



MARE INGENII

INGENIERÍAS



Ingeniería en Salud y Seguridad para el Trabajo (SST)

Efectos a la salud por exposición a partículas ultrafinas generadas en los procesos de soldadura

Health effects for ultrafine particles exposition generated in welding processes

Cesar Alejandro García Molano¹; José Miller González Merchán²; Luisa Fernanda Gil Arciniegas³.

¹Licenciado en química, especialista en análisis químico instrumental. Fundación Universitaria San Mateo. Correo electrónico: calejandrogarcia@sanmateo.edu.co

²Estudiante Ingeniería en seguridad y salud para el trabajo. Fundación Universitaria San Mateo. Correo electrónico: jmillergonzales@sanmateo.edu.co

³Estudiante Ingeniería en seguridad y salud para el trabajo. Fundación Universitaria San Mateo. Correo electrónico: lfernandagil@sanmateo.edu.co

Como citar: García Molano, C; González Merchán, J; Gil Arciniegas. 2019. Efectos a la salud por exposición a partículas ultrafinas generadas en los procesos de soldadura. *Mare Ingenii. Ingenierías 1(1)*. Disponible en <http://cipres.sanmateo.edu.co/index.php/mi>

Recibido: Junio 27 de 2019

Aceptado: Agosto 10 de 2019

RESUMEN

La soldadura es una técnica donde se unen piezas metálicas a altas temperaturas, es ampliamente utilizado en diversos sectores industriales. Además, se liberan humos metálicos donde se suspenden partículas ultrafinas (PUF) las cuales tiene un diámetro menor a 100 nm. En el siguiente artículo de revisión se describen los efectos a la salud en soldadores por exposición a PUF. Se realiza una búsqueda en bases de datos sobre la salud ocupacional, atendiendo criterios de inclusión y uso de descriptores. Cuando los metales se funden, los vapores liberados se oxidan y al condensarse forman partículas sólidas. La concentración de las PUF aumenta y su diámetro va disminuyendo. Su toxicidad depende de características físicas y

químicas; su composición elemental obedece a la técnica de soldadura empleada. Por su tamaño, las PUF ingresan preferencialmente por vía inhalatoria, llegan a la sangre y afectan órganos internos. Se han asociado enfermedades en el sistema respiratorio, nervioso, reproductor e inmunológico. En Colombia no existen investigaciones sobre la exposición a PUF en labores de soldadura, pero si hay recomendaciones preventivas generales para esta población. Es importante establecer metodologías de vigilancia médica y epidemiológica con el fin de reducir el riesgo de adquisición de patologías por exposición a PUF.

Palabras Clave: nanopartículas; soldadura; enfermedad; toxicidad; partículas ultrafinas.

ABSTRACT

The welding is a technique where it is put metal pieces through high temperature; it is widely used in many industrial sectors. Besides, it is liberate metal smokes where it is suspended ultrafine particles (UFP), which have a diameter less than 100 nm. In the present review it is describe the health effects in welders for UFP exposition. It is realize a search in databases about the occupational heath, attending to inclusion criteria and descriptors uses. When metals are casting, the steamers liberated oxidize and, when it is condense, it is form solid particles. The UFP concentration increases and its diameter decreases. Its toxicity depends on the physical and chemical characteristics; its elemental composition obeys to the welding technique used. Due to its size, the UFP gets into inhalation route; it arrives to the blood and affects internal organs. It has been associated illnesses in the respiratory, nervous, reproductive and in the immune systems. In Colombia does not exists researches about the UFP exposition in welding works, but there are general preventive recommendations for this populations. It is important to establish medical and epidemiological surveillance methodologies with the final purpose of reduce the risk of pathologies acquisition through UFP exposition.

Keywords: nanoparticles; welding; illness; toxicity; ultrafine particles.

INTRODUCCIÓN

La soldadura es un proceso en el cual se unen dos o más piezas metálicas por medio de la aplicación de calor y presión. Usualmente se utiliza un material de aporte el cual forma una solución líquida de metal fundido que al enfriarse da como producto la unión fija de las piezas. La soldadura ha sido empleada a lo largo de la historia en varios sectores industriales. Su uso es más frecuente radica en el fácil manejo y bajo costo, debido al crecimiento industrial y su utilidad. Las altas temperaturas utilizadas en la soldadura promueven la generación de diversos contaminantes, entre ellas, las partículas ultrafinas (PUF) [1]. Las PUF son partículas microscópicas que, por sus características físicas y químicas, son perjudiciales para la salud de quienes están expuestos.

