceso de soldadura (GTAW).

El procedimiento GTAW aplicado al remate de cumbreros se caracteriza por los siguientes elementos operativos:

- Tipo de cordón aplicado: Se emplean cordones de soldadura tipo filete intermitente, distribuidos según las especificaciones del diseño estructural.
- Cantidad de cordones por cara: Cada cara del cumbrero requiere la ejecución de 310 cordones, aplicados de forma secuencial y controlada.
- Producción diaria estimada: En una jornada laboral se completa el remate de la mitad de una cara, equivalente a 86 cordones por día.
- Duración total del remate por cumbrero: El ciclo completo de remate de un cumbrero se realiza en 4 días, considerando la progresión diaria y las condiciones de montaje.
- Total de cordones por estructura: Dado que cada cumbrero posee 2 caras, el total de cordones por unidad asciende a 344 cordones de soldadura FCAW.

b) Cuantificación de la Carga de Trabajo:

- Cordones de cumbrero: $172 \text{ cordones/1 cara} \times 2 \text{ caras} = 344 \text{ cordones/cumbrero}$.
- Producción diaria estimada: $86 \text{ cordones/día} = \text{equivale a } \frac{1}{2} \text{ cara por jornada}$
- Avance en cumbreros por jornada: Un cumbrero completo (2 caras) requiere 4 días de trabajo, entonces

$$\frac{1 \text{ cumbrero}}{4 \text{ días}} = 0.25 \text{ cumbreros/día.}$$

- Cordones totales por jornada: $344 \text{ cordones/cumbrero} \times 0.25 \text{ cumbreros/día} = 86 \text{ cordones/día}$

c) Medición del Tiempo de Arco Encendido (Arc-On Time): Mediante cronometraje directo en campo, se estableció un tiempo promedio de 2 min de arco encendido para la ejecución de cada cordón de 10 cm.

Cálculo del Tiempo Total de Arco Encendido Diario:

- Tiempo total de arco encendido = $86 \text{ cordones/día} \times 2 \text{ min/cordón} = 172 \text{ minutos/día}$ (equivalente a 2 horas y 52 minutos)

d) Determinación del Tiempo Neto de Exposición: La jornada laboral efectiva, descontando pausas reglamentarias, se estableció en 330 minutos (5 horas y 30 minutos). Este tiempo incluye tanto la operación de soldadura como las tareas auxiliares asociadas.

e) Cálculo del Factor de Operación de Arco (Arc-On Time Factor): Este indicador, expresado en porcentaje, relaciona el tiempo de arco encendido con el tiempo

neto de exposición, reflejando la intensidad de la exposición directa a los agentes peligrosos durante la jornada.

Fórmula:

$$\text{Factor de Arc-On (\%)} = \frac{\text{Tiempo Total de Arco}}{\text{Tiempo Neto de Exposición}} \times 100$$

$$\text{Factor de Arc-On (\%)} = \frac{172 \text{ min}}{330 \text{ min}} \times 100 = 52.12 \%$$

En el marco del estudio desarrollado en la empresa, se determinó que el Factor de Operación de Arco (Arc-On Time Factor) en el proceso de soldadura GTAW alcanza un valor del 52.12 %, lo que refleja una exposición laboral directa y sostenida a contaminantes gaseosos generados por el arco eléctrico, principalmente ozono y óxidos de nitrógeno, cuya concentración puede alcanzar niveles críticos en ambientes con ventilación deficiente.

Aunque la tasa de emisión de humos metálicos en TIG es baja, la frecuencia y duración de la operación convierten este proceso en un riesgo significativo desde el punto de vista higiénico-respiratorio. Este hallazgo sustenta la recomendación de implementar controles de ingeniería y reforzar las medidas preventivas en jornadas prolongadas de soldadura de precisión

En la Tabla 3.5 se resumen los principales parámetros operativos del proceso de soldadura GTAW obtenidos mediante medición directa y cálculos específicos del caso de estudio. Durante una jornada laboral se registraron 86 cordones de soldadura, con un tiempo de 2 minutos por cordón. El tiempo efectivo de arco encendido alcanzó los 172 minutos, lo que representa un factor de arc-on del 52.12 % respecto al tiempo neto de exposición.

Tabla 3.5

Parámetros operativos y comparativos del proceso GTAW.

Parámetro	Valor	Unidad	Fuente
Cordones totales por jornada	86	cordones	Medición en campo
Tiempo de arco por cordón	2	minutos	Cronometraje directo
Tiempo total de arco encendido diario	172	minutos	Cálculo
Jornada neta de exposición	330	minutos	Registro de jornada
Factor de Arc-On (Caso de Estudio)	52.12	%	Cálculo (Esta investigación)

Nota: La Tabla presenta los valores de los diferentes parámetros del proceso GTAW y las unidades en las que son medidas.

3.2. Establecimiento de los efectos en la salud de los principales compuestos presentes en los humos metálicos generados por los diferentes tipos de soldadura en el ambiente de trabajo

La metodología desarrollada, se basa en una revisión sistemática con síntesis narrativa de estudios toxicológicos, ocupacionales y epidemiológicos., orientada a determinar los efectos sobre la salud asociados a la exposición a los humos metálicos generados por los procesos de soldadura SMAW, GMAW, FCAW y GTAW. La información recopilada se contextualizó en las condiciones reales de operación de la empresa Cuaral, dedicada al montaje y ensamblaje de estructuras metálicas en acero al carbono (cerchas, columnas, vigas IPN y cumbreros).

La correspondencia entre los compuestos identificados en la literatura científica (óxidos de hierro, manganeso, sílice y fluoruros; y gases como CO, NO_x y O₃) y los insumos utilizados en las operaciones de soldadura de la empresa hizo posible crear una relación directa entre la evidencia científica y los riesgos reales de exposición en el ambiente laboral.

Para evaluar la posible manifestación de efectos en la salud, se aplicó una encuesta diagnóstica a 15 trabajadores directamente expuestos a los procesos de soldadura; el cuestionario se diseñó con base en estudios de higiene ocupacional e incluyó indicadores de síntomas respiratorios, neurológicos y generales asociados a la exposición a contaminantes metálicos y gaseosos. De acuerdo con la literatura especializada (Antonini, 2003, 2014; Centro Canadiense de Salud y Seguridad Ocupacional, 2024; Olavarrieta del Castillo, 2011), los humos de soldadura contienen principalmente óxidos metálicos (Fe, Mn, Si, Cr), fluoruros y gases tóxicos (CO, NO_x, O₃), por lo que su inhalación produce efectos agudos como tos, irritación de las vías respiratorias, fiebre metálica, disnea, y efectos crónicos entre ellos bronquitis crónica, silicosis, manganismo y alteraciones cardiovasculares o neurológicas.

Los resultados de la encuesta reflejaron la presencia de síntomas compatibles con la exposición a los contaminantes mencionados, evidenciando una correlación entre el tipo de proceso, los compuestos emitidos y las manifestaciones clínicas reportadas. En particular:

- Tos, flema y disnea: asociadas a la inhalación de partículas metálicas finas y gases oxidantes.
- Opresión torácica e infecciones respiratorias recurrentes: indicativas de procesos inflamatorios crónicos en las vías respiratorias.
- Síndrome seudogripal post-soldadura: caracterizado por malestar general, fiebre y escalofríos posteriores a la jornada, atribuible a la exposición aguda a partículas metálicas ultrafinas.

La siguiente Tabla 3.6 resume los contaminantes predominantes, síntomas reportados en la empresa Cuaral y efectos fisiopatológicos, integrando la información normativa (ACGIH, NIOSH y OSHA) con la evidencia de campo.

Tabla 3.6

Comparación entre procesos de soldadura, compuestos predominantes y efectos en la salud.

Proceso	Compuestos predominantes	Aplicación en Cuara	Síntomas reportados	Riesgos según literatura
SMAW (E7018)	FeO, MnO, CaF ₂ , CO, NO _x , O ₃	Cerchas, columnas, vigas IPN	Tos, flema, disnea, infecciones respiratorias	Siderosis, bronquitis crónica, manganismo, irritación respiratoria, hipoxia
GMAW (ER70S-6 + CO ₂)	Fe ₂ O ₃ , MnO, SiO ₂ , CO, NO _x , O ₃	Remate de cerchas	Tos leve, opresión torácica, irritación ocular	Fiebre metálica, irritación ocular, bronquitis química, mareos, hipoxia
FCAW (E71T-1C + CO ₂)	Fe ₂ O ₃ , MnO, SiO ₂ , fluoruros, CO, NO _x , O ₃	Remate de estructura para cumbrero empernado	Tos, disnea, flema, opresión torácica, malestar general	Neumoconiosis, silicosis, bronquitis crónica, daño neurológico por Mn
GTAW (WL15 + ER70S-6 + Ar)	O ₃ , NO ₂ , Fe, Mn, trazas de WO ₃ y La ₂ O ₃	Remate de Cumbre-ro	Irritación ocular, congestión nasal, disnea leve	Bronquitis química, irritación de mucosas, edema pulmonar, estrés oxidativo

Nota: La Tabla presenta los diferentes síntomas presentados en la empresa y los riesgos reportados en la literatura en cada uno de los procesos de soldadura presentes en la empresa.

3.2.1. SMAW

El proceso SMAW fue identificado por el 40 % de los trabajadores encuestados como el de mayor impacto negativo sobre la salud respiratoria. Los síntomas más frecuentes reportados fueron tos persistente, flema matutina, disnea durante esfuerzos físicos e infecciones respiratorias recurrentes. Estos efectos se correlacionan con la exposición a óxidos de hierro (Fe_2O_3), óxidos de manganeso (MnO), fluoruros de calcio (CaF_2) y gases irritantes como monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NO_x).

La literatura especializada (Antonini, 2003, 2014; Olavarrieta del Castillo, 2011) respalda esta correlación, indicando que SMAW produce las concentraciones más elevadas de humos metálicos entre los procesos por arco eléctrico, y está vinculado con patologías como siderosis, bronquitis crónica y manganismo.

En Cuaral, el tiempo promedio de exposición directa de arco encendido en el proceso SMAW (2 h 33 min por jornada), equivalente al 38.83 % de la jornada laboral, resulta suficiente para superar los límites permisibles establecidos por ACGIH y NIOSH, especialmente respecto a los óxidos de manganeso y hierro. Exposiciones repetidas a estas concentraciones pueden derivar en efectos respiratorios crónicos y neurotoxicidad, lo que justifica la implementación de sistemas de circulación de aire localizados, rotación de tareas y vigilancia médica específica.

3.2.2. GMAW

El proceso GMAW (Gas Metal Arc Welding) fue percibido por el 20 % de los trabajadores como de impacto intermedio sobre la salud. Los síntomas reportados incluyen tos, opresión torácica y disnea leve. Durante la descomposición térmica del gas protector CO_2 , se generan monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NO_x), además de partículas metálicas de hierro, manganeso y sílice procedentes del alambre ER70S-6.

La literatura científica especializada coincide en que el proceso GMAW genera menores niveles de humos metálicos en comparación con SMAW o FCAW; sin embargo, mantiene un riesgo higiénico-ocupacional relevante por la producción simultánea de humos finos y gases tóxicos. Los efectos agudos más comunes incluyen fiebre metálica, irritación de las vías respiratorias y disnea transitoria, mientras que, en ambientes con ventilación insuficiente, la acumulación de CO y NO_x puede ocasionar hipoxia tisular, mareos y alteraciones cardiovasculares.

En la empresa Cuaral, el tiempo efectivo de exposición directa al arco eléctrico durante este proceso fue de 78,3 minutos por jornada (equivalente a 1 h 18 min), lo que representa un factor de Arc-On del 19,82 %; Este valor indica que el soldador se encuentra sometido a la máxima concentración de contaminantes aproximadamente una quinta parte de su jornada laboral, lo cual podría elevar la probabilidad una dosis acumulada significativa de exposición a humos y gases metálicos, sobre todo en áreas con deficiencia de ventilación o ausencia de extracción localizada.

3.2.3. FCAW

El proceso FCAW fue identificado por el 27 % de los trabajadores como el segundo proceso con mayor impacto. Los síntomas reportados más frecuentes fueron tos persistente, disnea en reposo, flema y opresión torácica, compatibles con la exposición a óxidos de hierro (Fe_2O_3), óxidos de manganeso (MnO) y dióxido de silicio (SiO_2), así como con la inhalación de gases irritantes tales como CO y NO_x .

La literatura científica señala que la técnica de soldadura FCAW genera concentraciones superiores de humos metálicos debido a la descomposición térmica del núcleo fundente del alambre tubular y a la volatilización de sus componentes, lo que favorece la formación de partículas finas y gases secundarios de combustión, los cuales están asociados con patologías respiratorias como neumoconiosis, silicosis y bronquitis crónica, además de posibles efectos neurológicos por exposición prolongada al manganeso.

El tiempo efectivo de exposición directa al arco en la empresa Cuaral se estimó en 69,75 minutos por jornada, lo que equivale a un factor de Arc-On del 21,14 %. Este valor indica que el soldador permanece expuesto a la máxima concentración de contaminantes durante aproximadamente una quinta parte de su jornada laboral, lo que eleva la probabilidad generar una dosis acumulada significativa de partículas metálicas y gases tóxicos.

3.2.4. GTAW

El proceso GTAW fue identificado por el 13 % de los trabajadores como el de menor impacto higiénico-ocupacional; No obstante, se reportaron casos aislados de irritación ocular, congestión nasal y disnea leve, síntomas asociados a la exposición a gases oxidantes generados durante la operación del arco eléctrico

Aunque la emisión de partículas metálicas en este proceso es considerablemente menor en comparación con SMAW, GMAW o FCAW, el principal riesgo higiénico proviene de los gases oxidantes formados por la acción de la radiación ultravioleta del arco sobre el aire circundante, en particular, se generan ozono (O_3) y dióxido de nitrógeno (NO_2), compuestos altamente reactivos que, incluso en concentraciones bajas, pueden provocar irritación de mucosas, tos seca y sensación de opresión torácica.

La literatura técnica coincide en que el proceso GTAW es el más “limpio” en cuanto a la producción de humos metálicos; sin embargo, la exposición continua a O y NO puede derivar en efectos agudos como bronquitis química, edema pulmonar e irritación respiratoria severa, además de efectos crónicos asociados a inflamación bronquial persistente y disminución de la capacidad ventilatoria pulmonar.

En la empresa Cuaral, el tiempo total de arco encendido durante este proceso es de 172 minutos por jornada, lo que equivale a un factor de Arc-On del 52.12 %. Este valor indica que el soldador permanece expuesto a la emisión directa del arco durante más de la mitad de su jornada efectiva, lo que incrementa la probabilidad de absorción de gases oxidantes y la posibilidad de desarrollar síntomas irritativos o efectos respiratorios acumulativos si no se aplican medidas de control adecuadas.

3.3. Determinación de la relación entre los principales compuestos de los humos metálicos generados en los procesos de soldadura en el ambiente de trabajo y los efectos en la salud a base de revisiones bibliográficas

El objetivo de la investigación actual fue establecer el vínculo entre los componentes predominantes hallados en los humos metálicos que se emiten durante las soldaduras SMAW, GMAW, FCAW y GTAW y sus repercusiones en la salud de los soldadores expuestos; para ello, se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura científica. El estudio se centró en condiciones operativas representativas del entorno industrial, utilizando acero al carbono como metal base, junto con consumibles y gases de protección comúnmente empleados. Los materiales y parámetros característicos considerados fueron:

- SMAW: Electrodo revestido tipo E7018.
- GMAW: Alambre sólido ER70S-6 con gas protector CO_2 .

- FCAW: Alambre tubular de núcleo fundente E71T-1C con CO₂.
- GTAW: Varilla de aporte ER70S-6, electrodo de tungsteno 1,5 % lantaneado (WL15) y gas protector Ar.

A partir de esta configuración, se identificaron y categorizaron los principales compuestos presentes en los humos metálicos, incluyendo óxidos de hierro (Fe₂O₃), manganeso (MnO), níquel (NiO), silicio (SiO₂), y compuestos asociados a electrodos dopados como tungsteno (WO₃) y lantano (La₂O₃); así como los gases CO, O₃ y NO_x. Posteriormente, se efectuó una clasificación de estos compuestos de acuerdo con los siguientes criterios:

- Tipo de proceso de soldadura en el que se generan.
- Órgano diana afectado.
- Efectos agudos y crónicos reportados en la literatura científica.
- Clasificación del riesgo según OSHA, NIOSH, IARC.

La Tabla 3.8, sintetiza los contaminantes más representativos de las operaciones de soldadura y sus consecuencias para la salud humana, esta información es esencial para entender los riesgos higiénico-ocupacionales y formular medidas preventivas en el contexto de la Seguridad y Salud en el Trabajo.

