

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

**ESCUELA DE INGENIERÍA EN SEGURIDAD LABORAL E HIGIENE
AMBIENTAL**

**DETERMINACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A METALES PESADOS EN LA
INDUSTRIA METALMECÁNICA EN COSTA RICA**

**INVESTIGADORES: Máster María de Lourdes Medina
 Ing. Carlos Mata Montero**

**CARTAGO
Febrero 2007**

Reconocimientos:

Al Instituto Nacional de Seguros por el apoyo para que pudiera llevarse a cabo el proyecto.

A la estudiante Tannia Araya, por su invaluable ayuda en la recolección y análisis de los datos.

INDICE

RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN	5
OBJETIVOS:.....	7
<i>General:</i>	<i>7</i>
<i>Específicos.....</i>	<i>7</i>
REVISIÓN DE LITERATURA	8
MATERIALES Y MÉTODOS	12
A. <i>TIPO DE ESTUDIO</i>	<i>12</i>
B. <i>FUENTES DE INFORMACIÓN.....</i>	<i>12</i>
D. <i>SELECCIÓN DE LA MUESTRA.....</i>	<i>13</i>
E. <i>HERRAMIENTAS DE DIAGNÓSTICO.....</i>	<i>13</i>
1. <i>Encuesta higiénica.....</i>	<i>13</i>
2. <i>Método de muestreo OSHA 121</i>	<i>13</i>
3. <i>Estrategia de muestreo</i>	<i>13</i>
4. <i>Bitácora de muestreo</i>	<i>14</i>
F. <i>HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS</i>	<i>14</i>
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
1. <i>SITUACIÓN ACTUAL.....</i>	<i>19</i>
2. <i>CARACTERÍSTICAS DE LAS PERSONAS MUESTREADAS.....</i>	<i>23</i>
3. <i>CONCENTRACIONES OBTENIDAS.....</i>	<i>24</i>
3.1. <i>Distribución de los datos.....</i>	<i>24</i>
3.2. <i>Análisis de cumplimiento.....</i>	<i>27</i>
4. <i>CARACTERIZACIÓN DE LA EXPOSICIÓN</i>	<i>33</i>
CONCLUSIONES	36
RECOMENDACIONES	38
APORTES Y ALCANCES	40
BIBLIOGRAFÍA.....	41
A. <i>CONSULTA A EXPERTOS</i>	<i>41</i>
B. <i>NORMAS Y REGLAMENTOS.....</i>	<i>41</i>
C. <i>LIBROS Y ARTÍCULOS.....</i>	<i>41</i>
D. <i>SITIOS DE INTERNET</i>	<i>43</i>
ANEXO 1: ENCUESTA HIGIÉNICA	45

RESUMEN

El número de empresas dedicadas a labores que involucran corte, lijado, pulido y soldadura de metales en Costa Rica ha venido creciendo en los últimos años y por tanto el número de trabajadores expuestos a los humos y material particulado proveniente de estas operaciones. Los efectos a la salud asociados a este tipo de trabajo son muy variados y abarcan desde irritación de ojos hasta enfermedades respiratorias incluyendo cáncer de pulmón.

Estudios realizados en otros países revelan niveles de exposición ocupacional que sobrepasan varias veces los límites permitidos para hierro y cromo. La forma en que éstos agentes químicos pueden llegar hasta el trabajador puede verse influenciada por una serie de factores como por ejemplo el tipo de materia prima, la ventilación, tipo de soldadura, posición del trabajador, entre otras; por lo que se planteó estudiar las variables relacionadas con la exposición ocupacional a metales pesados en una muestra de empresas dedicadas a procesos metalmeccánicos de Costa Rica.

El estudio fue exploratorio de corte transversal, incluyó 15 empresas dedicadas a la fabricación de estructuras y muebles metálicos, así como soldadura pesada. Se utilizaron filtros de membrana de celulosa con tamaño de poro de $0.8\mu\text{m}$, para recolectar 173 muestras, las cuales fueron cuantificadas por la técnica de absorción atómica. Se determinaron las características demográficas, los niveles de exposición a cobre, cromo, hierro, níquel y plomo, además se identificaron de forma cuali-cuantitativa los posibles determinantes de la exposición y se realizaron análisis de varianzas para las tareas de corte, soldadura y pulido, y entre subsectores.

De las 15 empresas muestreadas, se determinó que 7 de ellas sobrepasaron los límites de exposición permitidos para polvos y humos de hierro. La media geométrica y desviación geométrica estándar en general para las concentraciones de hierro fueron $0,12$ ($5,92$) mg/m^3 , para cobre $0,04$ ($4,98$) mg/m^3 , cromo $0,07$ ($6,34$) mg/m^3 , plomo $0,07$ ($0,06$) mg/m^3 ; el níquel no fue detectado. En las tareas de corte, pulido y soldadura las concentraciones fueron $0,39$ ($5,33$) mg/m^3 , $0,66$ ($10,76$) mg/m^3 y $0,58$ ($4,24$) mg/m^3 respectivamente y según los subsectores: estructuras metálicas $1,16$ ($4,77$) mg/m^3 , soldadura pesada $0,42$ ($4,95$) mg/m^3 y artículos de metal $0,28$ ($3,28$) mg/m^3 .

Los resultados indican que los polvos y humos metálicos de hierro están presentes en el ambiente del 100% de las industrias. El plomo se encontró en el 13.3% de las empresas. El tipo de material, la ventilación y tipo de soldadura son algunos de los determinantes de la exposición. Además no hay diferencia significativa entre las tareas que se realizan, pero si las hay entre las actividades.