Las PUF suspendidas en el humo de soldadura ingresan vía inhalatoria y, por su tamaño, llegan a la sangre. Se han evidenciado la aparición de enfermedades en trabajadores expuestos.

Un estudio indico que durante la utilización de soldadura de fricción de aluminio se produjeron efectos tóxicos a corto y largo plazo, especialmente en operaciones industriales a gran escala [2].

Los soldadores tienen un 40% más de posibilidades de desarrollar cáncer de pulmón que cualquier persona que fume [3], la Asociación de Especialistas en Prevención y Salud Laboral (AEPSAL) manifestó que un trabajador que labore con soldadura de arco sin protección respiratoria corre el riesgo de inhalar hasta 0,5 gramos (g) de partículas venenosas durante un turno de trabajo de ocho horas. La intoxicación llegaría a ser de 100g al año, lo que representaría hasta 2,5 kilogramos (kg) en 25 años.

En la actualidad, en países como Colombia, no se han realizado estudios específicos donde se evidencien los efectos adversos a la salud que se originan por exposición a humos de soldadura. Países como Inglaterra y Gales consistentemente han demostrado que los soldadores tienen una mayor mortalidad por neumonía a causa de la exposición a estos contaminantes.

El objetivo de este artículo es, mediante una revisión bibliográfica, describir las enfermedades originadas por la exposición a PUF liberadas en diferentes procesos de soldadura. Esto, debido a que diferentes estudios dan evidencia del perjuicio de estos materiales, con propiedades químicas y físicas específicas. Así, se hace necesario implementar estrategias de prevención para evitar la aparición de patologías en la población expuesta.

Para esto, se realiza una búsqueda en bases de datos cuyas publicaciones estén asociadas a temas de medicina y salud ocupacional. Entre las que se seleccionaron están Scielo, PubMed, Medline y ScienceDirect. Los siguientes descriptores son utilizados para el presente artículo: partículas ultrafinas, soldadura, enfermedades soldadura, partículas ultrafinas en soldadura y enfermedades y partículas ultrafinas. Los criterios de exclusión establecidos son: artículos escritos en los últimos cinco años, artículos nacionales e internacional, así como artículos con enfoque en salud ocupacional.

• Generalidades

Las nanopartículas originalmente fueron empleadas por artesanos de la antigua Mesopotamia con el fin de producir efectos resplandecientes en utilería y cerámica [4]. The National Nanotechnology Initiative (NNI) define a las nanopartículas como partículas microscópicas suspendidas en el aire cuyas dimen-

siones son menores a los 100 nm de diámetro [5]. Dentro de sus características físicas se destacan: gran tamaño de área superficial, concentración masiva, higroscopicidad y los efectos radiactivos; además forman compuestos de carbono y materiales derivados del azufre y de nitrógeno [6].

Las nanopartículas pueden convertirse en sustancias tóxicas a partir de una inerte, conservando la misma composición química, pero mostrando interacciones muy distintas con los fluidos biológicos y con células [7]. Las nanopartículas son aquellas que se producen intencionalmente con algún fin específico y las PUF son aquellas que se producen de forma natural en procesos o ambientes laborales (altas temperaturas, combustión, humos, motores, soldadura, etc.) [8].

Al igual que las nanopartículas, las PUF han sido utilizadas a través de la historia. Sin embargo, solo hasta la década de los 90, España empezó la preocupación debido a la extracción de lodos tóxicos del vertido, del accidente ocurrido en Aznalcóllar al Norte del Parque Natural de Doñana, donde se incrementó la ocurrencia de enfermedades cardiovasculares y respiratorias [9]. Las PUF generalmente se producen a partir de procesos de combustión en los que las partículas pueden ser extremadamente pequeñas, mucho más pequeñas que las partículas en oficios polvorientos [10].

Estas partículas se caracterizan por una diversa composición química que determina su toxicidad. Para determinarla se deben caracterizar las dimensiones, la forma y la composición química, ya sea hierro (Fe), manganeso (Mn), cromo (Cr), níquel (Ni) y silicio (Si). Los humos de soldadura contienen partículas esféricas, irregulares y aglomerados; entre estos se encuentran polvos en fracciones inhalables y respirables. Estos se caracterizan por formas diferenciadas en forma porosa con bordes afilados o curvas irregulares, semejantes a cristales y a formas esféricas llamadas esférulas con una superficie lisa u ondulatoria [11].