En términos comparativos, los procesos SMAW y FCAW presentan la mayor generación de humos metálicos, debido a la descomposición térmica de los revestimientos y fundentes de los electrodos. El proceso GMAW produce tanto humos metálicos como contaminantes gaseosos, entre los que destacan el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el ozono (O₃), generados por las reacciones del arco con el gas protector y el aire circundante. Por su parte, el proceso GTAW se caracteriza por una menor emisión de partículas metálicas; no obstante, puede liberar óxidos de tungsteno y lantano provenientes de los electrodos dopados, además de generar ozono fotoquímico como resultado de la radiación ultravioleta emitida por el arco eléctrico.

Tabla 3.7

Compuestos presentes en los procesos de soldadura y sus efectos en la salud.

Compuesto	Procesos de soldadura (consumible/gas usado)	Órgano diana	Efectos agudos	Efectos crónicos	Fuente
Óxidos de hierro (Fe_2O_3)	SMAW E7018, GMAW ER70S-6, FCAW E71T-1C, GTAW ER70S-6	Pulmón	Irritación respiratoria, tos	Neumoconiosis (siderosis)	Antonini et al. (2003); Zimmer & Biswas (2001)
Óxidos de manganeso (MnO)	Metal base: acero al carbono + consumibles ER70S-6, E7018, E71T-1C	SNC	Cefaleas, fatiga	Parkinsonismo, alteraciones neurológicas	Brenner (2024); Cepeda Ortega (2017)
Óxidos de silicio (SiO_2)	GMAW/FCAW (ER70S-6 alto en Si; E71T-1C fundente)	Pulmón	Irritación bronquial	Silicosis, daño pulmonar crónico	Antonini et al. (2003)
Óxidos de tungsteno (WO_3)	GTAW (electrodo WL15)	Pulmón	Irritación aguda	Posible fibrosis pulmonar	NIH (2005)
Óxidos de lantano (La_2O_3)	GTAW (electrodo WL15)	Pulmón	Irritación bronquial	Neumonitis intersticial	Marui et al. (2022); Sisler et al. (2015)

Nota: En la Tabla se observan los principales compuestos identificados en los diferentes procesos de soldadura, sus órganos diana, efectos agudos y crónicos, y las fuentes bibliográficas de referencia.

Tabla 3.8

Compuestos presentes en los procesos de soldadura y sus efectos en la salud.

Compuesto	Procesos de soldadura (consumible/gas usado)	Órgano diana	Efectos agudos	Efectos crónicos	Fuente
Monóxido de carbono (CO)	SMAW (E7018), GMAW (ER70S-6 con CO ₂), FCAW (E71T-1C con CO ₂)	Sistema cardiovascular y SNC	Cefalea, mareos, hipoxia aguda	Alteraciones cardiovasculares, daño neurológico	Antonini (2006); OSHA (2023a)
Óxidos de nitrógeno (NO, NO ₂)	SMAW, GMAW (CO ₂), FCAW, GTAW (Ar)	Pulmón	Irritación, tos seca, edema pulmonar	Neumonía química, daño pulmonar crónico	Wagner (2018)
Ozono (O ₃)	GTAW (Ar), GMAW (arco en atmósfera gaseosa)	Pulmón	Tos, irritación ocular y nasal	Bronquitis crónica, daño pulmonar	Azari (2011); CCOHS (2024)

Nota: La tabla muestra los principales compuestos identificados en los diferentes procesos de soldadura, sus órganos diana, efectos agudos y crónicos, y las fuentes bibliográficas de referencia.

En conjunto, los hallazgos bibliográficos indican que los procesos SMAW y FCAW representan un mayor riesgo higiénico-ocupacional por la elevada generación de partículas respirables, especialmente óxidos de hierro y manganeso, cuya inhalación prolongada se asocia con enfermedades respiratorias crónicas y alteraciones neurológicas. En el caso del proceso GMAW, el riesgo se relaciona tanto a la emisión de humos metálicos como a la formación de gases (CO, NO_x, O₃), los cuales pueden provocar efectos irritativos y sistémicos, particularmente en entornos con ventilación deficiente. Por su parte, el proceso GTAW genera una menor cantidad de partículas, pero no está exento de peligros, ya que la radiación ultravioleta del arco eléctrico favorece la formación de ozono fotoquímico y los electrodos dopados pueden liberar óxidos de tungsteno y lantano con potencial

toxicidad pulmonar.

Estos resultados respaldan la necesidad de implementar controles de ingeniería, complementados con equipos de protección respiratoria adecuados y programas de vigilancia de la salud ocupacional. La caracterización bibliográfica desarrollada en esta investigación constituye una base técnica sólida para la evaluación cualitativa del riesgo y la posterior formulación de medidas preventivas en los ambientes de soldadura de la empresa de estudio.

Asimismo, el análisis comparativo de los procesos de soldadura empleados permitió identificar diferencias significativas en cuanto a la cantidad de humos emitidos y la composición química de los contaminantes generados, considerando que el material base corresponde a acero al carbono.

SMAW: Es uno de los procesos con mayor emisión de partículas. Los humos se componen principalmente por óxidos de hierro (Fe) y manganeso (Mn), con presencia secundaria de fluoruros (CaF_2 , NaF) y elementos alcalinos como Na y K, derivados del recubrimiento del electrodo (Centro Canadiense de Salud y Seguridad Ocupacional, 2024).

GMAW: Genera una cantidad moderada de humos, compuestos por óxidos de Fe y Mn, además de nanopartículas ultrafinas que incrementan la capacidad de penetración alveolar. Si se emplean alambres cobreado, también pueden liberarse óxidos de cobre (CuO), asociados a la fiebre por humos metálicos. Un riesgo adicional en este proceso es la formación de contaminantes gaseosos, particularmente ozono (O_3) y óxidos de nitrógeno (NO_x), generados por la radiación ultravioleta del arco (Berlinger y cols., 2008; Centro Canadiense de Salud y Seguridad Ocupacional, 2024).

FCAW: Es el proceso con la mayor tasa de generación de humos metálicos en acero al carbono. Se identifican principalmente óxidos de Fe y Mn, junto con compuestos provenientes del fundente como óxidos de Si, Al, Ca, Ti, Mg y fluoruros que pueden liberar HF en fase gaseosa (Hedberg y cols., 2021; Yoon y cols., 2009). El riesgo higiénico en FCAW es elevado debido a la alta concentración de partículas respirables, lo que lo convierte en el proceso más crítico en términos de exposición.

GTAW: Es el proceso con la menor producción de partículas; sin embargo, la mayoría de estas se encuentran en el rango nanométrico ($<0.1 \mu\text{m}$), lo que favorece su ingreso a

los alvéolos pulmonares. Se han detectado principalmente óxidos de Fe y Mn, además de gases secundarios como O_3 y NO_x , que representan el mayor riesgo en este proceso (Miettinen y cols., 2016; Wagner y cols., 2018).

En conclusión, para acero al carbono, los procesos SMAW y FCAW representan los de mayor riesgo por alta generación de humos metálicos, mientras que en GMAW y GTAW el peligro está asociado principalmente a gases oxidantes (O_3 y NO_x). Estos hallazgos orientan la necesidad de aplicar ventilación localizada en procesos de alta emisión de partículas (SMAW, FCAW) y sistemas de extracción general o monitoreo en procesos donde predominan contaminantes gaseosos (GMAW, GTAW).

Tabla 3.9

Comparación de contaminantes principales en procesos de soldadura con acero al carbono.

Proceso	Emisión de partículas	Contaminantes predominantes
SMAW	Alta	Fe, Mn, fluoruros, ZnO
GMAW	Media	Fe, Mn, CuO, O_3 , NO_x
FCAW	Muy alta	Fe, Mn, SiO_2 , Al_2O_3 , CaO, MgO, fluoruros/HF
GTAW	Baja	Fe, Mn, O_3 , NO_x

Nota: La tabla presenta un análisis comparativo de los principales contaminantes descritos en la literatura científica y en reportes técnicos de higiene industrial.

Capítulo 4

Resultados y discusión

4.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados

Este capítulo muestra el análisis técnico de los resultados realizados a través de la realización de una encuesta a 15 soldadores de la empresa Cuaral, que se encarga del ensamblaje y producción de estructuras metálicas. La meta principal era determinar si existían síntomas respiratorios asociados con la exposición a gases y humos metálicos producidos en procesos de soldadura por arco eléctrico (GTAW, FCAW, GMAW y SMAW), además de examinar las acciones preventivas implementada respecto a la salud y seguridad laboral.

4.1.1. Caracterización de la población encuestada

La muestra poblacional evaluada estuvo conformada exclusivamente por soldadores, con edades que van desde los 20 hasta los 52 años, con un promedio de 34 años. La antigüedad laboral promedio fue de 8.7 años en tareas de soldadura por arco eléctrico, destacándose un predominio de operarios con experiencia prolongada del 53 % contando más de diez años de trabajo continuo en soldadura, mientras que el 27 % posee entre dos y cinco años de experiencia. Este rango confirma una población laboral joven-adulta, expuesta de forma continua a humos metálicos y gases oxidantes durante más de una década en algunos casos

Este perfil refleja un grupo con una alta exposición acumulativa a humos metálicos y gases oxidantes, generados tanto en procesos manuales como semiautomáticos. La

presencia de trabajadores con trayectoria extensa permite correlacionar la exposición crónica con la aparición de síntomas respiratorios, en concordancia como lo reportado por Antonini (2014); Brenner y Keyes (2024), quienes subrayan que el tiempo de exposición es un elemento clave en el desarrollo de enfermedades pulmonares crónicas.

4.1.2. Condiciones de exposición y uso de equipos de protección

El 73 % de los trabajadores manifestó utilizar respiradores durante las operaciones de soldadura; sin embargo, únicamente el 46 % realiza de manera constante la verificación del ajuste o sellado previo al inicio de la tarea. El 66 % indicó que la empresa provee respiradores y repuestos adecuados, mientras que solo el 53 % ha recibido capacitación reciente (≤ 12 meses) en temas relacionados con humos metálicos y gases tóxicos, como se ilustra en la siguiente imagen 4.1.

Figura 4.1

Uso de respiradores durante actividades de soldadura.



Nota: En la imagen se observa a un colaborador realizando labores de soldadura utilizando un respirador media cara con filtros P100 (modelo 3M 2097), junto con careta protectora, guantes y mandil de cuero.

Aunque el nivel de uso del respirador es relativamente alto, la deficiencia en la verificación del ajuste reduce significativamente su eficacia protectora. Según la NIOSH (2025), la omisión de la prueba de sello puede reducir hasta un 40 % la eficiencia del dispositivo de filtración, exponiendo al trabajador a concentraciones potencialmente peligrosas de partículas metálicas respirables. Asimismo, la ausencia de capacitación periódica representa una brecha preventiva crítica en la gestión preventiva, ya que limita la correcta selección, ajuste y mantenimiento del equipo de protección respiratoria.

4.1.3. Percepción del proceso de mayor impacto sobre la salud

El análisis ante la pregunta “¿Qué proceso de soldadura percibe como el de mayor impacto sobre su salud de las respuestas de los colaboradores fueron las siguientes: SMAW (40 %), FCAW (27 %), GMAW (20 %) y GTAW (13 %).

Interpretación técnica: La percepción de los trabajadores se encuentra alineada con los resultados del análisis metodológico. Los procesos SMAW y FCAW generan las mayores concentraciones de humos metálicos, producto de la descomposición térmica del revestimiento del electrodo y del núcleo fundente del alambre tubular. Ambos procedimientos liberan de óxidos de hierro (Fe_2O_3), manganeso (MnO) y sílice (SiO_2), junto con gases tóxicos como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y ozono (O_3). Por tanto, la percepción de riesgo expresada por los trabajadores tiene sustento técnico y concuerda con lo que se reporta en la bibliografía especializada en higiene industrial (Antonini, 2003; Azari y cols., 2011).

4.1.4. Síntomas respiratorios identificados

Los síntomas respiratorios más frecuentes reportados por los soldadores fueron: tos (60 %), flema matutina (53 %), disnea con esfuerzo (47 %), opresión torácica (40 %), infecciones respiratorias recurrentes (33 %) y malestar general post-soldadura (53 %). Además, un 40 % de los trabajadores refirió que en alguna ocasión presentaron síntomas de fiebre o escalofríos tras finalizar la jornada laboral.

Interpretación técnica: Estos resultados confirman la presencia de sintomatología respiratoria compatible con exposición prolongada a humos metálicos. La tos y la flema son indicativas de irritación bronquial y acumulación de partículas sólidas en las vías respiratorias, mientras que la disnea y opresión torácica reflejan alteraciones

ventilatorias y una posible disminución de la capacidad respiratoria. Los episodios febriles y de malestar general son característicos de cuadros agudos de fiebre metálica, una condición transitoria del epitelio bronquial provocada por la inhalación de óxidos ultrafinos de hierro y zinc.

Estos hallazgos son coherentes con investigaciones de alcance internacional (Centro Canadiense de Salud y Seguridad Ocupacional, 2024; Olavarrieta del Castillo, 2011) que reportan prevalencias superiores al 50 % de síntomas respiratorios en soldadores expuestos sin ventilación localizada ni medidas de control ambiental. En este contexto, los resultados obtenidos en la empresa Cuaral evidencian una situación de riesgo moderado a alto, especialmente en los procesos SMAW y FCAW, donde la generación de partículas metálicas es más intensa.

4.1.5. Relación entre antigüedad laboral y presencia de síntomas

El análisis de correlación de Pearson aplicado a las variables antigüedad laboral e índice promedio de síntomas arrojó un coeficiente de $r = 0.43$ ($p < 0.05$), lo que demuestra una correlación positiva y estadísticamente significativa. Este resultado indica que los trabajadores con mayor tiempo de exposición presentan una frecuencia más elevada de síntomas respiratorios.

Interpretación técnica: La correlación positiva obtenida confirma que la exposición acumulativa a humos metálicos y gases oxidantes incrementa el riesgo de desarrollar enfermedades respiratorias crónicas. Los soldados que tienen más de diez años de experiencia reportaron, en promedio, el doble de síntomas que aquellos con menos de cinco años, evidenciando un patrón de efecto dosis-respuesta. Este comportamiento es congruente con los estudios de Antonini (2014); Wagner y cols. (2018), que vinculan exposiciones prolongadas superiores a una década con deterioro progresivo de la función pulmonar y manifestaciones neurológicas asociadas a la toxicidad por manganeso.

4.1.6. Discusión técnica global

Los hallazgos obtenidos en la empresa Cuaral muestran un problema relacionado con la exposición ocupacional, lo cual tiene consecuencias directas en la salud respiratoria de los soldados. La percepción de riesgo que tienen los soldados y la sintomatología

reportada están correlacionadas con las propiedades físico-químicas de los contaminantes identificados en el Capítulo III.

El predominio del proceso SMAW como fuente de exposición coincide con su factor de *Arc-On Time* del 38.83 %, lo que indica una mayor proporción de tiempo con arco encendido respecto a la jornada efectiva. De manera complementaria, los procesos FCAW y GMAW presentan valores del 21.14 % y 19.82 %, respectivamente, lo que representa una exposición relevante a partículas metálicas y gases tóxicos. Aunque el proceso GTAW genera menor cantidad de humos, su factor de *Arc-On Time* alcanza el 52.12 %, lo que implica una exposición directa prolongada a gases oxidantes como ozono (O₃) y dióxido de nitrógeno (NO_x), asociados a casos de irritación ocular y disnea leve observados en la población evaluada.

La hipótesis de investigación queda confirmada por los resultados empíricos y la correlación estadística, existiendo una relación directa entre los síntomas respiratorios en los empleados y la exposición a gases y humos metálicos producidos en el proceso de soldadura.

Este resultado subraya la importancia de poner en marcha acciones preventivas integrales, como por ejemplo:

- Controles de ingeniería: instalación de sistemas de ventilación localizada y extracción general para minimizar la concentración de humos metálicos en el área de trabajo.
- Rotación de tareas: planificación de turnos y pausas operativas que reduzcan la carga de exposición acumulativa por jornada.
- Uso adecuado de equipos de protección respiratoria: asegurando la verificación del ajuste facial (fit test) y el mantenimiento periódico de los respiradores.
- Programas de vigilancia médica ocupacional: orientados a la detección temprana de afecciones respiratorias y al seguimiento clínico de los trabajadores expuestos.

La Tabla 4.1 presenta los indicadores de desempeño en materia de exposición y control ocupacional, los cuales permiten cuantificar el grado de cumplimiento técnico y definir prioridades de intervención en el área de soldadura de la empresa Cuaral.

Tabla 4.1

Indicadores de exposición y control ocupacional en el área de soldadura.

Indicador de desempeño	Valor obtenido	Criterio de referencia / Meta técnica	Interpretación técnica
Edad promedio del personal expuesto	34 años	No aplica	Predomina población joven-adulta con riesgo de exposición acumulativa prolongada.
Antigüedad promedio en soldadura	8.7 años	Exposición prolongada > 5 años = riesgo alto	El 53 % supera los 10 años de exposición, aumentando la probabilidad de daño pulmonar crónico.
Uso regular de respirador	73%	≥ 90% (meta de gestión SST)	Cumplimiento parcial; existe deficiencia en la constancia del uso y verificación del sellado.
Verificación del ajuste de respirador (fit test)	46%	100% Obligatorio (OSHA 1910.134; guía ISO 16975-3)	Riesgo alto de fuga por sellado deficiente; disminuye eficacia del EPP.
Capacitación anual sobre humos metálicos y gases	53%	≥ 80% meta interna de gestión	Insuficiente; evidencia falta de formación continua en higiene ocupacional.
Percepción de riesgo por proceso SMAW/FCAW	67%	Coincidencia con evaluación técnica	Concordancia entre percepción de riesgo y nivel real de emisión contaminante.
Prevalencia de síntomas respiratorios (tos/flema)	60% / 53%	< 20% esperado con control eficaz	Alta incidencia de síntomas compatible con patologías como bronquitis o signos iniciales de siderosis.
Casos con fiebre post-soldadura (fiebre metálica)	40%	0% (meta preventiva)	Exposición intermitente a óxidos metálicos ultrafinos sin protección eficaz.

Continúa en la siguiente página.

Continuación Tabla 4.1

Indicador de desempeño	Valor obtenido	Criterio de referencia / Meta técnica	Interpretación técnica
Casos con fiebre post-soldadura (fiebre metálica)	40%	0 % (meta preventiva)	Exposición intermitente a óxidos metálicos ultrafinos sin protección eficaz.
Correlación antigüedad-síntomas respiratorios	$r = 0.43$, $p < 0.05$	$r > 0.4$ indica relación significativa	Relación positiva ; mayor antigüedad implica mayor carga de exposición y síntomas.
Factor de Arc-On (tiempo efectivo de arco encendido)	52.12 % (GTAW)	$\leq 40\%$ Minimizar exposición efectiva	Alta exposición directa a gases oxidantes (O_3 , NO_2); requiere ventilación localizada efectiva.
Cumplimiento general de medidas preventivas	65%	$\geq 90\%$ (meta interna)	Nivel moderado de cumplimiento; es necesario fortalecer controles técnicos y médicos.

Nota: La Tabla presenta la interpretación técnica de los indicadores de desempeño analizados.

4.2. Pruebas de hipótesis

Para determinar si hay una conexión estadísticamente significativa entre la exposición a humos metálicos generados por distintos procedimientos de soldadura y el surgimiento de síntomas respiratorios en los soldadores de Cuara, se planteó las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula (H_0): No existe una relación significativa entre la exposición a humos metálicos y la presencia de síntomas respiratorios en los soldadores.
- Hipótesis alternativa (H_1): Existe una relación significativa entre la exposición a humos metálicos y la presencia de síntomas respiratorios en los soldadores.

4.2.1. Variables de estudio

- Variable independiente: Exposición a humos metálicos, operacionalizada mediante la antigüedad laboral en soldadura (años), como indicador del tiempo acumulado de contacto con contaminantes metálicos y gaseosos.
- Variable dependiente: Índice promedio de síntomas respiratorios, calculado a partir de la media de las puntuaciones obtenidas en los ítems del cuestionario aplicado (tos, flema, disnea, opresión torácica, fiebre, entre otros).

Ambas variables fueron tratadas como cuantitativas y continuas, lo que permitió aplicar un análisis de correlación paramétrica utilizando el coeficiente de correlación de Pearson (r).

4.2.2. Método estadístico aplicado

El coeficiente de Pearson (r) posibilita la medición de la dirección y la fuerza de la correlación lineal entre dos variables numéricas. Su valor puede oscilar entre -1 y $+1$, con las siguientes interpretaciones:

- $r = +1$ indica correlación positiva perfecta.
- $r = 0$ indica ausencia de correlación.
- $r = -1$ indica correlación negativa perfecta.

La hipótesis fue evaluada con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ correspondiente a un 95 % de confianza. El procesamiento de los datos se realizó mediante hojas de cálculo, utilizando los registros obtenidos de una muestra poblacional de 15 trabajadores en el área de soldadura.

4.2.3. Resultados del análisis de correlación

El coeficiente de correlación de Pearson entre la antigüedad laboral y el índice promedio de síntomas respiratorios fue determinado a partir de los datos recolectados mediante una encuesta aplicada al personal de soldadura de la empresa Cuaral:

Tamaño de la muestra: 15 trabajadores del área de soldadura ($n = 15$).

Variables analizadas:

Variable independiente (X): Antigüedad laboral de un trabajador en el área de soldadura (años).

- Variable dependiente (Y): Índice total de síntomas respiratorios, obtenido a partir de la suma ponderada de las frecuencias reportadas por los trabajadores para tos, flema matutina, disnea, opresión torácica y fiebre post-soldadura, de acuerdo con
- la escala ordinal (0 = Nunca, 1 = Rara vez, 2 = A veces, 3 = Frecuente, 4 = Casi siempre).

A partir de los valores obtenidos de los trabajadores de la empresa, se construyó la matriz con los datos que se observan en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2

Datos obtenidos de los trabajadores.

Trabajador	Antigüedad (años)	Índice de síntomas respiratorios reportados
1	2	11
2	2	2
3	2	2
4	2	8
5	10	10
6	13	6
7	25	5
8	26	22
9	11	5
10	5	4
11	1	3
12	15	2
13	7	6
14	2	6
15	5	11

Nota: Datos utilizados para el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson (n = 15).

El coeficiente se calculó aplicando la ecuación general del estadístico de Pearson:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

Donde:

- x_i = valores de la variable independiente (antigüedad)
- y_i = valores de la variable dependiente (síntomas respiratorios)
- $\bar{x}$ y $\bar{y}$ = medias aritméticas de las variables

Al procesar los datos se obtuvo:

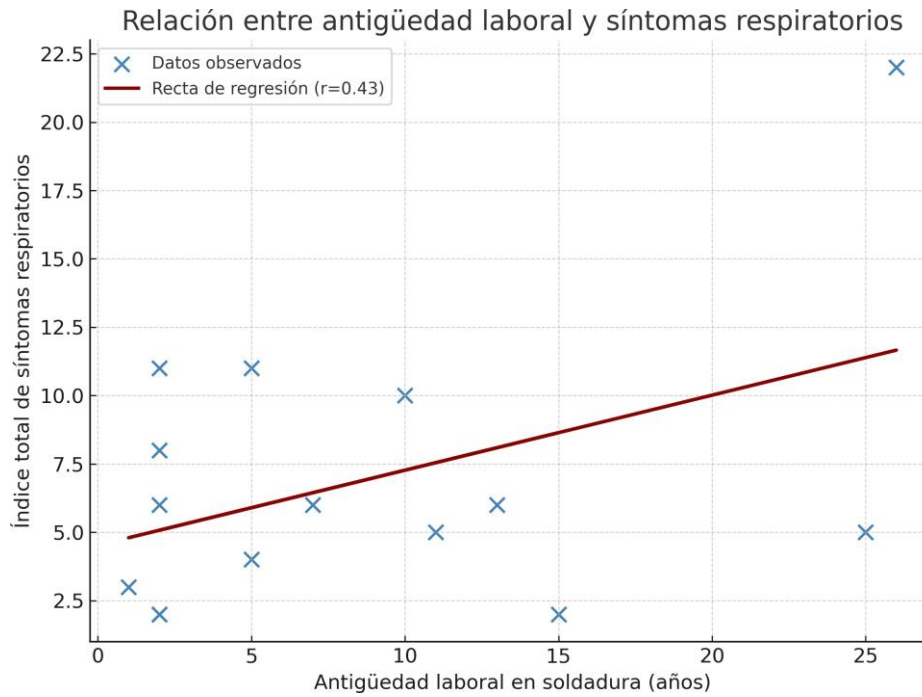
$$r = 0.43 \quad \text{con} \quad p < 0.05$$

El valor positivo de r indica una correlación directa de magnitud media entre ambas variables, lo que implica que a mayor antigüedad laboral y tiempo de exposición, mayor es la frecuencia de síntomas respiratorios. El valor $p < 0.05$ confirma que la correlación es estadísticamente significativa, lo cual permite rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alternativa (H_1)

El análisis evidencia una correlación moderada entre la exposición acumulativa a humos metálicos y la aparición de síntomas respiratorios, lo que respalda la hipótesis planteada en esta investigación, esta correlación sugiere que, además del tiempo de exposición, intervienen otros factores higiénico-ocupacionales, tales como la ventilación del área de trabajo, la eficacia del equipo de protección respiratoria y la frecuencia de la capacitación técnica. Asimismo, el tamaño reducido de la muestra, junto con la variabilidad individual y las condiciones ambientales, pueden influir en la magnitud de la correlación observada.

Figura 4.2

Relación entre antigüedad laboral y síntomas respiratorios en trabajadores de soldadura.



Nota: Correlación entre la antigüedad laboral y el índice promedio de síntomas respiratorios, este gráfico muestra la relación lineal positiva entre los años de experiencia en soldadura y el índice promedio de síntomas respiratorios ($r = 0.43$), respaldando visualmente la validez de la hipótesis estadística.

Análisis técnico: El coeficiente obtenido ($r = 0.43$) refleja una correlación positiva entre el tiempo de exposición a procesos de soldadura y la presencia de sintomatología respiratoria. Este comportamiento es consistente con la evidencia técnica, como lo reporta Antonini (2014), quien documenta que la exposición crónica a humos metálicos ricos en óxidos de hierro (Fe_2O_3) y manganeso (MnO) provoca alteraciones inflamatorias y degenerativas del epitelio bronquial.

Además, las observaciones de campo en Cuaral muestran que los trabajadores con más de 10 años de experiencia en soldadura, particularmente en procesos SMAW y FCAW presentan una mayor prevalencia de síntomas como tos, disnea y flema matutina que aquellos con menor antigüedad laboral.

4.2.4. Discusión de la hipótesis en el contexto ocupacional

El hallazgo estadísticamente significativo de una correlación positiva entre antigüedad y síntomas respiratorios permite inferir que la exposición acumulativa a humos metálicos representa un riesgo higiénico-ocupacional relevante. Esta relación se sustenta en los mecanismos fisiopatológicos ampliamente documentados:

- Los óxidos de hierro y manganeso, principales componentes presentes en los humos de soldadura SMAW y FCAW, inducen inflamación bronquial y alteraciones neurológicas por acumulación sistémica.
- Los gases oxidantes (O_3 y NO_x) generados en procesos GMAW y GTAW causan daño epitelial y disminución de la capacidad ventilatoria.
- La exposición acumulativa favorece el desarrollo de patologías como bronquitis crónica, siderosis y fiebre metálica, según los estudios de Azari y cols. (2011); Wagner y cols. (2018).

Conclusión de la prueba de hipótesis: Se confirma que la exposición a humos metálicos provenientes de los procesos de soldadura por arco eléctrico tiene una relación directa y significativa con la presencia de síntomas respiratorios en los trabajadores expuestos, validando empíricamente la hipótesis general de la investigación, este resultado sustenta la exigencia de reforzar las acciones de control de ingeniería, implementar sistemas de ventilación localizada y reforzar los programas de vigilancia médica ocupacional en la empresa.

4.3. Presentación de resultados

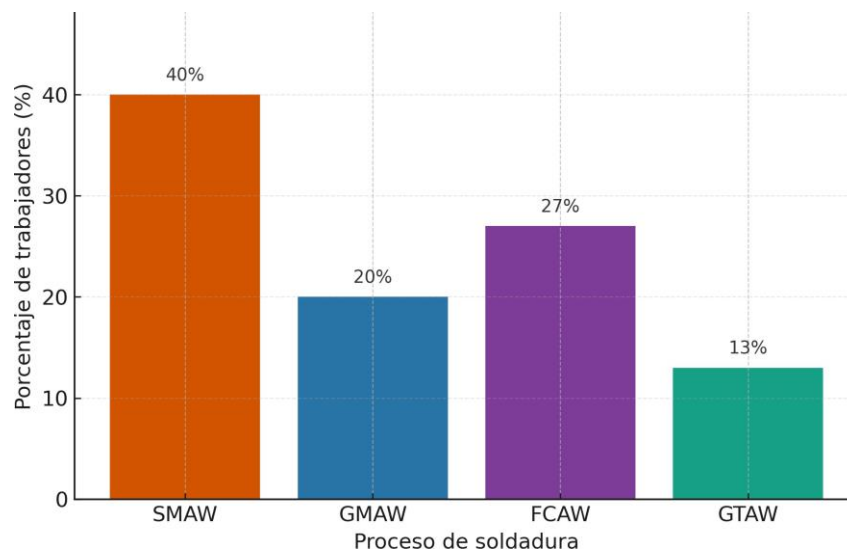
En la presente sección se exponen los resultados derivados del análisis estadístico de las encuestas aplicadas a 15 trabajadores del área de soldadura de la empresa Cuaral, los cuales se presentan mediante gráficos comparativos que permiten visualizar la percepción del riesgo, la prevalencia de síntomas respiratorios y el nivel de cumplimiento de las medidas preventivas asociadas con la exposición a humos metálicos producidos en los diferentes procesos de soldadura (SMAW, GMAW, FCAW y GTAW).

4.3.1. Percepción del proceso de soldadura con mayor impacto sobre la salud

La Figura 4.3 ilustra la distribución porcentual de los procesos de soldadura que los trabajadores perciben como los de mayor impacto sobre su salud. El proceso SMAW (electrodo revestido) fue identificado por el 40 % de los encuestados como el de mayor impacto, seguido por FCAW (alambre tubular) con el 27 %, GMAW (MIG/MAG) con el 20% y GTAW (TIG) con el 13%.

Figura 4.3

Percepción del proceso de soldadura de mayor impacto sobre la salud.



Nota: En la Figura se observa la percepción del proceso de soldadura de mayor impacto sobre la salud según los trabajadores encuestados.

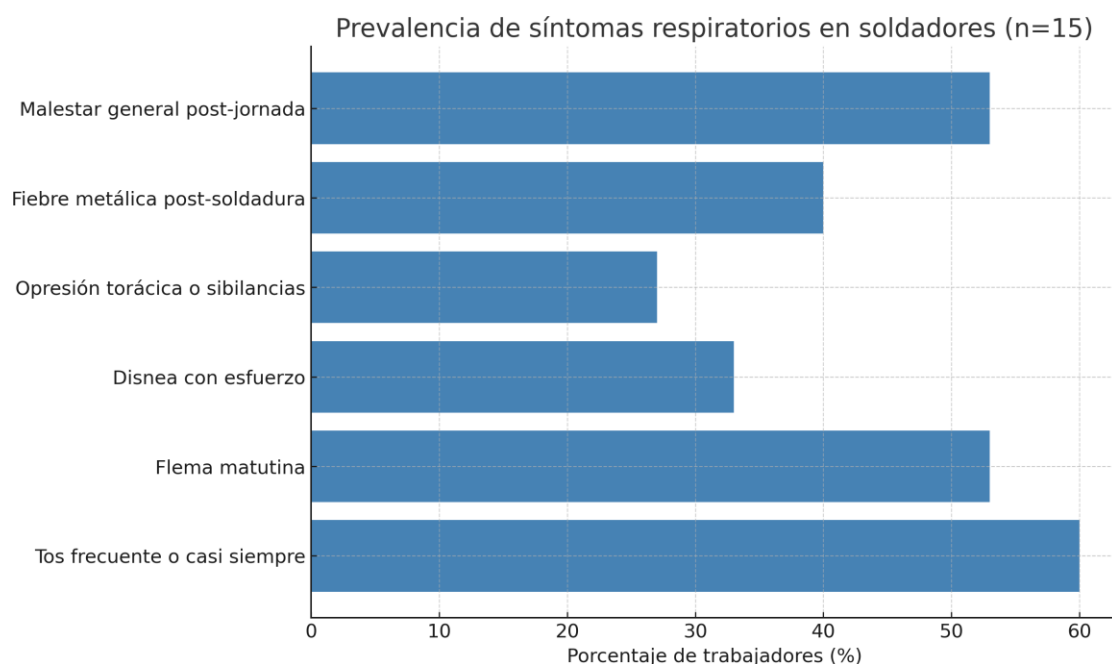
Interpretación técnica: La percepción de los trabajadores es coherente con la evidencia científica, ya que los procesos SMAW y FCAW son reconocidos por generar mayores concentraciones de partículas metálicas respirables y gases tóxicos, como CO, NO_x y O₃, producto de la descomposición térmica del recubrimiento del electrodo o del núcleo fundente del alambre tubular. Además, los datos experimentales del estudio evidencian un mayor tiempo de arco encendido (Arc-On Time) y una mayor densidad de humos en estos procedimientos, lo que refuerza la percepción de riesgo expresada por los trabajadores.