Por otro lado, la soldadura es uno de los procesos productivos donde más se generan PUF por la formación de una alta concentración de humos metálicos [12]. Entre estos encontramos dióxido de carbono, argón, monóxido de carbono, ozono, cloruro de hidrógeno, óxido de hierro, óxido de zinc y cromo [13]. Estos humos se originan mediante un fuerte calentamiento y fricción de los metales a altas temperaturas. Al ser inhalados producen afectaciones para salud, las cuales pueden variar dependiendo de condiciones laborales y del

trabajo, la clase de soldadura, los materiales a soldar, los tiempos de exposición y el flujo de aire en el área de trabajo. Se estima que la industria de la soldadura emite 5000 toneladas de humo al año.

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) clasificó el humo de soldadura como posiblemente carcinogénico para humanos (Grupo 2B). La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) aún no ha establecido un límite de exposición permisible específicamente para humos de soldadura. El Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) de Estados Unidos considera que el humo de soldadura es un posible carcinógeno ocupacional y recomienda una reducción en la exposición al humo de soldadura al nivel más bajo posible. Además, la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH) ha retirado actualmente el valor límite de umbral para polvo total de 5mg. En Alemania, el Ministerio Federal de Trabajo y Afiliaciones Sociales ha establecido un límite de exposición ocupacional (OEL) de 3 m inhalable (10 mg³) y respirable (3 mgm³) de material particulado que también se aplica para soldadura [13].

FORMACIÓN DE PUF EN PROCESOS DE SOLDADURA

Con la aparición de nuevos tipos de procedimientos de soldadura y nuevos consumibles, el número de soldadores expuestos a los humos de soldadura crece constantemente, a pesar de la mecanización y la automatización de los procesos. Día a día se incrementa el uso de soldadura en el mundo, se estima que, en la actualidad, entre el 1 y el 2% de los trabajadores de distintos ámbitos profesionales (lo que supone más de 3 millones de personas) están sometidos a humos de soldadura [15].

Del mismo modo, aumentan los diferentes tipos de procedimientos de soldadura y nuevos campos de aplicación. Debido a esto, crece la preocupación por los efectos adversos para la salud y medio ambiente y se empiezan a realizar estudios epidemiológicos para aplicar nuevas medidas de protección. Diariamente, los soldadores están expuestos a un complejo aerosol de gases (por ejemplo, el monóxido de carbono y el ozono) y a humos metálicos peligrosos compuestos por aglomerados de partículas de tipo cadena con un tamaño primario en el rango de tamaño del nanómetro (16).

La soldadura requiere del empleo de altas temperaturas. Durante este proceso los materiales soldados se derriten, los vapores metálicos producidos se oxidan y, después de un proceso de condensación, se produce la formación de partículas sólidas. Transcurridos cuarenta segundos de haberse empezado a soldar, las PUF empiezan a aumentar exponencialmente de 7% a 60%, simultáneamente su diámetro disminuye de 60 nm a 18 nm y, a medida que van reduciendo su diámetro, se hace más fácil su ingreso a las vías respiratorias [17].

A partir de las propiedades intrínsecas de las PUF, y factores tales como la composición del humo, la concentración de varios metales, la solubilidad de cada componente, la distribución del tamaño de partícula, entre otros, se hace una aproximación de

los efectos sobre la salud causados por los humos de soldadura [18]. Muchos de estos factores dependen de las propiedades específicas del sitio que van desde la temperatura, la humedad y el intercambio de aire, hasta el método de soldadura, los consumibles de soldadura, el voltaje y la velocidad del cable [19]. Las concentraciones de partículas en el aire varían debido a que dichos parámetros de soldadura afectan la generación de humos hasta cierto punto. Los métodos industriales más comunes son soldadura de arco metálico blindado (SMAW), soldadura de arco de metal de gas (GMAW) y arco de núcleo de flujo [18]. En la tabla 1 se exponen algunos tipos de soldadura y algunas características del proceso de producción de humos de soldadura y generación de contaminantes presentes en dichos humos:

Tabla 1. Tipos de soldadura y características. Datos obtenidos en [20] Fuente: elaboración propia.