4.3.2. Frecuencia de síntomas respiratorios reportados

La Figura 4.4 resume los principales síntomas respiratorios reportados por los soldados encuestados. Se evidencia que los de mayor frecuencia son la tos (60 %), flema matutina (53 %), malestar general post-soldadura (53 %), fiebre metálica (40 %), disnea con esfuerzo (33 %) y opresión torácica (27%).

Figura 4.4

Frecuencia de síntomas respiratorios reportados por los soldados encuestados.



Nota: En la Figura se observa las frecuencias de los síntomas respiratorios reportados por los soldados encuestados.

Interpretación técnica: Los resultados indican que más del 50 % de los trabajadores presentan al menos un síntoma respiratorio compatible con exposición crónica a humos metálicos. Los síntomas predominantes, como la tos y la flema, están relacionados con la inhalación de partículas finas de óxidos de hierro y manganeso, mientras que la disnea y la opresión torácica se asocian con procesos inflamatorios en las vías respiratorias superiores e inferiores. La presencia de fiebre y escalofríos posteriores a la jornada laboral sugiere la posible aparición de fiebre metálica, un síndrome agudo descrito en la

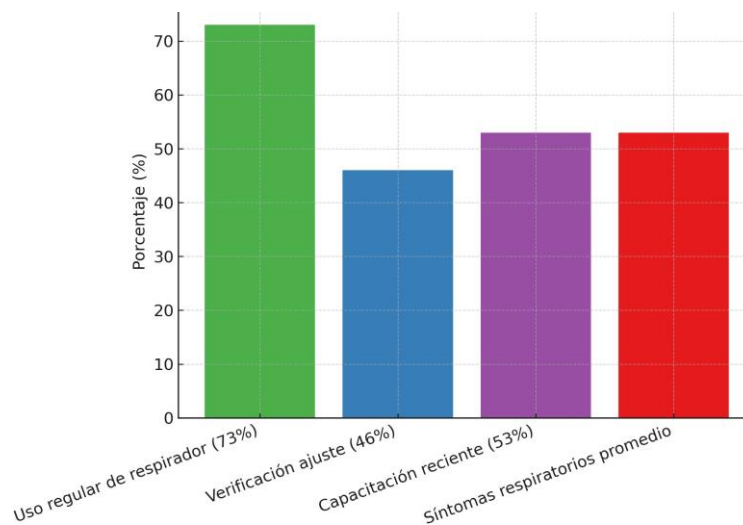
literatura especializada como una respuesta inmunológica transitoria ante la inhalación de humos metálicos ultrafinos.

4.3.3. Cumplimiento de medidas preventivas

En la Figura 4.5 se presentan los niveles de cumplimiento de las principales medidas preventivas vinculada con la protección respiratoria en el área de soldadura. El 73 % de los soldadores reportó utilizar el respirador de forma frecuente, sin embargo, solo el 46 % realiza la verificación del ajuste o sello antes de iniciar la tarea. Por otro lado, el 66 % manifestó que la empresa proporciona equipos adecuados, mientras que el 53 % ha recibido capacitación reciente (≤ 12 meses) sobre humos metálicos y gases de soldadura.

Figura 4.5

Nivel de cumplimiento de medidas preventivas frente a humos metálicos.



Nota: Nivel de cumplimiento de medidas preventivas frente a humos metálicos.

Interpretación técnica: Si bien el uso de protección respiratoria es relativamente aceptable, la falta de ajuste adecuado y la cobertura parcial en capacitación limitan significativamente la eficacia de los controles personales. Según la NIOSH (2025), una mascarilla sin prueba de sello previa puede perder hasta un 40 % de su eficiencia de filtración, comprometiendo la protección del trabajador frente a partículas metálicas respirables. Por lo tanto, la implementación de programas de entrenamiento continuo y

la verificación sistemática del sellado del respirador antes de cada jornada son medidas críticas para garantizar la protección efectiva del trabajador.

4.3.4. Relación entre antigüedad laboral y síntomas respiratorios

Se observó un coeficiente de $r = 0,43$ con $p < 0,05$ en el análisis de correlación de Pearson entre la media del índice de síntomas y los años de experiencia en soldadura, lo que indica una correlación positiva con significancia estadística; Este resultado señala que los síntomas respiratorios reportados por los empleados son más frecuentes y graves a medida que aumenta el tiempo de trabajo.

Interpretación técnica: Este resultado ratifica el impacto acumulativo que la inhalación de gases metálicos tiene sobre el estado respiratorio de los trabajadores de soldadura; El personal con más de una década en el trabajo muestran una incidencia significativamente mayor de tos persistente, disnea y flema crónica, hallazgo que coincide con los estudios de Antonini (2003); Brenner y Keyes (2024), quienes documentan deterioro ventilatorio progresivo y alteraciones neurotóxicas por exposición prolongada a óxidos de manganeso y hierro.

4.4. Análisis integral de resultados y correlación con posibles enfermedades ocupacionales

Los resultados obtenidos en la investigación permiten establecer una relación directa entre los síntomas respiratorios reportados por los trabajadores y los compuestos químicos identificados en los humos metálicos de los diferentes procesos de soldadura aplicados en la empresa. Esta correlación integra la evidencia empírica (encuesta aplicada y análisis estadístico) con la información toxicológica y epidemiológica documentada en la literatura científica y sintetizada en la Tabla 3.8.

4.4.1. Correlación entre síntomas y agentes químicos identificados

Los síntomas más prevalentes, tos persistente, flema matutina, disnea con esfuerzo y opresión torácica, reportadas por más del 50 % de los trabajadores, se asocian directamente con la inhalación de partículas finas de Fe_2O_3 y MnO , los cuales son los componentes

predominantes en los procesos SMAW y FCAW, y actúan como irritantes respiratorios, promoviendo inflamación bronquial crónica y reducción de la capacidad ventilatoria, estas condiciones son compatibles con cuadros clínicos de bronquitis ocupacional y siderosis pulmonar, tal como lo documentan Antonini (2014); Zimmer y Biswas (2001). Por otro lado, el malestar general, fiebre y escalofríos post-soldadura, presentes en el 40–50 % de la población encuestada, son manifestaciones características de la denominada “fiebre metálica”, un síndrome agudo causado por la exposición intermitente a humos ultrafinos ricos en óxidos de hierro, zinc o manganeso. Este cuadro clínico, aunque reversible, constituye un indicador de exposición significativa y recurrente a contaminantes metálicos en el aire respirable.

En los procesos GTAW (TIG) y GMAW (MIG/MAG), donde la generación de humos metálicos es menor, se identificó una mayor prevalencia de síntomas como irritación ocular, congestión nasal y disnea leve. Estos síntomas se correlacionan con la emisión de gases oxidantes, principalmente ozono (O_3) y óxidos de nitrógeno (NO_x), ambos gases poseen reconocida toxicidad pulmonar aguda, su inhalación puede provocar bronquitis química, edema pulmonar e irritación de mucosas, tal como lo señalan Azari y cols. (2011); Wagner y cols. (2018).

El análisis de correlación de Pearson obtuvo un coeficiente de $r = 0.43$ con una p menor a 0.05, lo que demuestra que existe una relación positiva significativa entre el tiempo trabajado en soldadura y el promedio de síntomas respiratorios. Este resultado demuestra que el tiempo de exposición es un elemento crucial en la aparición de enfermedades crónicas del aparato respiratorio.

con más de diez años de experiencia presentaron valores duplicados en el índice sintomático respecto a los operarios de reciente incorporación, lo que sugiere un efecto acumulativo de los contaminantes metálicos inhalables sobre el tejido pulmonar. Este hallazgo refuerza la necesidad de implementar estrategias de control más rigurosas en función del historial de exposición de cada trabajador.

4.4.2. Relación con enfermedades ocupacionales reconocidas

El análisis integral de los datos de exposición, los síntomas reportados y los agentes químicos identificados en los humos metálicos permite inferir la probabilidad de aparición de diversas enfermedades ocupacionales respiratorias y neurológicas.

A continuación, se detallan las patologías con mayor prevalencia y respaldo clínico:

- **Bronquitis crónica ocupacional:** asociada a la inhalación prolongada de partículas de Fe y Mn, documentada en el 53 % de los trabajadores con tos y flema recurrente.
- **Siderosis o pneumoconiosis del soldador:** producto de la acumulación de óxidos de hierro en el parénquima pulmonar; sus síntomas iniciales coinciden con los reportados por el 60 % de la muestra, especialmente en procesos SMAW y FCAW.
- **Silicosis leve:** posible en trabajadores expuestos a óxidos de silicio (SiO_2) en los procesos GMAW/FCAW, particularmente en tareas de esmerilado o limpieza posterior al cordón.
- **Fiebre metálica:** síndrome agudo y transitorio reportado en el 40 % de los casos, asociado a exposiciones episódicas a humos metálicos ultrafinos ricos en Fe, Zn y Mn.
- **Bronquitis química y edema pulmonar:** vinculados a la inhalación de ozono y dióxido de nitrógeno (O_3 , NO_2), especialmente en procesos GTAW y GMAW.
- **Trastornos neurológicos incipientes:** en exposiciones prolongadas a manganeso (MnO , Mn_3O_4), especialmente en soldadores con más de 15 años de experiencia, con riesgo potencial de desarrollar manganismo, una condición neurotóxica similar al parkinsonismo ocupacional.

Estos hallazgos confirman la existencia de una relación etiológica entre los agentes químicos presentes en los humos metálicos y las alteraciones respiratorias observadas en los trabajadores. La evidencia obtenida es congruente con la literatura internacional en higiene industrial y toxicología laboral, que clasifica los humos de soldadura como agentes de riesgo de Grupo 1B probablemente carcinógenos para humanos, lo que refuerza la necesidad de una gestión preventiva rigurosa

4.4.3. Implicaciones para el control médico y la gestión ocupacional

Dada la correlación estadística y la coincidencia clínica de los síntomas reportados y los efectos descritos en la Tabla 3.8, se recomienda fortalecer el programa de vigilancia médica ocupacional, conforme a las directrices de la ACGIH (2024) y el Reglamento Interno de Higiene y Seguridad. Este programa debe incluir:

- Evaluaciones médicas iniciales y periódicas, con énfasis en pruebas de función pulmonar (espirometría), radiografías de tórax y biomonitorio de manganeso sérico en trabajadores con más de cinco años de exposición acumulada.
- Monitoreo ambiental periódico, orientado a cuantificar las concentraciones de partículas respirables (mg/m³) y gases oxidantes (ppm) en las áreas de soldadura, utilizando métodos de muestreo personal y estacionario.
- Implementación de controles de ingeniería, tales como sistemas de extracción localizada de humos, ventilación general mecánica y mantenimiento preventivo de equipos de succión y filtración.
- Capacitación anual obligatoria, centrada en los riesgos asociados a humos metálicos, técnicas de ajuste facial de respiradores y reconocimiento temprano de síntomas respiratorios y neurológicos.
- Registro clínico y epidemiológico de todos los casos sintomáticos, con el fin de establecer un sistema de seguimiento longitudinal del estado de salud de los trabajadores y evaluar la eficacia de las medidas preventivas implementadas.

4.4.4. Síntesis técnica del capítulo

El análisis integral del Capítulo IV permite establecer las siguientes conclusiones clave desde una perspectiva higiénico-ocupacional:

- Los procesos de soldadura SMAW y FCAW presentan los niveles más elevados de riesgo higiénico, debido a la alta generación de humos metálicos respirables y la frecuencia operativa con arco encendido, lo que incrementa la carga de exposición diaria.
- Se identificó una correlación positiva estadísticamente significativa entre la antigüedad laboral y la incidencia de síntomas respiratorios $r = 0.43$, Lo que valida empíricamente la hipótesis general de la investigación y evidencia el efecto acumulativo de los contaminantes metálicos sobre la salud pulmonar.
- Los síntomas predominantes, tos persistente, flema matutina y disnea de esfuerzo, son clínicamente compatibles con diagnósticos tempranos de bronquitis crónica ocupacional, fiebre metálica y siderosis incipiente, patologías reconocidas en la literatura técnica como asociadas a la exposición a óxidos de hierro, manganeso y gases oxidantes.

- El control médico ocupacional y los programas de vigilancia epidemiológica deben constituir un componente estructural del sistema de gestión de seguridad y salud laboral, orientados a la detección precoz de alteraciones respiratorias, el seguimiento longitudinal de casos sintomáticos y la reducción efectiva de la exposición mediante controles técnicos y administrativos.

Los datos recopilados en este capítulo indican que la exposición a humos metálicos generados en los procedimientos de soldadura por arco eléctrico es un factor decisivo en la aparición de afecciones respiratorias y neurológicas en los trabajadores expuestos. Esta relación se sustenta en datos estadísticos, observaciones clínicas y fundamentos toxicológicos ampliamente documentados.

Por tanto, se requiere una intervención integral que articule medidas:

- Técnicas: implementación de sistemas de extracción localizada, ventilación mecánica y mantenimiento preventivo.
- Administrativas: gestión de turnos, rotación de tareas, control documental y capacitación continua.
- Médicas: evaluación periódica de función pulmonar, biomonitorio de metales y registro clínico de casos.

Estas acciones permitirán preservar la salud ocupacional, reducir la carga de enfermedad respiratoria y cumplir con los estándares internacionales de higiene industrial, conforme a las directrices de la ACGIH, NIOSH e IARC.

Capítulo 5

Conclusiones y Recomendaciones

A partir del análisis metodológico, los resultados obtenidos en la empresa Cuaral y la evidencia científica revisada, se establecen las siguientes conclusiones técnicas:

- a) Existencia de exposición ocupacional significativa: Los procedimientos SMAW, FCAW, GMAW y GTAW generan concentraciones variables de humos metálicos y gases oxidantes que, bajo las condiciones operativas observadas en la empresa Cuaral, superan los niveles considerados inocuos para la salud. El proceso SMAW presenta la mayor carga contaminante por la descomposición térmica del recubrimiento del electrodo, seguido de FCAW, que combina la emisión de humos sólidos y gases tóxicos derivados del núcleo fundente.
- b) Correlación entre exposición y síntomas respiratorios: La correlación estadísticamente significativa ($r = 0.43$, $p < 0.05$) entre la antigüedad laboral y el índice promedio de síntomas demuestra una relación directa entre el tiempo de exposición a humos metálicos y la aparición de afecciones respiratorias. Los trabajadores con más de diez años en labores de soldadura manifestaron con mayor frecuencia tos, flema matutina, disnea y opresión torácica, indicadores clínicos compatibles con bronquitis crónica y siderosis.
- c) Procesos de mayor impacto higiénico-ocupacional: Los procesos SMAW y FCAW se identificaron como los de mayor riesgo, tanto por la cantidad de partículas metálicas (Fe, Mn, Si) emitidas como por la naturaleza química de los gases generados (CO, NO_x, O₃). Por su parte, el proceso GTAW, aunque más “limpio”, mantiene un riesgo latente por la formación de ozono y dióxido de nitrógeno durante la exposición prolongada al arco.

- d) Presencia de enfermedades ocupacionales potenciales: La combinación de exposición crónica y sintomatología recurrente evidencia la probabilidad de aparición de enfermedades como bronquitis ocupacional, fiebre metálica, neumoconiosis del soldador (siderosis), silicosis leve y alteraciones neurológicas por exposición prolongada al manganeso. Estos hallazgos son consistentes con la literatura de Antonini (2003); Azari y cols. (2011); Wagner y cols. (2018) y respaldan la necesidad de una intervención preventiva integral.
- e) Deficiencias en las medidas preventivas y de control: Aunque el 73 % de los trabajadores utiliza respirador, solo el 46 % verifica su ajuste facial antes de cada jornada. Asimismo, el 47 % no recibe capacitación periódica sobre humos metálicos ni conoce los efectos tóxicos de los gases generados. Estas brechas de conocimiento y control reducen la efectividad de las medidas de protección personal y técnica, incrementando el riesgo higiénico ocupacional.
- f) Necesidad de control médico ocupacional continuo: Se constató la ausencia de un programa sistemático de vigilancia médica especializado en riesgos por exposición a humos metálicos. El establecimiento de controles clínicos periódicos (espirometría, radiografía de tórax y biomonitoreo de manganeso sérico) es fundamental para detectar precozmente alteraciones respiratorias y neurológicas y valorar cuán efectivas son las medidas preventivas que se han puesto en marcha..

5.1. Conclusiones

Los resultados permiten vincular los síntomas respiratorios con los agentes químicos identificados en los humos metálicos. Las manifestaciones clínicas (tos, flema, disnea, opresión torácica) se correlacionan con la exposición a óxidos de hierro y manganeso, principales componentes de los procesos SMAW y FCAW. Los gases oxidantes (O_3 , NO_x) generados en GMAW y GTAW producen irritación ocular, nasal y bronquial, lo que está relacionado con casos de bronquitis química y edema pulmonar.