Tipo de soldadura	Características
Arco	<p>Los principales agentes de riesgo higiénico encontrados son el fierro, manganeso y sílice.</p> <p>La principal morfología de las nanopartículas es de carácter esférica de tamaños < 100 nm y presentan aglomerados irregulares. Podrían encontrarse algunas estructuras cristalinas con morfología regular (hexagonales) y de tamaño inferior a 20 nm.</p> <p>El aluminio encontrado en las muestras a escala micro- y submicrométrica no se encuentra a escala nano. Posiblemente es un elemento residual en el ambiente producto de otros procesos de soldadura.</p>
MIG/TIG	<p>Principales metales presentes en los humos son hierro y manganeso, con baja presencia de cobre. Estos metales contienen partículas submicrométricas.</p>
Ar+CO ₂	<p>La cantidad de PUF depende de la distancia al frente de soldadura, así como de los principales parámetros de la soldadura, a saber: la intensidad de la corriente y el aporte térmico durante el proceso.</p> <p>La emisión de PUF en suspensión aumenta con la intensidad de la corriente, al igual que la tasa de formación de humo con un mayor contenido de CO₂.</p>
Acero inoxidable	<p>Las PUF son también esféricas y amorfas, aglomeradas con dimensiones de entre 10 y 40 nm. Se sometió a las partículas a análisis donde se detectó hierro, cromo y níquel.</p>

ENFERMEDADES ORIGINADAS POR EXPOSICIÓN A PUF

Los humos de soldadura están compuestos por partículas microscópicas de diferentes metales que se condensan y pueden estar suspendidas por mucho tiempo en el aire. Su pequeño tamaño hace que puedan ingresar fácilmente al sistema respiratorio, incluso puede alcanzar el torrente sanguíneo que afecta a los órganos internos y es posible que puedan penetrar en el cerebro [21].

El efecto a la salud depende de los componentes de las partículas presentes en el humo y la cantidad que es absorbida por el trabajador. Algunos de estos efectos se presentan de manera inmediata y pueden ocurrir en corto plazo, con efectos agudos. Igualmente, un trabajador puede verse expuesto a enfermedades crónicas las cuales pueden ser de larga duración y, por lo general, de progresión lenta.

La toxicidad de las PUF depende tanto de su composición química como de la capacidad de penetrar y acumularse en los pulmones. Su ingreso y la deposición en las regiones del sistema respiratorio están determinadas principalmente por el tamaño de las partículas [22]. Las PUF son extremadamente pequeñas en comparación con las estructuras celulares y tienen un área de superficie alta por unidad de masa. Las PUF forman agregados y se alojan con más facilidad en los pulmones, generando fenómenos de estrés oxidativo y cambios en los niveles de calcio en los macrófagos y células epiteliales (promoción de mecanismos inflamatorios). Mediante la aspiración, llegan a las porciones más profundas del sistema respiratorio, alcanzando el torrente sanguíneo, distribuyéndose por todo el organismo y originando deterioros progresivos en diferentes órganos como estómago, riñones, corazón, hígado, huesos y sistema nervioso [23].

Un panel científico reportó un aumento en severidad, frecuencia y duración de las afecciones del tracto respiratorio superior e inferior entre los soldadores. Entre estas afecciones se destaca la inflamación pulmonar que comienza con la nasofaringe y el oro faringe que conlleva a formación de un edema pulmonar. Este se manifiesta como la acumulación anormal de líquido en los pulmones lo cual origina dificultad respiratoria y una serie de síntomas como hemorragias nasales, tos y la hiperreactividad bronquial; además de una acción irritante inmediata sobre ojos, nariz y garganta.

Uno de los trastornos agudos más comunes que sufren los soldadores es la fiebre del soldador o fiebre de los metales que se caracteriza por fuertes temblores y síntomas similares a los de la gripe que se presentan durante la noche posterior a la exposición. De la neumoconiosis benigna la más común se origina por exposición a la soldadura más conocida como siderosis (neumoconiosis de los soldadores) producida por la inhalación y depósito pulmonar de polvo o humos metálicos y óxido de hierro.

Esta enfermedad se desarrolla en la trasfusión del hierro y en los procesos de soldado que liberan finas partículas de óxido ferroso el cual es rápidamente oxidado y se transforma en óxido férrico. En algunos casos se presentan enfermedades graves como es la fibrosis pulmonar causada por el berilio. Esta afección hace que el tejido profundo de sus pulmones se vaya cicatrizando de modo que se vuelve grueso y duro, provocando dificultad para recuperar el aliento y causando que la sangre no reciba suficiente oxígeno.