Los hallazgos permiten identificar el posible desarrollo de enfermedades ocupacionales potenciales:

- Bronquitis crónica y siderosis: por inhalación de Fe y Mn.
- Fiebre metálica: por exposición aguda a humos ultrafinos.
- Silicosis leve: por presencia de SiO_2 en procesos FCAW/GMAW.

- Trastornos neurológicos incipientes: por exposición crónica a Mn.

Como producto del análisis de los procesos de soldadura, la revisión bibliográfica sistemática y la identificación de síntomas respiratorios en el personal de la empresa, se elaboró un “Protocolo de investigación de presunción de enfermedad profesional por exposición a humos metálicos”, el cual se presenta en los Anexos; Este documento constituye una herramienta técnica para la evaluación, calificación y gestión de posibles enfermedades profesionales en la empresa CUARAL, aportando al fortalecimiento del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo.

5.2. Recomendaciones

Se aconseja poner en marcha un programa de vigilancia médica ocupacional que contenga:

- a) Evaluaciones médicas iniciales y periódicas (espirometría, radiografía de tórax, biomonitoreo de Mn).
- b) Monitoreo ambiental para determinar concentraciones de humos y gases.
- c) Ventilación localizada y mantenimiento de sistemas de extracción.
- d) Capacitación anual en riesgos de humos metálicos y ajuste de respiradores.

Los datos muestran que el estar expuesto a humos metálicos en los procedimientos de soldadura por arco eléctrico representa un riesgo importante para la higiene ocupacional, es por ello que la correlación entre antigüedad y síntomas respiratorios valida la hipótesis planteada, justificando la adopción de controles técnicos, administrativos y médicos preventivos.

Con base en las conclusiones obtenidas y los resultados del análisis técnico en la empresa Cuaral, se plantean las siguientes recomendaciones estratégicas orientadas al fortalecimiento del sistema de gestión de Seguridad y Salud Ocupacional:

5.2.1. Controles técnicos e ingeniería

- Instalar sistemas de extracción localizada de humos metálicos en los espacios de soldadura, empleando conductos regulables y filtros HEPA o ULPA que aseguren niveles de exposición por debajo del límite permitido por el ACGIH y el NIOSH.

- Optimizar la ventilación general mecánica mediante recirculación y renovación de aire, para evitar la acumulación de ozono y óxidos de nitrógeno en espacios confinados.
- Mantener un plan de mantenimiento preventivo de equipos de soldadura y extracción, asegurando la eficiencia de ventiladores, filtros y medidores ambientales.
- Evaluar el uso de tecnologías de soldadura de bajo humo, tales como fuentes inverter con control pulsado o sistemas GMAW con gas mixto Ar+CO₂ que reducen las emisiones particuladas.

5.2.2. Controles administrativos y capacitación

- Establecer un programa anual de capacitación obligatoria en higiene ocupacional, enfocado en riesgos asociados a humos metálicos, ajuste de respiradores, identificación de síntomas y primeros auxilios por intoxicación gaseosa.
- Incorporar procedimientos de trabajo seguro (PTS) específicos por tipo de soldadura, donde se definan los parámetros eléctricos, tiempos máximos de exposición y medidas de ventilación requeridas.
- Implementar rotación de tareas y pausas programadas para reducir la exposición acumulativa durante jornadas extendidas.
- Elaborar fichas de seguridad (MSDS) accesibles en cada puesto de trabajo, con información sobre los riesgos toxicológicos de los consumibles utilizados (electrodos, gases y alambres).

5.2.3. Control médico y vigilancia ocupacional

- Desarrollar un programa de vigilancia médica específica para soldadores, con énfasis en:
 - Evaluaciones pre-ocupacionales y periódicas semestrales.
 - Pruebas de función pulmonar (espirometría y capacidad vital forzada).
 - Radiografía de tórax anual para detección de siderosis o silicosis.
 - Biomonitorización de manganeso en sangre.
- Integrar los resultados clínicos y ambientales en un registro epidemiológico digital, que permita el seguimiento longitudinal del estado de salud de cada trabajador.

- Establecer mecanismos de referencia médica inmediata ante síntomas respiratorios persistentes o hallazgos de alteración neurológica.

5.2.4. Recomendaciones generales de gestión

- Adoptar los criterios de la Norma ISO 45001:2018 para fortalecer el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional de la empresa, integrando los aspectos higiénicos dentro del ciclo de mejora continua.
- Realizar monitoreos ambientales semestrales de partículas totales y fracción respirable, así como de gases oxidantes (CO, NO_x, O₃), comparando los resultados con los valores límite umbral (TLV-TWA) establecidos por la ACGIH (2024).
- Promover una cultura preventiva participativa, en la cual los trabajadores reporten de forma proactiva síntomas o fallas en los sistemas de ventilación sin temor a sanción, fortaleciendo la comunicación bidireccional.
- Incorporar indicadores de desempeño higiénico en las auditorías internas, evaluando la reducción de concentraciones de humos metálicos y la frecuencia de síntomas respiratorios.

La investigación demuestra que la exposición a humos metálicos en los procesos de soldadura constituye un riesgo higiénico-ocupacional prioritario en la empresa Cuaral. Los resultados estadísticos, la evidencia sintomática y la caracterización de contaminantes confirman una relación directa entre la exposición prolongada y la afectación del sistema respiratorio.

La implementación de medidas técnicas (ventilación, extracción, mantenimiento), administrativas (capacitaciones, rotación de tareas) y médicas (vigilancia ocupacional) permitirá reducir de forma sustancial el riesgo y asegurar la sostenibilidad del sistema de prevención, garantizando el cumplimiento normativo y la preservación de la salud respiratoria de los soldadores, consolidando una gestión de seguridad alineada con los principios de la higiene industrial moderna.

Referencias Bibliográficas

- ACGIH. (2024). *Data hub*. American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
- Alberta, L. (2009). *Welder's guide to the hazards of welding gases and fumes*. [Disponible en: <https://open.alberta.ca/publications/ch032-chemical-hazards>; Accedido el: 20/7/2025].
- Antonini, J. (2003, 02). Health effects of welding. *Critical reviews in toxicology*, 33, 61-103. doi: 10.1080/713611032
- Antonini, J. (2014). 8.04 - health effects associated with welding. En S. Hashmi, G. F. Batalha, C. J. Van Tyne, y B. Yilbas (Eds.), *Comprehensive materials processing* (p. 49-70). Elsevier. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080965321008074> doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096532-1.00807-4>
- Azari, M. R., Esmaeilzadeh, M., Mehrabi, Y., y Salehpour, S. (2011). Monitoring of occupational exposure of mild steel welders to ozone and nitrogen oxides. *Tanaffos*, 10 (4), 54.
- Berlinger, B., Náray, M., y Záray, G. (2008). Distribution of metals between inhalable and respirable fractions of welding fumes generated in gas metal arc welding. *Science and Technology of Welding and Joining*, 13 (8), 721 – 725. Descargado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-56749152035&doi=10.1179%2f174329307X236814&partnerID=40&md5=0989a897d0fc2a66de453bb2e73efa17> doi: 10.1179/174329307X236814
- Brenner, B., y Keyes, D. (2024). *Hojas informativas de sso: Soldadura, humos y gases*. StatPearls Publishing. Descargado de Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK583199> Accedido el: 24/8/2025
- Brožek-Mucha, Z. (2015). Chemical and physical characterisation of welding fume particles for distinguishing from gunshot residue. *Forensic Science International*, 254, 51-58. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/>

- pii/S0379073815002686 doi: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.06.033>
- Cena, L. G., Chisholm, W. P., Keane, M. J., y Chen, B. T. (2015). A field study on the respiratory deposition of the nano-sized fraction of mild and stainless steel welding fume metals. *JOURNAL OF OCCUPATIONAL AND ENVIRONMENTAL HYGIENE*, 12 (10), 721-728. doi: 10.1080/15459624.2015.1043055
- Cena, L. G., Chisholm, W. P., Keane, M. J., Cumpston, A., y Chen, B. T. (2014). Size distribution and estimated respiratory deposition of total chromium, hexavalent chromium, manganese, and nickel in gas metal arc welding fume aerosols. *Aerosol Science and Technology*, 48 (12), 1254 – 1263. Descargado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84918542737&doi=10.1080%2f02786826.2014.980883&partnerID=40&md5=869a4ff2c0ad5b95b76b353c40bea9dc> doi: 10.1080/02786826.2014.980883
- Centro Canadiense de Salud y Seguridad Ocupacional. (2024). *Hojas informativas de sso: Soldadura, humos y gases*. [Disponible en: https://www.ccohs.ca/oshanswers/safety_haz/welding/fumes.html; Accedido el : 20/7/2025].
- Cepeda Ortega, N. B. (2017). Presencia de neurotoxicidad en soldadores informales expuestos a altos niveles de manganeso.
- Chang, C., Demokritou, P., Shafer, M., y Christiani, D. (2013). Physicochemical and toxicological characteristics of welding fume derived particles generated from real time welding processes. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 15 (1), 214–224.
- Chillón, M., Díez, J., y Fuentes, M. (2018). Fiebres inhalatorias. En *Monografías de la sociedad madrileña de neumología y cirugía torácica. enfermedades ocupacionales* (pp. 31–41). Ergon Madrid.
- Cosgrove, M. (2015, 01). Arc welding and airway disease. *Welding in the World, Le Soudage Dans Le Monde*, 59, 1-7. doi: 10.1007/s40194-014-0172-5
- Cubas, V., Melton, G., Islam, M., y Krishnan, V. V. (2023). Investigation into cr(vi) generation in metal inert gas (mig), metal active gas (mag), and flux cored arc welding (fcaw) by varying the oxidation potential of the shielding gas. *Welding in the World*, 67 (10), 2301 – 2313. doi: 10.1007/s40194-023-01563-x
- D’Addario, M. (2017). *Manual de soldadura industrial. fundamentos, tipos y aplicaciones*. Createspace Independent Publishing Platform.
- Diniz Starling, C. M., Modenesi, P. J., y Donizete Borba, T. M. (2010). Bead characterization on fcaw welding of a basic tubular wire. *Welding International*, 24(7),

- 485–498. doi: 10.1080/09507110902844576
- Dos Santos, K. M. (2021). Prevención de los riesgos por soldadura en los metales pesados.
- Garcia, R. P., y Scotti, A. (2010). Comparative analysis of fume generation between solid (gmaw) and flux cored wires (fcaw); [análise comparativa da geração de fumos entre arames maciços (gmaw) e tubulares (fcaw)]. *Soldagem e Inspecao*, 15 (2), 103 – 111. doi: 10.1590/s0104-92242010000200004
- García, M., Quispe, C., y Raez, L. (2020). *Costo de la calidad y la mala calidad* (I. de Investigación de la Facultad de Ingeniería Industrial UNMSM, Ed.). [Disponible en: https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v05_n1/calidad.htm; Accedido el: 16/9/2022].
- Gomez, D., León, D., Puello, J., Granados, C., y León, G. (2019, 11). Metal fumes exposure to heavy metals, their relationship with oxidative stress and their effect on health. *Producción Limpia*, 14, 8-20. doi: <https://doi.org/10.22507/pml.v14n2a1>
- Gonser, M., Lippold, J., Dickinson, D., Sowards, J., y Ramirez, A. (2010). Characterization of welding fume generated by high-mn consumables. *Welding Journal (Miami, Florida)*, 89(2), 25–33. Descargado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-77149171743&partnerID=40&md5=e006734068d0e5cb9ff900450850c83c>
- Graczyk, H., Lewinski, N., Zhao, J., Sauvain, J.-J., Suarez, G., Wild, P., ... Riediker, M. (2016). Increase in oxidative stress levels following welding fume inhalation: a controlled human exposure study. *PARTICLE AND FIBRE TOXICOLOGY*, 13. doi: 10.1186/s12989-016-0143-7
- Guha, N., Loomis, D., y Guyton, K. (2017, 04). Carcinogenicity of welding, molybdenum trioxide, and indium tin oxide. *The Lancet Oncology*, 18, 581 - 582. doi: 10.1016/S1470-2045(17)30255-3
- Gutiérrez, L. (2010). Creencias de las madres de niños entre 2 y 5 años acerca del tratamiento de las infecciones respiratorias agudas en el puesto de salud san antonio-ate, 2009.
- Hedberg, Y., Wei, Z., McCarrick, S., Romanovski, V., Theodore, J., Westin, E., ... Odnevall Wallinder, I. (2021). Welding fume nanoparticles from solid and flux-cored wires: Solubility, toxicity, and role of fluorides. *Journal of Hazardous Materials*, 413, 125273. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389421002363> doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125273>
- Jung, S., Oh, G. T., Jung, S., y Yoon, C. (2025). Tailoring flux composition to

- control welding fume and hexavalent chromium emissions in flux cored arc welding. *Journal of Advanced Joining Processes*, 11, 100311. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666330925000329> doi: <https://doi.org/10.1016/j.jajp.2025.100311>
- Kah, P. (2021). Chapter 9 - welding safety and training. En P. Kah (Ed.), *Advancements in intelligent gas metal arc welding systems* (p. 353-362). Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012823905600009X> doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823905-6.00009-X>
- Kapp, R. (2005). Molybdenum*. En P. Wexler (Ed.), *Encyclopedia of toxicology (second edition)* (Second Edition ed., p. 145-148). Elsevier. doi: <https://doi.org/10.1016/B0-12-369400-0/00642-6>
- Karlsson, H. L., Cronholm, P., Gustafsson, J., y Möller, L. (2008). Copper oxide nanoparticles are highly toxic: A comparison between metal oxide nanoparticles and carbon nanotubes. *Chemical Research in Toxicology*, 21 (9), 1726-1732. doi: [10.1021/tx800064j](https://doi.org/10.1021/tx800064j)
- Kim, J., Y., L., H., Y., y Bae, S. (2022). Respiratory effects of metal fume exposure in welders: A systematic review and meta-analysis. En (pp. 79(9), 561–570). *Occupational and Environmental Medicine*. doi: <https://doi.org/10.1136/oemed-2021-107984>
- Kwakye, G. F., Paoliello, M. M., Mukhopadhyay, S., Bowman, A. B., y Aschner, M. (2015). Manganese-induced parkinsonism and parkinson's disease: Shared and distinguishable features. *International journal of environmental research and public health*, 6 (7), 7519–7540. Descargado de <https://www.cienciayeducacion.com/index.php/journal/article/view/zenodo.15625308> doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph120707519>
- Leonard, S., Chen, B. T., Stone, S. G., Schwegler-Berry, D., Kenyon, A. J., Frazer, D., y Antonini, J. M. (2010). Comparison of stainless and mild steel welding fumes in generation of reactive oxygen species. *Particle and Fibre Toxicology*, 9, 32. Descargado de https://particleandfibretoxicology.biomedcentral.com/articles/10.1186/1743-8977-7-32?utm_source=chatgpt.com#citeas doi: <https://doi.org/10.1186/1743-8977-7-32>
- Marrugo, D. G., León-Méndez, D., Silva, J. P., Granados-Conde, C., y León-Méndez, G. (2019). Metal fumes: exposure to heavy metals, their relationship with oxidative stress and their effect on health. *Producción+ Limpia*, 14(2), 8–20.
- Marui, T., Tomonaga, T., Izumi, H., Yoshiura, Y., Nishida, C., Higashi, H., . . . Morimoto,

- Y. (2022). Pulmonary toxicity of tungsten trioxide nanoparticles in an inhalation study and an intratracheal instillation study. *Journal of Occupational Health*, 64(1). doi: 10.1002/1348-9585.12367
- Mañas Baena, E., Pérez Rodríguez, E., Pacheco Galván, A., y Gaudó Navarro, J. (2006). Fiebre por humo de metal en un soldador de profesión. *Rev. patol. respir*, 23-25.
- Miettinen, M., Torvela, T., y Leskinen, J. T. T. (2016). Physicochemical characterization of aerosol generated in the gas tungsten arc welding of stainless steel. *ANNALS OF OCCUPATIONAL HYGIENE*, 60 (8), 960-968. doi: 10.1093/annhyg/mew039
- Nicot Hinojosa, A. E. (2022). *Influencia de la temperatura de soldadura en las transformaciones estructurales en el material de un domo de caldera* (Tesis Doctoral no publicada). Tesis en opción al título de Máster en Electromecánica.
- NIH. (2005). *Toxicological profile for tungsten*. U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES.
- NIOSH. (2014). *Copper fume (as cu)*. National Institute for Occupational Safety and Health.
- NIOSH. (2020). *Pocket guide to chemical hazards*. National Institute for Occupational Safety and Health.
- NIOSH. (2025). *Criteria for a recommended standard: Welding, brazing, and thermal cutting*. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).
- Olavarrieta del Castillo, J. (2011). *Riesgos higiénicos existentes en las operaciones de soldadura con arco eléctrico*. Instituto Cántabro de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- OSHA. (2023a). *Copper fume (as cu)*. Occupational Safety and Health Administration.
- OSHA. (2023b). *Permissible exposure limits – annotated tables*. Occupational Safety and Health Administration.
- Pasic, S., y Begić, R. (2006, 05). Chemical analysis of welding fume generated in shielded metal arc welding. En (p. 9).
- Piaún Cabrera, M. C. (2013). *Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la soldadura obtenida con los electrodos e7018 de diferentes marcas utilizados en la industria nacional* (B.S. thesis).
- Pili, S., Isaia Lecca, L., Pedrazzi, T., Ghitti, R., Murru, A., Uras, M., ... De Palma, G. (2024). Exposure assessment to fine and ultrafine particulate matter during welding activity in the maintenance shop of a steelmaking factory. *Heliyon*, 10 (23), e40815. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024168466> doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40815>