En la mayoría de procesos de soldadura se emite radiaciones y humos que, al ser inhalados, pueden llegar al sistema respiratorio por medio de los alveolos, ocasionando que los soldadores estén más propensos a sufrir cáncer de pulmón. Según los expertos de IARC, la exposición a los humos de soldadura también podría estar implicada en la aparición de cáncer de riñón [24]. Igualmente, existe una preocupación creciente por la exposición ocupacional a humos de soldadura que puede estar asociada con el desarrollo de trastornos neurológicos, psicológicos y psiquiátricos que tienen la enfermedad de Parkinson [25].

Las sustancias químicas, que genera el humo de soldadura, son factores capaces de promover el desarrollo de lesiones premalignas [26]. Asimismo, en las investigaciones realizadas para describir las lesiones celulares, producidas por exposición a la soldadura muestran cómo se pueden ver los daños a nivel celular debido a que se retardan durante la división mitótica y aparecen en el citoplasma de las células hijas como pequeños núcleos adicionales cercanos al núcleo principal. Esto provoca rupturas de doble cadena de ADN o inductoras de pérdidas de cromosomas enteros [27].

Durante la última década se han realizado estudios exploratorios de higiene industrial en ambientes de trabajo donde se producen o utilizan nanopartículas y PUF, entre estas, las producidas en los humos de soldadura. Entre estos estudios se destacan los siguientes casos:

Primero, en una fábrica en Chía Colombia se presenta un cuadro clínico de un paciente de 34 años con tos seca de cuatro meses de evolución, con expectoración hialina esporádica, disnea leve, sibilancias ocasionales y sudoración nocturna. Como antecedente, identifica que se desempeña como soldador con óxido de estaño durante aproximadamente ocho años y los antecedentes de afecciones respiratorias eran negativos. Sus signos vitales normales y no se encontraron hallazgos semiológicos patológicos al examen del sistema pulmonar y físico en general [28].

Segundo, en una fábrica de aluminio se toma una muestra pulmonar a 21 trabajadores. Además, se realiza un cuestionario en el trabajo a fondo, para tener conocimiento de factores de exposición. En soldadores, se observa una sobrecarga significativa de hierro (Fe), manganeso (Mn), cromo (Cr) esencialmente y, en menor medida, para el titanio (Ti), en comparación con los pacientes de control. Estas PUF presentan una forma esférica y un diámetro central alrededor de 20 - 25 nm. La naturaleza química del complejo PUF- óxido de metal en los pulmones de los soldadores son, principalmente Fe, Cr y / o Mn (y el aluminio (Al), silicio (Si), y níquel (Ni) en menor medida). Así, se investiga la consecuencia de un efecto autocrino de secretoma macrófagos en la capacidad de migración de estas células [29].

Tercero, se realiza un estudio en la construcción del nuevo puente de la bahía de (San Francisco) donde se realizan trabajos de soldadura por dos años con mínima protección y mala ventilación. A 43 trabajadores se les realizan exámenes neurológicos, neuropsicológicos, neurofisiológicos y exámenes pulmonares. Se seleccionan los casos clínicos sobre la base de la prioridad de criterios relativos a la historia y a las características neurológicas y neuropsicológicas. Entre los 43 de los casos, 11 casos presentan los siguientes síntomas: alteraciones del sueño, cambios de humor, bradicinesia, dolores de cabeza, disfunción sexual, pérdida de olfato, rigidez muscular, temblores, alucinaciones, trastornos del habla, inestabilidad postural, voz monótona y faciales enmascaramiento [30].

Por último, la siguiente tabla evidencia las enfermedades originadas por la soldadura, objeto de estudio en el US National Library of Medicine en el National Institutes of Health (NIH) [31].

Tabla 2 Enfermedades que han sido objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia, 2018.