- Pourtaghi, G., Kakooei, H., Salem, M., Pourtaghi, F., y Lahmi, M. (2009). Pulmonary effects of occupational exposure to welding fumes. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3 (4), 3291–3296.
- Puello Silva, J., León Méndez, G., Gómez Marrugo, D., Muñoz Monroy, H., y Blanco Herrera, L. (2018). Determinación de metales pesados en humos metálicos presentes en ambientes informales de trabajo dedicados a la soldadura. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 47(1), 14–25.
- Pueyo, A. D., y Valero, J. S. (2015). Efectos sobre la salud de la exposición laboral al cromo y sus compuestos: revisión sistemática. *Archivos de prevención de riesgos laborales*, 18(3), 142–153.
- Rahmani, A. H., Alhorabi, A., Josef, J., y Babiker, A. (2018). Study of work related respiratory symptoms among welding workers. *Asian J Pharm Clin Res*, 11 (2), 97–9.
- Rahul, M., Sivapirakasam, S., Sreejith, M., Vishnu, B., y ijayakumar, K. (2024). Concurrent reduction of the fume and cr (vi) concentrations of inhalable and respirable particle using a new covered stainless-steel smaw electrode. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12 , 14. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111632>Received15March2023;Receivedinrevisedf
- Ramírez Posada, C. A., y Arias, U. (2021). *Propuesta de un modelo de gestión para la prevención de riesgos laborales para los soldadores de un astillero* (Tesis Doctoral no publicada). ESPOL. FIMCP.
- Rutchik, J. S. (2024). Metal neurotoxicity. *MedLink Neurology*. Descargado de <https://www.medlink.com/articles/metal-neurotoxicity>
- Sisler, J. D., Li, R., McKinney, W., Mercer, R. R., Ji, Z., Xia, T., . . . others (2015). Differential pulmonary effects of coo and la2o3 metal oxide nanoparticle responses during aerosolized inhalation in mice. *Particle and Fibre Toxicology*, 13(1), 42.
- Sowards, J., Lippold, J., Dickinson, D., y Ramirez, A. (2008). Characterization of welding fume from smaw electrodes - part i. *Welding Journal (Miami, Fla)*, 87 (4), 106–112. Descargado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-42249110540&partnerID=40&md5=d2e81931ec5b87a162f396331ad2c507>
- Szücs-Somlyó, É., Lehel, J., Májlínger, K., Lőrincz, M., y Kővágó, C. (2023). Metal-oxide inhalation induced fever-immunotoxicological aspects of welding fumes. *Food and Chemical Toxicology*, 175 , 113722.
- Tallkvist, J., y Oskarsson, A. (2015). Chapter 47 - molybdenum. En *Handbook on the toxicology of metals (fourth edition)* (Fourth Edition ed., p. 1077-1089).

- Academic Press. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444594532000470> doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59453-2.00047-0>
- Wagner, R., Siewert, E., Schein, J., Hussary, N., y Jaeckel, S. (2018). Shielding gas influence on emissions in arc welding. *WELDING IN THE WORLD*, 62 (3), 647-652. doi: 10.1007/s40194-018-0573-y
- Yoon, C. S., Paik, N. W., y Kim, J. H. (2003, 11). Fume generation and content of total chromium and hexavalent chromium in flux-cored arc welding. *The Annals of Occupational Hygiene*, 47 (8), 671-680. Descargado de <https://doi.org/10.1093/annhyg/meg063> doi: 10.1093/annhyg/meg063
- Yoon, C. S., Paik, N. W., Kim, J. H., y Chae, H. B. (2009). Total and soluble metal contents in flux-cored arc welding fumes. *Aerosol Science and Technology*, 43 (6), 511–521. doi: 10.1080/02786820902773669
- Yáñez Moreta, G. J., Morales Perrazo, L. A., y Portero Pérez, C. G. (2025). Humos de soldadura y su influencia en la salud de trabajadores metalmecánicos del cantón ambato. *Ciencia y Educación*, 6 (6), 146 - 159. Descargado de <https://www.cienciayeducacion.com/index.php/journal/article/view/zenodo.15625308> doi: 10.5281/zenodo.15625308
- Zhang, M., Jian, L., Bin, P., Xing, M., Lou, J., Cong, L., y Zou, H. (2013). Workplace exposure to nanoparticles from gas metal arc welding process. *Journal of Nanoparticle Research*, 15 (11). Descargado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84892644579&doi=10.1007%2fs11051-013-2016-4&partnerID=40&md5=021ef363ffe31339d2fcf9cc2c44d704> doi: 10.1007/s11051-013-2016-4
- Zimmer, A. T., y Biswas, P. (2001). Characterization of the aerosols resulting from arc welding processes. *Journal of Aerosol Science*, 32 (8), 993-1008. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021850201000350> doi: [https://doi.org/10.1016/S0021-8502\(01\)00035-0](https://doi.org/10.1016/S0021-8502(01)00035-0)

ANEXOS

Anexo A: Protocolo de investigación.

	PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN DE PRESUNCIÓN DE ENFERMEDAD PROFESIONAL		Código: F01-PI- PEP-SST-05
	"CUARAL" SOLUCIONES DE ACERO		Versión: 001
			Fecha Emisión 11-11-2025
I. OBJETIVO			
Establecer el procedimiento técnico y administrativo para la investigación, análisis y calificación de posibles enfermedades profesionales derivadas de la exposición ocupacional a humos metálicos, gases de soldadura u otros agentes químicos, físicos o ambientales presentes en los procesos productivos de la Empresa "Cuara", asegurando el cumplimiento de los criterios establecidos en la Resolución C.D. 513 y la normativa nacional vigente.			
II. ALCANCE			
Este protocolo aplica a todos los trabajadores que desempeñen actividades con potencial exposición a agentes de riesgo ocupacional (humos metálicos, gases oxidantes, ruido, radiación, calor, etc.) dentro de las áreas de soldadura, montaje y fabricación de estructuras metálicas.			
Incluye el proceso desde la detección del caso sospechoso, la evaluación interdisciplinaria (clínica, ocupacional, higiénico-epidemiológica, de laboratorio) y la documentación para calificación ante el IESS o autoridad competente.			
III. REFERENCIA NORMATIVA			
Resolución C.D. 513, Art. 7	Establece el procedimiento para la investigación de enfermedades profesionales, incluyendo la notificación del caso, la evaluación médica ocupacional, el análisis de exposición laboral y la emisión de un dictamen técnico por parte del IESS. Esta norma es clave para la validación oficial de una enfermedad como profesional y para el acceso a prestaciones económicas y médicas.		
Decreto Ejecutivo N° 2393 - N°255	Establece las obligaciones del empleador en cuanto a la implementación de medidas preventivas, la vigilancia de la salud ocupacional, la capacitación en riesgos laborales y la mejora continua de las condiciones de trabajo. En el marco de este protocolo, el decreto sustenta la responsabilidad de CUARAL en la prevención y gestión de enfermedades profesionales.		
IV. DEFINICIONES			
Enfermedad profesional	Son afecciones crónicas, causadas de una manera directa por el ejercicio de la profesión u ocupación que realiza el trabajador y como resultado de la exposición a factores de riesgo, que producen o no incapacidad laboral	Criterio clínico	Identificación de signos y síntomas presentes en el trabajador que son compatibles con la enfermedad profesional sospechada, según la evaluación médica.
Criterio higiénico-epidemiológico	Conjunto de evidencias técnicas, como mediciones o estudios previos, y la identificación de casos similares en el entorno laboral, que permiten establecer una relación causa-efecto entre la exposición a un riesgo y la enfermedad diagnosticada.	Criterio ocupacional	Es la evaluación de las condiciones laborales y la exposición a riesgos en el puesto de trabajo, con el fin de establecer si existe una relación causal entre la actividad desempeñada y una enfermedad diagnosticada.
Criterio de laboratorio	Incluyen los exámenes complementarios: laboratorio clínico, toxicológico, anatómico-patológico, imagenológico, neurofisiológico entre otros, que determinen la presencia y severidad de la enfermedad en estudio	Criterio médico-legal	Se fundamenta en la normativa legal vigente que corrobore que la Enfermedad en estudio se trata de una Enfermedad Profesional
V. RESPONSABLES			
Médico Ocupacional		Técnico o Ingeniero en Seguridad y Salud en el Trabajo	
Liderar el proceso de investigación, emitir el diagnóstico clínico y determinar la compatibilidad entre la patología y la actividad laboral.		Recopilar información sobre la exposición laboral, realizar inspecciones técnicas y elaborar el informe higiénico-ocupacional.	
Jefe de área / Residente de Obra		Delegado de Seguridad / Comité Paritario	
Proporcionar información operativa relevante y facilitar el acceso al puesto de trabajo para la inspección.		Supervisar la correcta aplicación del protocolo y asegurar la participación activa del trabajador en el proceso.	
VI. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO			
6.1. NOTIFICACIÓN DE POSIBLE ENFERMEDAD PROFESIONAL: La notificación es el primer paso del proceso de investigación y tiene como objetivo alertar a los responsables del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) sobre la sospecha de una enfermedad de origen laboral.			
Notificación verbal: Puede realizarse de manera inmediata por cualquiera de los siguientes actores.		Notificación escrita: Se formaliza mediante la elaboración de un informe o comunicación interna, utilizando los formatos establecidos por la empresa o el SG-SST.	
- El trabajador afectado, al manifestar síntomas relacionados con su actividad laboral.	☐	- Resultados de exámenes médicos ocupacionales (ingreso, periódicos, retiro).	☐
- El jefe inmediato, al observar signos o recibir quejas del trabajador	☐	- Autorreporte documentado del trabajador	☐
- El médico ocupacional, durante una evaluación clínica.	☐	- Informes técnicos de SST.	☐
- El técnico de SST, al detectar condiciones de riesgo o síntomas durante inspecciones.	☐	- Recomendaciones del Comité Paritario o del servicio médico externo	☐
Nota: Esta notificación debe ser registrada de forma preliminar y canalizada hacia el médico ocupacional para su valoración inicial.		Nota: La notificación escrita activa formalmente el proceso de investigación y permite la trazabilidad del caso.	

Anexo B: Evaluación de criterios técnicos.