Proceso actividad en la que origina	Sistema afectado	Enfermedad detectada
Soldadura	Enfermedades del sistema respiratorio	Infecciones del tracto respiratorio
		Neumonía
		Infección pulmonar
		Cáncer de pulmón
		Irritación respiratoria, asma, bronquitis y sinusitis
	Sistema nervioso	Parkinson
		Ansiedad o la insomnio
		Cambios neuroconductuales
		Daño en el DNA
	Sistema inmunológico	Fiebre de los humos metálicos
Sistema reproductor	Alteraciones en el aparato reproductor	

CONCLUSIONES

La soldadura es un proceso de gran utilidad sin embargo al fusionar los metales a altas temperaturas se liberan humos metálicos donde se suspenden diminutas estructuras denominadas partículas ultrafinas (PUF). Al derretir los metales ocurren reacciones químicas, la composición elemental de las PUF formadas dependerán de: la técnica de soldadura empleada, las temperaturas, y la composición de los metales. Los soldadores expuestos a las PUF presentan un gran riesgo de adquirir patológicas pulmonares, neurológicas y

reproductivas, estas acciones biológicas dependerá de las propiedades físicas y químicas de las PUF, características de la exposición y del individuo. Falta un mayor conocimiento sobre el modo de acción de las PUF, es decir su toxicodinámica, En Colombia no existen investigaciones sobre el tema, sin embargo se encuentra información sobre metodologías preventivas en soldadores, pero de forma muy general, es importante establecer procesos de vigilancia médica y epidemiológica para reducir el riesgo de aparición de efectos adversos a la salud de los trabajadores expuestos a las PUF.

LISTA DE REFERENCIAS

- [1] A.D. Maynard y D.Y.H., Pui, *Nanoparticles and Occupational Health*, Dordrecht, The Netherlands: Springer Science & Business Media, 2007, 180 pp.
- [2] Á, Veiga-Álvarez et al., “Riesgos para la salud y recomendaciones en el manejo de nanopartículas en entornos laborales”, *Revista Medicina y Seguridad del Trabajo*, vol. 61, no. 239, pp. 143-161, jun. 2015.
- [3] “Reglamento técnico para humos metálicos de soldadura”, *Min. Trabajo y seguridad social*, 2002 [en línea]. Disponible en <https://www.libertycolombia.com.co/sites/default/files/2019-07/Reglamento%20tecnico%20para%20humos%20metalicos%20de%20soldadura.pdf>
- [4] T. Fernández, “Caracterización de nanopartículas magnéticas y de oro para posibles aplicaciones biomédicas en diagnóstico y terapia”, tesis doctoral, Univ. Politécnica de Madrid, 2014.
- [5] R.A. Yokel y R.C. MacPhail. “Engineered nanomaterials: exposures, hazards, and risk prevention”, *J Occup Med Toxicol*, vol. 6, no. 1, mar. 2011.
- [6] M. Préndez, R.M. Corvalán, M. Cisternas. “Estudio Preliminar del Material Particulado de Fuentes Estacionarias: Aplicación al Sistema de Compensación de Emisiones en la Región Metropolitana”, *Revista Información Tecnológica*, vol. 18, no. 2, pp. 93-103, 2007.
- [7] Fundación MAPFRE, “Caracterización de las partículas ultrafinas en suspensión generadas por la soldadura de planchas de acero, revista Seguridad y Medio Ambiente, año 34, no. 135, 2014 [en línea]. Disponible en: <http://www.mapfre.com/fundacion/html/revistas/seguridad/n135/es/articulo4.html>
- [8] L. Gutiérrez, et al., “Daños para la salud tras exposición laboral a nanopartículas”, *Revista Med. Segur. Trab.*, vol 59, no. 231, pp. 276-296, jun. 2013.
- [9] R. Fernández Camacho, “Origen y características de las partículas finas y ultrafinas en el aire ambiente de Huelva”, tesis doctoral, Univ. De Huelva, 2011. [En línea]. Disponible en: <http://rabida.uhu.es/dspace/handle/10272/5497>
- [10] K. Donaldson, et al., “Ultrafine particles”, *J. Occupational and Environmental Medicine*, vol. 58, no. 3, pp. 211-216, mar. 2001.
- [11] *Gaceta de la Protección Laboral*. “Soldadura y humos metálicos”, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.aepsal.com/soldadura-y-humos-metalicos/> [Accedido: 20-ago-2018]
- [12] J.M. Rojas, *El soldador y los humos de soldadura*. Baracaldo, Vizcaya, España: OSALAN, 2010 [En línea]. Disponible en: http://www.osalan.euskadi.eus/s94-contpub/es/contenidos/libro/higiene_200920/es_200920/soldador.html [Accedido: 20-ago-2018]
- [13] KEMPLER, “¿Qué es el humo de soldadura?”, s.f. [En línea]. Disponible en: <https://www.kemper.eu/es/interesante-saber/humo-de-soldadura-en-general/composicion-del-humo-de-soldadura> [Accedido: 20-ago-2018]
- [14] M. Lehnert M, et al., “Exposure to inhalable, respirable, and ultrafine particles in welding fume”. *Ann Occup Hyg*, vol. 56, no. 5, pp. 557-567, jul. 2012.
- [15] “Torno Protocolo. Curso de Procesos de Manufactura”, Facultad Ingeniería Industrial, Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá, Colombia, 2007 [en línea]. Disponible en: https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/3474_torno.pdf
- [16] P. Andujar, et al., “Role of metal oxide nanoparticles in histopathological changes observed in the lung of welders”, *J. Particle and Fibre Toxicology*, vol. 11, no. 1, p. 23, may. 2014.
- [17] Safety Work, “Los peligros de la soldadura”, 2015. [En línea]. Disponible en: [/new/seguridad-y-salud-en-el-trabajo-soldadura-accidente-laboral-riesgos-laborales-SG-SST-revista-safetyworkla](http://new/seguridad-y-salud-en-el-trabajo-soldadura-accidente-laboral-riesgos-laborales-SG-SST-revista-safetyworkla) [Accedido: 20-ago-2018]