6.2. EVALUACIÓN DE CRITERIOS TÉCNICOS: se define los cinco criterios de diagnóstico que deben cumplirse para calificar una enfermedad como profesional u ocupacional.																																																																																																							
a) CRITERIO CLÍNICO: determinar si el cuadro clínico es compatible con una enfermedad relacionada con el trabajo. Responsable: Médico ocupacional o especialista neumólogo																																																																																																							
Exámenes físicos: deben enfocarse en los sistemas afectados por la exposición laboral, en el caso de exposición a humos metálicos, se recomienda: Sistema respiratorio: - Auscultación pulmonar: ruidos respiratorios anormales (sibilancias, estertores). - Evaluación de frecuencia respiratoria y esfuerzo ventilatorio. - Percusión torácica para detectar consolidaciones. Sistema neurológico: - Pruebas de coordinación, reflejos y fuerza muscular. - Evaluación de sensibilidad periférica. - Estado de conciencia y funciones cognitivas básicas. Sistema general: - Toma de signos vitales: temperatura, presión arterial, frecuencia cardíaca. - Evaluación de mucosas, piel y estado general. Anamnesis: la anamnesis debe ser dirigida y específica, incluyendo: Antecedentes ocupacionales: - Tiempo en el puesto actual. - Tipo de tareas realizadas. - Exposición a agentes químicos, físicos o biológicos. - Uso de equipos de protección personal (EPP). Antecedentes médicos personales y familiares: - Enfermedades respiratorias previas (asma, bronquitis, etc.). - Trastornos neurológicos o hematológicos. - Alergias o sensibilidades conocidas. Síntomas actuales: - Tos, flema, disnea, opresión torácica, fiebre metálica. - Mareos, cefaleas, fatiga, alteraciones del sueño. - Cambios en el estado de ánimo o concentración. Evolución de los síntomas: - Inicio, duración, frecuencia e intensidad. - Relación con la jornada laboral o exposición específica. - Mejoría durante descansos o vacaciones.																																																																																																							
<table><tr><th colspan="3">1. TIPO DE SÍNTOMAS</th><th>2. INTENSIDAD</th><th>3. FRECUENCIA</th><th>4. IMPACTO FUNCIONAL</th><th>CLASIFICACIÓN</th><th>CRITERIO CLÍNICO</th></tr><tr><td rowspan="3">VALORACIÓN DE SIGNOS Y SÍNTOMAS</td><td>Respiratorios</td><td>Neurológicos</td><td>Generales</td><td rowspan="3">☐ Leve: síntomas laborales, no interfiere con la actividad diaria ☐ Moderada: afectan parcialmente el desempeño laboral ☐ Severa: incapacitantes o requieren atención médica urgente ☐ Ocasional: aparición esporádica ☐ Persistente: síntomas constantes o recurrente ☐ Progresiva: aumento gradual en intensidad o frecuencia. ☐ Efecto sobre la capacidad laboral y cotidiana ☐ Dificultad para realizar tareas específicas ☐ Necesidad de pausas o reducción de jornada ☐ Limitación en actividades personales o sociales. ☐ Otros</td><td rowspan="3">☐</td><td>Sospechoso leve</td><td>Síntomas intermitentes, de baja intensidad, sin afectación funcional evidente.</td></tr><tr><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>Sospechoso moderado</td><td>Síntomas persistentes por más de 3 meses, con impacto parcial en la capacidad laboral.</td></tr><tr><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>Probable</td><td>Presencia de síntomas + alteraciones en exámenes complementarios (laboratorio, imagen).</td></tr></table>													1. TIPO DE SÍNTOMAS			2. INTENSIDAD	3. FRECUENCIA	4. IMPACTO FUNCIONAL	CLASIFICACIÓN	CRITERIO CLÍNICO	VALORACIÓN DE SIGNOS Y SÍNTOMAS	Respiratorios	Neurológicos	Generales	☐ Leve: síntomas laborales, no interfiere con la actividad diaria ☐ Moderada: afectan parcialmente el desempeño laboral ☐ Severa: incapacitantes o requieren atención médica urgente ☐ Ocasional: aparición esporádica ☐ Persistente: síntomas constantes o recurrente ☐ Progresiva: aumento gradual en intensidad o frecuencia. ☐ Efecto sobre la capacidad laboral y cotidiana ☐ Dificultad para realizar tareas específicas ☐ Necesidad de pausas o reducción de jornada ☐ Limitación en actividades personales o sociales. ☐ Otros	☐	Sospechoso leve	Síntomas intermitentes, de baja intensidad, sin afectación funcional evidente.	☐	☐	☐	Sospechoso moderado	Síntomas persistentes por más de 3 meses, con impacto parcial en la capacidad laboral.	☐	☐	☐	Probable	Presencia de síntomas + alteraciones en exámenes complementarios (laboratorio, imagen).																																																																	
1. TIPO DE SÍNTOMAS			2. INTENSIDAD	3. FRECUENCIA	4. IMPACTO FUNCIONAL	CLASIFICACIÓN	CRITERIO CLÍNICO																																																																																																
VALORACIÓN DE SIGNOS Y SÍNTOMAS	Respiratorios	Neurológicos	Generales	☐ Leve: síntomas laborales, no interfiere con la actividad diaria ☐ Moderada: afectan parcialmente el desempeño laboral ☐ Severa: incapacitantes o requieren atención médica urgente ☐ Ocasional: aparición esporádica ☐ Persistente: síntomas constantes o recurrente ☐ Progresiva: aumento gradual en intensidad o frecuencia. ☐ Efecto sobre la capacidad laboral y cotidiana ☐ Dificultad para realizar tareas específicas ☐ Necesidad de pausas o reducción de jornada ☐ Limitación en actividades personales o sociales. ☐ Otros	☐	Sospechoso leve	Síntomas intermitentes, de baja intensidad, sin afectación funcional evidente.																																																																																																
	☐	☐	☐			Sospechoso moderado	Síntomas persistentes por más de 3 meses, con impacto parcial en la capacidad laboral.																																																																																																
	☐	☐	☐			Probable	Presencia de síntomas + alteraciones en exámenes complementarios (laboratorio, imagen).																																																																																																
DIAGNOSTICO CLÍNICO PRESUNTIVO DE LAS PATOLOGIAS DEL TRABAJADOR																																																																																																							
<table><tr><th rowspan="2">DIAGNOSTICO(S)</th><th rowspan="2">CODIGO</th><th colspan="3">FECHA DE DIAGNOSTICO</th></tr><tr><th>DÍA</th><th>MES</th><th>AÑO</th></tr><tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>													DIAGNOSTICO(S)	CODIGO	FECHA DE DIAGNOSTICO			DÍA	MES	AÑO	1					2					3					4																																																																			
DIAGNOSTICO(S)	CODIGO	FECHA DE DIAGNOSTICO																																																																																																					
		DÍA	MES	AÑO																																																																																																			
1																																																																																																							
2																																																																																																							
3																																																																																																							
4																																																																																																							
b) CRITERIO OCUPACIONAL: Evalúa la exposición del trabajador a factores de riesgo en su puesto de trabajo. Responsable: Técnico o Ingeniero de Seguridad y Salud en el Trabajo																																																																																																							
FACTORES DE RIESGO ASOCIADOS CON LA(S) ENFERMEDAD(ES)																																																																																																							
¿ EXISTE FACTOR O AGENTE DE RIESGO ASOCIADO CON LA ENFERMEDAD LABORAL? SI ☐ NO ☐																																																																																																							
<table><tr><th rowspan="2">FACTORES DE RIESGO</th><th colspan="2">1. FISICO</th><th>2. BIOLÓGICOS</th><th>3. BIOMECAÑICOS</th><th>4. PSICOSOCIAL</th><th colspan="2">5. QUÍMICO</th><th colspan="2">6. AMBIENTAL</th></tr><tr><td>EXPOSICIÓN AL FRÍO O CALOR</td><td>EFFECTOS DEL ESTADO DEL TIEMPO</td><td>ILUMINACIÓN</td><td>RADIACIONES</td><td>RADIACIONES IONIZANTES</td><td>RADIACIONES NO IONIZANTES</td><td>RUIDO</td><td>VIBRACIONES</td><td>ANIMALES</td><td>VIRUS BACTERIAS HONGOS</td><td>OTROS</td><td>ESFUERZO</td><td>MANIPULACIÓN MANUAL DE CARGAS</td><td>MOVIMIENTOS REPETITIVOS</td><td>POSTURAS</td><td>GESTION ORGANIZACIONAL</td><td>ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO</td><td>CONDICIONES DE LA TAREA</td><td>INTERFASE PERSONA-TAREA</td><td>JORNADA DE TRABAJO</td><td>POLVOS</td><td>HUMOS METÁLICOS</td><td>GASES</td><td>VAPORES</td><td>FIBRAS</td><td>NEBLINAS</td><td>SOLVENTES</td><td>OTROS</td><td>AGUAS RESIDUALES</td><td>DISPOSICIÓN DE BASURAS Y RESIDUOS PELIGROSOS</td><td>EMISIONES AMBIENTALES</td><td>OTRO</td></tr><tr><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td></tr></table>													FACTORES DE RIESGO	1. FISICO		2. BIOLÓGICOS	3. BIOMECAÑICOS	4. PSICOSOCIAL	5. QUÍMICO		6. AMBIENTAL		EXPOSICIÓN AL FRÍO O CALOR	EFFECTOS DEL ESTADO DEL TIEMPO	ILUMINACIÓN	RADIACIONES	RADIACIONES IONIZANTES	RADIACIONES NO IONIZANTES	RUIDO	VIBRACIONES	ANIMALES	VIRUS BACTERIAS HONGOS	OTROS	ESFUERZO	MANIPULACIÓN MANUAL DE CARGAS	MOVIMIENTOS REPETITIVOS	POSTURAS	GESTION ORGANIZACIONAL	ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO	CONDICIONES DE LA TAREA	INTERFASE PERSONA-TAREA	JORNADA DE TRABAJO	POLVOS	HUMOS METÁLICOS	GASES	VAPORES	FIBRAS	NEBLINAS	SOLVENTES	OTROS	AGUAS RESIDUALES	DISPOSICIÓN DE BASURAS Y RESIDUOS PELIGROSOS	EMISIONES AMBIENTALES	OTRO	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐															
FACTORES DE RIESGO	1. FISICO		2. BIOLÓGICOS	3. BIOMECAÑICOS	4. PSICOSOCIAL	5. QUÍMICO		6. AMBIENTAL																																																																																															
	EXPOSICIÓN AL FRÍO O CALOR	EFFECTOS DEL ESTADO DEL TIEMPO	ILUMINACIÓN	RADIACIONES	RADIACIONES IONIZANTES	RADIACIONES NO IONIZANTES	RUIDO	VIBRACIONES	ANIMALES	VIRUS BACTERIAS HONGOS	OTROS	ESFUERZO	MANIPULACIÓN MANUAL DE CARGAS	MOVIMIENTOS REPETITIVOS	POSTURAS	GESTION ORGANIZACIONAL	ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO	CONDICIONES DE LA TAREA	INTERFASE PERSONA-TAREA	JORNADA DE TRABAJO	POLVOS	HUMOS METÁLICOS	GASES	VAPORES	FIBRAS	NEBLINAS	SOLVENTES	OTROS	AGUAS RESIDUALES	DISPOSICIÓN DE BASURAS Y RESIDUOS PELIGROSOS	EMISIONES AMBIENTALES	OTRO																																																																							
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																						
INTENSIDAD DE LA EXPOSICIÓN: Se cuantifica la exposición del trabajador al agente de riesgo																																																																																																							
<table><tr><th rowspan="2">INFORMACIÓN DE LAS TAREAS QUE REALIZA</th><th rowspan="2">DESCRIPCIÓN DE PROCESOS Y TAREAS</th><th rowspan="2">PARÁMETROS / INSUMOS</th><th rowspan="2">ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS / OBSERVACIONES (medios de transmisión y controles existentes)</th><th rowspan="2">No de VECES</th><th rowspan="2">FRECUENCIA</th><th rowspan="2">TIEMPO DE DURACIÓN SEGÚN FRECUENCIA</th><th rowspan="2">TIEMPO ACUMULADO EN LA EMPRESA</th><th colspan="3">PROBABILIDAD EP</th></tr><tr><th>Poco Probable</th><th>Probable</th><th>Muy Probable</th></tr><tr><td rowspan="5">SMAW GMAW FCAW GTAW</td><td rowspan="5">Soldar - temble de cordones Esmerilar Cortar y conformado Ensamblaje y montaje</td><td rowspan="5">Electrodo N°. 1 Alambre sólido: ER70S-6; Gas CO₂ Alambre tubular E71T-1C; Gas CO₂ Electrodo WL15; Gas Ar</td><td rowspan="5"></td><td rowspan="5"></td><td>Diario</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Semanal</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Mensual</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Esporádica</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>N° de horas por actividad / día</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>No de horas por semana</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>No de horas al Año</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Años de labor en la empresa</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Años de experiencia realizando la actividad específica</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>													INFORMACIÓN DE LAS TAREAS QUE REALIZA	DESCRIPCIÓN DE PROCESOS Y TAREAS	PARÁMETROS / INSUMOS	ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS / OBSERVACIONES (medios de transmisión y controles existentes)	No de VECES	FRECUENCIA	TIEMPO DE DURACIÓN SEGÚN FRECUENCIA	TIEMPO ACUMULADO EN LA EMPRESA	PROBABILIDAD EP			Poco Probable	Probable	Muy Probable	SMAW GMAW FCAW GTAW	Soldar - temble de cordones Esmerilar Cortar y conformado Ensamblaje y montaje	Electrodo N°. 1 Alambre sólido: ER70S-6; Gas CO ₂ Alambre tubular E71T-1C; Gas CO ₂ Electrodo WL15; Gas Ar			Diario						Semanal						Mensual						Esporádica						N° de horas por actividad / día						No de horas por semana						No de horas al Año						Años de labor en la empresa						Años de experiencia realizando la actividad específica																							
INFORMACIÓN DE LAS TAREAS QUE REALIZA	DESCRIPCIÓN DE PROCESOS Y TAREAS	PARÁMETROS / INSUMOS	ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS / OBSERVACIONES (medios de transmisión y controles existentes)	No de VECES	FRECUENCIA	TIEMPO DE DURACIÓN SEGÚN FRECUENCIA	TIEMPO ACUMULADO EN LA EMPRESA	PROBABILIDAD EP																																																																																															
								Poco Probable	Probable	Muy Probable																																																																																													
SMAW GMAW FCAW GTAW	Soldar - temble de cordones Esmerilar Cortar y conformado Ensamblaje y montaje	Electrodo N°. 1 Alambre sólido: ER70S-6; Gas CO ₂ Alambre tubular E71T-1C; Gas CO ₂ Electrodo WL15; Gas Ar			Diario																																																																																																		
					Semanal																																																																																																		
					Mensual																																																																																																		
					Esporádica																																																																																																		
					N° de horas por actividad / día																																																																																																		
No de horas por semana																																																																																																							
No de horas al Año																																																																																																							
Años de labor en la empresa																																																																																																							
Años de experiencia realizando la actividad específica																																																																																																							

Anexo C: Condiciones de control.

CONDICIONES DE CONTROL: Se evalúan las medidas preventivas implementadas en el lugar de trabajo: - Ventilación: natural, forzada o localizada. - Controles de ingeniería: cabinas de extracción, sistemas de filtrado, automatización de procesos. - Equipos de protección personal (EPP): tipo, uso adecuado y mantenimiento (respiradores, guantes, gafas). - Capacitación y señalización: formación sobre riesgos y procedimientos seguros.										INSPECCIÓN TÉCNICA: Observación directa de tareas durante una jornada real. -Identificación de puntos de generación de humos (arco, material base, ventilación). -Revisión de ubicación de extractores, corrientes de aire, iluminación. -Verificación del estado y uso del EPP. -Registro fotográfico o croquis del área.									
EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL		ENTREGADO		EN USO		AJUSTE / FIT TEST													
Respirador media cara con filtro P100		SI	NO	SI	NO	C	N/C	N/A	Entrevista al trabajador: duración: 15–20 minutos, estructurada y confidencial. Temas principales: -Tiempo en la empresa y en el oficio de soldadura. -Frecuencia de uso del respirador y mantenimiento. -Síntomas percibidos durante o después de la jornada. -Percepción del proceso más dañino. -Condiciones ambientales (calor, humo, ventilación). -Conocimientos sobre riesgos de humos metálicos.										
Guantes de cuero / Nomex		SI	NO	SI	NO	C	N/C	N/A											
Caretas de soldadura		SI	NO	SI	NO	C	N/C	N/A											
Mandil y mangas		SI	NO	SI	NO	C	N/C	N/A											
Otros:		SI	NO	SI	NO	C	N/C	N/A											
OBSERVACIONES:																			
MUESTREO AMBIENTAL Y ANÁLISIS DE MUESTRAS: Se contrastan los niveles de exposición con estándares de referencia para determinar si la exposición supera los niveles aceptables y representa un riesgo significativo: - TLV (Threshold Limit Values) establecidos por la ACGIH. - Límites permisibles nacionales definidos por la normativa local. - Normas técnicas aplicables (ej. NTP, ISO, OSHA).																			
EXPOSICIÓN	PUNTOS DE MUESTREO	EQUIPOS	MEDICIÓN DE GASES	TIEMPO DE DURACIÓN	ANÁLISIS		CONDICIONES AMBIENTALES												
	Tres por proceso de soldadura: zona personal (≤30 cm del rostro), ventilación y perímetro.	Bombas personales de 1.7–2.0 L/min con filtros de celulosa.	Tubos colorimétricos (Dräger o GASTEC).	Tiempo de exposición Arc-On por jornada laboral	Laboratorios acreditados	Espectrofotometría de absorción atómica (AAS) o espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado (ICP-OES).	PARÁMETRO	RESULTADO	TLV-TWA (ACGIH)	CUMPLE									
							Fe ₂ O ₃		5.0 mg/m ³										
							MnO		0.1 mg/m ³										
							SiO ₂		0.025 mg/m ³										
							CO		25 ppm										
							NO ₂		1 ppm										
	O ₃		0.1 ppm																
¿EL TRABAJADOR HA REALIZADO ACTIVIDADES NO HABITUALES EN SU TRABAJO QUE HAYAN PODIDO OCASIONAR EXPOSICIONES IMPORTANTES ?																			
SI ☐ NO ☐ OBSERVACIONES:																			
c) CRITERIO HIGIÉNICO EPIDEMIOLÓGICO: Comprobar la exposición ambiental y verificar si hay otros casos similares en el área o empresa. Responsable: Técnico o Ingeniero de Seguridad y Salud en el Trabajo																			
CRITERIO HIGIÉNICO: Determinar el agente químico o físico responsable de la exposición laboral que puede estar vinculado con los síntomas o enfermedades observadas en los trabajadores.						CRITERIO EPIDEMIOLÓGICO: Determinar si hay evidencia de que otros trabajadores en condiciones similares presentan síntomas o enfermedades relacionadas con el mismo factor de riesgo.													
a) Identificación del agente causal: -Agente principal: humos metálicos generados durante soldadura por arco (SMAW, GMAW, FCAW, GTAW). -Componentes químicos predominantes: óxidos de hierro (Fe₂O₃, Fe₃O₄), óxidos de manganeso (MnO, Mn₂O₄), sílice amorfa (SiO₂), fluoruros, ozono (O₃), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂). -Vías de ingreso: inhalación de partículas respirables (<1 µm) y gases. -Efectos conocidos: irritación bronquial, bronquitis crónica, fiebre metálica, siderosis pulmonar, alteraciones neurológicas (por manganeso).						a) Recopilación de información: -Historial clínico, sintomatologías: Médico ocupacional. -Registro de ausentismo asociado a sintomatologías respiratorias: Médico ocupacional - Supervisor SST. -Resultados exámenes (espirometrías, radiografías, fichas de control: Médico ocupacional. -Registros de casos previos: Supervisor SST. -Entrevistas y observaciones/Percepción de los trabajadores: Supervisor SST.													
b) Evaluación de condiciones ambientales:						b) Análisis epidemiológico													
Tipo de evaluación	Descripción técnica		Instrumentos o fuentes		Variables		SMAW	GMAW	FCAW	GATW	Conclusión								
Mediciones directas	Cuantificación de partículas metálicas (mg/m ³) y gases (ppm) en el área de soldadura.		Muestreadores personales, bombas de succión, tubos colorimétricos, detectores portátiles.		Total de trabajadores valorados expuestos														
Comparación TLV	Los resultados se contrastan con los valores TLV-TWA de ACGIH		TLV Fe ₂ O ₃ = 5 mg/m ³ ; Mn = 0.1 mg/m ³ ; O ₃ = 0.1 ppm., etc.		Casos con síntomas respiratorios compatibles														
Estudios previos	Informes de tesis o estudios técnicos de procesos similares		Informes, reportes, y demás respaldo técnico		Prevalencia de síntomas														
Observación higiénica	Inspección de ventilación, área, densidad de humo visible, frecuencia de		Informe mensual SST, Listas de chequeo SST, fotografías.		Procesos con mayor reporte sintomatológica														
Control existente	Verificación de control de ingeniería, mantenimiento, implementos de seguridad		Fichas técnicas, registro y reportes		Número de trabajadores calificados con la misma enfermedad														
¿EL TRABAJADOR HA REALIZADO ACTIVIDADES FUERA DE SU TRABAJO QUE HAYAN PODIDO OCASIONAR EXPOSICIONES IMPORTANTES?:																			
SI ☐ NO ☐ OBSERVACIONES:																			