- [18] F. Taube, "Manganese in Occupational Arc Welding Fumes—Aspects on Physiochemical Properties, with Focus on Solubility", *Ann Occup Hyg*, vol. 57, no. 1, pp. 6-25, ene. 2013.
- [19] C.A. Hovde y P.C. Raynor, "Effects of voltage and wire feed speed on weld fume characteristics", *J Occup Environ Hyg*, vol. 4, no. 12, pp. 903-912, dic. 2007.
- [20] F. Taube, "Manganese in occupational arc welding fumes--aspects on physiochemical properties, with focus on solubility", *Ann Occup Hyg.*, vol. 57, no. 1, pp. 6-25, 2013. doi: 10.1093/annhyg/mes053
- [21] X. Blamey, E. Mosquera y F. Díaz, "Estudio exploratorio II: identificación de nanopartículas en procesos industriales de soldadura y de minería". *Revista Cienc Trab.*, vol. 18, no. 55, pp. 25-36, 2016. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-24492016000100006>
- [22] X. Blamey Benavides, E. Mosquera y F. Díaz, "Estudio exploratorio II: Identificación de nanopartículas en procesos industriales de soldadura y de minería", *Revista Ciencia & amp*, vol. 18, no. 55, pp. 28-36, 2016.
- [23] D. Imam, R. Ueji y H. Fujii, "Effect of online rapid cooling on microstructure and mechanical properties of friction stir welded medium carbon steel", *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 230, pp. 62-71, nov. 2015.
- [24] ACGIH, *Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices*, 7th Ed., 2001.
- [25] P.C. Zeidler-Erdely, A. Erdely y J.M. Antonini, "Immunotoxicology of arc welding fume: worker and experimental animal studies", *J Immunotoxicol*, vol. 9, no. 4, pp. 411-425, dic. 2012.
- [26] emiliocv. Humos de soldadura: un riesgo cancerígeno comprobado [Internet]. *Prevención Integral & ORP Conference*, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.prevencionintegral.com/actualidad/noticias/2017/12/10/humos-soldadura-riesgo-cancerigeno-comprobado> [Accedido: 22-ago-2018]
- [27] N. Guha, et al., "Carcinogenicity of welding, molybdenum trioxide, and indium tin oxide". *J. Lancet Oncol.*, vol. 18, no. 5, pp. 581-582, 2017.
- [28] R.M. Bowler RM, et al., "Sequelae of fume exposure in confined space welding: a neurological and neuropsychological case series", *J. Neurotoxicology*, vol. 28, no. 2, pp. 298-311, mar. 2007.
- [29] R. Khlifi, et al., "Cytogenetic Abnormality in Exfoliated Cells of Buccal Mucosa in Head and Neck Cancer Patients in the Tunisian Population: Impact of Different Exposure Sources". *Biomed Res Int*, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3727183/> [Accedido: 22-ago-2018]
- [30] A. Domínguez Odio, et al., "Lesiones genéticas y citológicas inducidas por la exposición a químicos en centros de trabajo", *Revista Salud de los Trabajadores*, vol. 14, no. 1, pp. 51-59, jun. 2006.
- [31] L.F. Giraldo, et al., "Neumoconiosis ocupacional por óxido de estaño Occupational", *Act. Med. Colomb.*, vol. 38, no. 4, 2013.