CONDICIONES DE CONTROL: Se evalúan las medidas preventivas implementadas en el lugar de trabajo: - Ventilación: natural, forzada o localizada. - Controles de ingeniería: cabinas de extracción, sistemas de filtrado, automatización de procesos. - Equipos de protección personal (EPP): tipo, uso adecuado y mantenimiento (respiradores, guantes, gafas). - Capacitación y señalización: formación sobre riesgos y procedimientos seguros.										INSPECCIÓN TÉCNICA: Observación directa de tareas durante una jornada real. - Identificación de puntos de generación de humos (arco, material base, ventilación). - Revisión de ubicación de extractores, corrientes de aire, iluminación. - Verificación del estado y uso del EPP. - Registro fotográfico o croquis del área.																																										
EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL			ENTREGADO			EN USO			AJUSTE / FIT TEST			Entrevista al trabajador: duración: 15–20 minutos, estructurada y confidencial. Temas principales: - Tiempo en la empresa y en el oficio de soldadura. - Frecuencia de uso del respirador y mantenimiento. - Síntomas percibidos durante o después de la jornada. - Percepción del proceso más dañino. - Condiciones ambientales (calor, humo, ventilación). - Conocimientos sobre riesgos de humos metálicos.																																								
Respirador media cara con filtro P100			SI			NO			SI													NO			C			N/C			N/A																					
Guantes de cuero / Nomex			SI			NO			SI													NO			C			N/C			N/A																					
Caretas de soldadura			SI			NO			SI													NO			C			N/C			N/A																					
Mandil y mangas			SI			NO			SI													NO			C			N/C			N/A																					
Otros:			SI			NO			SI													NO			C			N/C			N/A																					
OBSERVACIONES:																																																				
MUESTREO AMBIENTAL Y ANÁLISIS DE MUESTRAS: Se contrastan los niveles de exposición con estándares de referencia para determinar si la exposición supera los niveles aceptables y representa un riesgo significativo.: - TLV (Threshold Limit Values) establecidos por la ACGIH. - Límites permisibles nacionales definidos por la normativa local. - Normas técnicas aplicables (ej. NTP, ISO, OSHA).																																																				
EXPOSICIÓN		PUNTOS DE MUESTREO		EQUIPOS		MEDICIÓN DE GASES		TIEMPO DE DURACIÓN		ANÁLISIS		CONDICIONES AMBIENTALES																																								
		Tres por proceso de soldadura: zona personal (≤30 cm del rostro), ventilación y perímetro.		Bombas personales de 1.7–2.0 L/min con filtros de celulosa.		Tubos colorimétricos (Dräger o GASTEC).		Tiempo de exposición Arc-On por jornada laboral		Laboratorios acreditados		Espectrofotometría de absorción atómica (AAS) o espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado (ICP-OES).																																								
												<table border="1"> <thead> <tr> <th>PARÁMETRO</th> <th>RESULTADO</th> <th>TLV-TWA (ACGIH)</th> <th>CUMPLE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fe₂O₃</td> <td></td> <td>5.0 mg/m³</td> <td></td> </tr> <tr> <td>MnO</td> <td></td> <td>0.1 mg/m³</td> <td></td> </tr> <tr> <td>SiO₂</td> <td></td> <td>0.025 mg/m³</td> <td></td> </tr> <tr> <td>CO</td> <td></td> <td>25 ppm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>NO₂</td> <td></td> <td>1 ppm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>O₃</td> <td></td> <td>0.1 ppm</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>													PARÁMETRO	RESULTADO	TLV-TWA (ACGIH)	CUMPLE	Fe ₂ O ₃		5.0 mg/m ³		MnO		0.1 mg/m ³		SiO ₂		0.025 mg/m ³		CO		25 ppm		NO ₂		1 ppm		O ₃		0.1 ppm	
		PARÁMETRO	RESULTADO	TLV-TWA (ACGIH)	CUMPLE																																															
		Fe ₂ O ₃		5.0 mg/m ³																																																
		MnO		0.1 mg/m ³																																																
		SiO ₂		0.025 mg/m ³																																																
CO		25 ppm																																																		
NO ₂		1 ppm																																																		
O ₃		0.1 ppm																																																		
¿ EL TRABAJADOR HA REALIZADO ACTIVIDADES NO HABITUALES EN SU TRABAJO QUE HAYAN PODIDO OCASIONAR EXPOSICIONES IMPORTANTES ?																																																				
SI ☐ NO ☐ OBSERVACIONES:																																																				
c) CRITERIO HIGIÉNICO EPIDEMIOLÓGICO: Comprobar la exposición ambiental y verificar si hay otros casos similares en el área o empresa. Responsable: Técnico o Ingeniero de Seguridad y Salud en el Trabajo																																																				
CRITERIO HIGIÉNICO: Determinar el agente químico o físico responsable de la exposición laboral que puede estar vinculado con los síntomas o enfermedades observadas en los trabajadores.												CRITERIO EPIDEMIOLÓGICO: Determinar si hay evidencia de que otros trabajadores en condiciones similares presentan síntomas o enfermedades relacionadas con el mismo factor de riesgo.																																								
a) Identificación del agente causal: -Agente principal: humos metálicos generados durante soldadura por arco (SMAW, GMAW, FCAW, GTAW). -Componentes químicos predominantes: óxidos de hierro (Fe ₂ O ₃ , Fe ₃ O ₄), óxidos de manganeso (MnO, Mn ₂ O ₄), sílice amorfa (SiO ₂), fluoruros, ozono (O ₃), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO ₂). -Vías de ingreso: inhalación de partículas respirables (<1 µm) y gases. -Efectos conocidos: irritación bronquial, bronquitis crónica, fiebre metálica, siderosis pulmonar, alteraciones neurológicas (por manganeso).												a) Recopilación de información: -Historial clínico, sintomatologías: Médico ocupacional. -Registro de ausentismo asociado a sintomatologías respiratorias: Médico ocupacional - Supervisor SST. -Resultados exámenes (espirometrías, radiografías, fichas de control: Médico ocupacional. -Registros de casos previos: Supervisor SST. -Entrevistas y observaciones/Percepción de los trabajadores: Supervisor SST.																																								
b) Evaluación de condiciones ambientales:												b) Análisis epidemiológico																																								
Tipo de evaluación		Descripción técnica				Instrumentos o fuentes						Variables		SMAW		GMAW		FCAW		GATW		Conclusión																														
Mediciones directas		Cuantificación de partículas metálicas (mg/m ³) y gases (ppm) en el área de soldadura.				Muestreadores personales, bombas de succión, tubos colorimétricos, detectores portátiles.						Total de trabajadores valorados expuestos																																								
Comparación TLV		Los resultados se contrastan con los valores TLV-TWA de ACGIH.				TLV Fe ₂ O ₃ = 5 mg/m ³ , Mn = 0.1 mg/m ³ , O ₃ = 0.1 ppm., etc.						Casos con síntomas respiratorios compatibles																																								
Estudios previos		Informes de tesis o estudios técnicos de procesos similares				Informes, reportes, y demás respaldo técnico						Prevalencia de síntomas																																								
Observación higiénica		Inspección de ventilación, área, densidad de humo visible, frecuencia de				Informe mensual SST, Listas de chequeo SST, fotografías.						Procesos con mayor reporte sintomatológica																																								
Control existente		Verificación de control de ingeniería, mantenimiento, implementos de seguridad				Fichas técnicas, registro y reportes						Número de trabajadores calificados con la misma enfermedad																																								
¿ EL TRABAJADOR HA REALIZADO ACTIVIDADES FUERA DE SU TRABAJO QUE HAYAN PODIDO OCASIONAR EXPOSICIONES IMPORTANTES?:																																																				
SI ☐ NO ☐ OBSERVACIONES:																																																				

d) CRITERIO LABORATORIO: Comprobar mediante pruebas clínicas, toxicológicas e imagenológicas que el trabajador presenta alteraciones fisiológicas compatibles con una enfermedad respiratoria de origen laboral, descartando causas ajenas al trabajo. **Responsable:** Laboratorio Clínico - Médico especialista

ETAPA DEL PROCESO	DESCRIPCIÓN TÉCNICA	RESPONSABLE	FECHA DE REALIZACIÓN		
			día	mes	año
1. SOLICITUD MÉDICA	El médico ocupacional o neumólogo solicita exámenes específicos según los síntomas y el riesgo químico identificado (humos metálicos).	Médico ocupacional			
2. REALIZACIÓN DE PRUEBAS	Se realizan exámenes clínicos, funcionales, toxicológicos e imagenológicos en laboratorio o centro acreditado.	Laboratorio clínico			
3. INTERPRETACIÓN RESULTADOS	Los resultados se comparan con valores normales y con estándares ocupacionales (ACGH, OMS, ATS)	Médico ocupacional / Especialista			
4. CORRELACIÓN	Se relación de las alteraciones detectadas con el tipo de agente y tiempo de exposición.	Equipo interdisciplinario (Médico+SST)			
5. REGISTRO Y CUSTODIA	Anexar los resultados a la historia clínica ocupacional	Talento humano / SST			

EXÁMENES SUGERIDOS

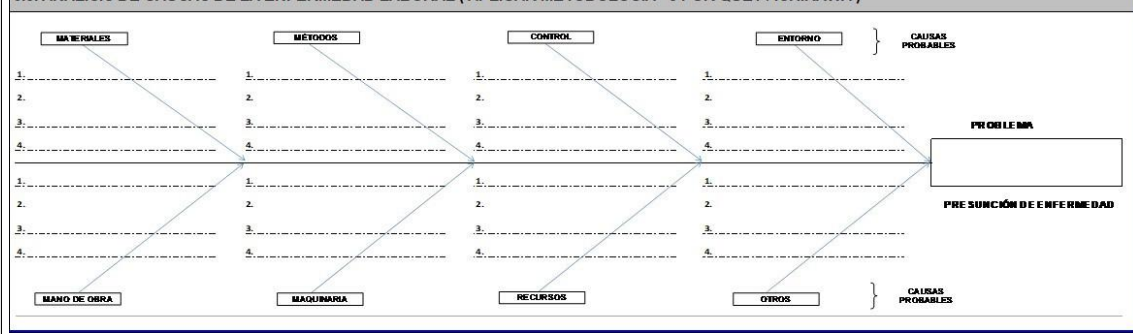
Exámenes clínicos funcionales (respiratorios)		Exámenes imagenológicos		Exámenes de laboratorio clínico y toxicológico	
Espirometría ocupacional	Obstrucción de vías aéreas; compatible con bronquitis o exposición crónica a humos metálicos.	Radiografía de tórax (PA y lateral)	Evaluar inflamación o daño pulmonar estructural, compatible con bronquitis crónica o siderosis.	Hemograma completo	Indicios de respuesta inflamatoria o exposición crónica.
Oximetría de pulso / Gasometría arterial (si aplica)	Hipoxemia leve o alteración de intercambio gaseoso si hay daño pulmonar.	Tomografía computarizada (TCAR)	Profundizar diagnóstico en casos con alteración funcional persistente.	Ferritina sérica / Hierro sérico	Valores elevados persistentes pueden indicar absorción sistémica de hierro
Prueba de difusión de CO (DLCO)	Reducción indica alteración alveolo-capilar por partículas metálicas finas			Manganeso en sangre u orina (si aplica)	Niveles >12 µg/L sugieren exposición significativa (controlar neurotoxicidad).
FRECUENCIA Y SEGUIMIENTO					
TIPO DE TRABAJADOR	FRECUENCIA DE CONTROL	EXÁMEN PRIORITARIO			
Personal nuevo / pre-ocupacional	Ingreso	Espirometría basal, radiografía de tórax.			
Personal expuesto (soldadores)	Anual	Espirometría, Rx, hemograma, ferritina.			
Personal con síntomas respiratorios	Inmediato	Espirometría, PCR, Mn en sangre, TCAR si hay alteración.			
Post-ocupacional / egreso	Egreso - salida	Espirometría y Rx comparativa.			

e) CRITERIO MÉDICO LEGAL: determinar si cumple con las condiciones para ser calificada oficialmente como enfermedad profesional por la autoridad competente (IESS, ARL). **Responsable:** Médico ocupacional con apoyo Técnico o Ingeniero de Seguridad y Salud en el Trabajo

INFORMACION RECOLECTADA

1. VERIFICACIÓN DE LISTADO OFICIAL (Resolución C.D. 513)	3. ANÁLISIS DE CAUSALIDAD - EXCLUSIÓN
Confirmar que la enfermedad diagnosticada está contemplada en el listado oficial de enfermedades profesionales de la Resolución C.D. 513, o que existe literatura científica suficiente que respalde la relación entre el agente causal y la enfermedad. PROCESO: -Revisar el Anexo 1 de la Resolución C.D. 513 (tabla de enfermedades profesionales). -Verificar que el agente causal esté asociado al proceso de soldadura (por ejemplo, humos metálicos, gases irritantes, ozono, etc.). -Registrar la coincidencia	Demstrar que la enfermedad no se debe predominantemente a factores personales o extra-laborales, como hábitos, enfermedades preexistentes o exposición fuera del trabajo. PROCESO: -Revisar la historia clínica general y ocupacional del trabajador. - Análisis hábitos personales: - Consumo de tabaco (cuantificar en paquetes/año). - Actividades secundarias (pintura, metalurgia, hobbies con exposición). - Si el factor extra-laboral existe, se evalúa su peso relativo: -Exposición laboral es continua, significativa y con más de 5 años, se considera el factor determinante. -Extra-laboral esporádica, se clasifica como factor contribuyente, no causal.
2. VERIFICACIÓN DE LA EXPOSICIÓN	4. EMISIÓN DE INFORME FINAL MÉDICO - LEGAL
Confirmar que existe evidencia técnica escrita que demuestre la exposición laboral del trabajador al agente causal. REVISAR: -Fichas de exposición y análisis de puesto. -Registros de horas de soldadura, procesos y materiales utilizados. -Medición ambiental o estimación técnica de humos metálicos y gases.	Contenido del informe: - Datos generales del trabajador (identificación, cargo, antigüedad). - Diagnóstico médico y CE-10. - Descripción del agente causal y exposición. - Resumen de cumplimiento de los 5 criterios. - Conclusión médico-legal. - Recomendación final: - Caso calificable como enfermedad profesional probable. - Requiere confirmación ante IESS / ARL. - Firmas / Anexos

6.3. ANÁLISIS DE CAUSAS DE LA ENFERMEDAD LABORAL (APLICAR METODOLOGÍA - 5 POR QUÉ? / ISHIKAWA)



6.4. ANÁLISIS DE CAUSALIDAD																
DESCRIPCIÓN DE CAUSAS INMEDIATAS										DESCRIPCIÓN DE CAUSAS BÁSICAS						
ACTOS SUBESTÁNDAR										FACTORES PERSONALES						
CONDICIONES SUBESTÁNDAR										FACTORES DEL TRABAJO						
VII. MEDIDAS DE INTERVENCIÓN PREVENTIVAS Y/O CORRECTIVAS																
No	TIPO DE CONTROL				MEDIDAS CORRECTIVAS A APLICAR								DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	FECHA EJECUCIÓN	RESPONSABLE	FECHA VERIFICACIÓN
	ELIMINACIÓN	SUSTITUCIÓN	CONTROL DE INGENIERÍA	CONTROL ADMINISTRATIVO	PREVENCIÓN EN EL ORIGEN	EVALUACIÓN ESPECÍFICA DEL RIESGO	ORGANIZACIÓN DEL PUESTO DE TRABAJO	PROTECCIÓN COLECTIVA	PROTECCIÓN INDIVIDUAL	FORMACIÓN/INFORMACIÓN	VIGILANCIA SANITARIA ESPECÍFICA DE SALUD	OTRAS ACCIONES PARA MEJORAR LA GESTIÓN				
1																
2																
3																
4																
Eliminación; Sustitución; Controles de Ingeniería; Controles Administrativos, señalización, advertencia; Equipos/elementos de Protección Individual																
VIII. SEGUIMIENTO A LAS ACCIONES PREVENTIVAS Y/O CORRECTIVAS																
SEGUIMIENTO												RESPONSABLE		FIRMA		
1																
2																
3																
IX. PERSONAS ENTREVISTADAS																
NOMBRE										N° CÉDULA		CARGO		FIRMA		
X. REGISTRO Y CIERRE - EQUIPO INVESTIGADOR																
Este protocolo garantiza que toda investigación de presunción de enfermedad profesional en la empresa "Cuaral" cumpla con los cinco criterios de calificación definidos en la Resolución C.D. 513, y su aplicación asegura un proceso técnico, trazable y auditable, fortaleciendo el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional de la empresa y contribuye a la prevención de enfermedades respiratorias en el personal de soldadura y afines.																
REGISTRO Y CUSTODIA DE LA INFORMACIÓN -Todos los informes, fichas y evidencias generadas se anexarán a la Historia Clínica Ocupacional. -El responsable del archivo SST conservará los documentos por un período mínimo de 5 años. -El acceso a la información será confidencial y limitado al equipo investigador.										CIERRE DEL CASO -El equipo investigador elaborará el informe final de cierre del caso, firmado por todos los responsables. -El supervisor de SST y el Representante legal revisarán el informe y establecerá las acciones correctivas o preventivas correspondientes, y elaborará un acta de cierre de caso.						
EQUIPO INVESTIGADOR		NOMBRE				N° CÉDULA		CARGO		FIRMA						
MÉDICO OCUPACIONAL																
REPRESENTANTE LEGAL																
SUPERVISOR / TÉCNICO SST																
DELEGADO DE SEGURIDAD																
TÉCNICO ENCARGADO / RESIDENTE OBRA																
ESTE REGISTRO HACE PARTE DE LA HISTORIA CLÍNICA OCUPACIONAL DEL TRABAJADOR Y SE MANTENDRÁ DISPONIBLE PARA PROCESOS DE VERIFICACIÓN TÉCNICA Y JURÍDICA, LA FIRMA DE ESTA POR PARTE DEL TRABAJADOR HACE PARTE DE SU AUTORIZACIÓN.																
FECHA DE LA INVESTIGACIÓN						DÍA	MES	AÑO								
FECHA DE DIVULGACIÓN DE LA LECCIÓN APRENDIDA						DÍA	MES	AÑO								
FECHA DE ENVÍO - REPORTE IEES						DÍA	MES	AÑO								