Palabras claves: exposición, metales, industria metalmeccánica, pulido, corte y soldadura

INTRODUCCIÓN

Durante el año 2000, el Sector industrial de Costa Rica generó \$ 4 466 millones, es decir el 75,7% de las exportaciones totales del país en ese período. Dentro de este sector, el subsector de mayor importancia es el de la industria metalmecánica que aporta el 51,8% de las exportaciones industriales (Procomer, 2000)

Durante el período 2001 al 2005, las exportaciones crecieron de 114.5 millones de dólares a 121,5 millones, con un máximo reportado en el 2004 de 173,6 millones de dólares, lo que representa una variación en la tasa de participación del sector del +30,5% con respecto al año anterior. (Procomer, 2005). Igualmente, el número de empresas del sector aumentó y según el INS, las pólizas de los Riesgos del Trabajo en este sector han aumentado, en el 2004 eran 3518 trabajadores asegurados y para el 2005 eran 3798 trabajadores (INS, 2005).

El gran auge que han experimentado este tipo de industrias en el país, provoca un crecimiento de la necesidad de mano de obra, lo que genera un aumento de la población que labora con soldaduras y materiales metálicos y por ende la cantidad de trabajadores expuestos tanto a humos metálicos como a material particulado desprendidos durante el desarrollo de su tarea.

Se estima que en Costa Rica existen alrededor de 600 empresas dedicadas a la fabricación de muebles y estructuras metálicas las cuales comúnmente utilizan acero de baja aleación, aceros inoxidable y en poca cantidad hierro para satisfacer las necesidades del mercado.

El acero es una aleación de hierro con carbono (0.10-0.20%) pero también se le añaden otros metales tales como cromo, níquel, cobre, plomo, entre otros; esta combinación de elementos hacen que el material tenga gran resistencia mecánica y soldabilidad. Los aceros inoxidable contienen mayor porcentaje de carbono, cromo y níquel, para aumentar sus propiedades de resistencia a la corrosión (Patton, W et al, 1975).

La transformación de estos materiales en productos de utilidad se lleva a cabo mediante una serie de procesos, dentro de los cuales se contempla, el corte de piezas, soldadura, pulido y pintado. En la realización de las primeras tres tareas se producen altas temperaturas (superiores a los 4000°C), las cuales permiten la formación de humos y polvos metálicos de cromo, níquel, cobre, hierro, plomo, entre otros (Kiefer, M. et al, 1998), que pueden causar daños a la salud de los trabajadores tales como problemas respiratorios, asma, alergias, dolor de cabeza, radiaciones y posible cáncer de pulmón (Nordberg, 2000).

La exposición a metales pesados puede verse influida por una serie de factores que intervienen de forma negativa en la operación y no solo afectan al operador del proceso, sino también al personal que labora en zonas próximas a donde se realizan las distintas operaciones, razón por la cual es de vital importancia realizar una caracterización de la exposición a metales en dichos puestos para lograr identificar las condiciones favorables y perjudiciales asociadas a esta operación y lograr mejorar el puesto de trabajo y sus alrededores.

Entre estas variables que podrían causar un aumento en la exposición a metales se encuentran la ventilación, material a soldar, tipo de soldadura que se utilice, posición del trabajador entre otras (Patton, W et al, 1975).

Instituciones de otros países se han interesado por este tema, por lo que han realizado investigaciones y estudios sobre las afecciones que pueden causar los metales en la salud de los trabajadores, además han fijado límites de exposición para los mismos. Por ejemplo la NIOSH realizó un estudio epidemiológico donde se encontró que existe un incremento en el número de casos de cáncer de pulmón, entre trabajadores que laboran con acero inoxidable (NIOSH 1988). Otro estudio realizado en Korea por la British Occupational Hygiene Society, determinó que las concentraciones de cromo metálico y cromo hexavalente varían dependiendo no solo del tipo de soldadura, sino también del voltaje aplicado. Se encontró que la razón entre las concentraciones de cromo metálico y cromo hexavalente, en los humos aumentaba hasta 3,7 veces al incrementar el voltaje de normal a alto para soldadura de arco eléctrico. (Yoon, 2003).

En el año 2004, se realizó un estudio piloto-exploratorio en Costa Rica donde se estudiaron algunas de las variables que afectan la exposición a plomo en soldadura blanda para la fabricación de microcomponentes y las concentraciones encontradas estuvieron por debajo del TLV-TWA (Castillo, 2004).

Sin embargo, no se ha realizado una determinación de la exposición a polvos y humos metálicos de hierro, cobre, níquel, cromo y plomo en la industria metalmeccánica. Estos metales pueden ser nocivos para la salud de los trabajadores, por lo que es importante determinar las concentraciones de estos agentes a nivel nacional con el fin de tomar las medidas para mejorar las condiciones de trabajo y contar con datos nacionales para futuras investigaciones en este tema.

OBJETIVOS:

General:

Estudiar las variables relacionadas con la exposición ocupacional a metales pesados en una muestra de empresas dedicadas a procesos metalmeccánicos de Costa Rica.

Específicos

1. Identificar los principales determinantes de la exposición a metales pesados en industrias de metalmeccánica
2. Cuantificar los niveles de exposición a humos metálicos en las distintas operaciones realizadas en este tipo de industria.
3. Describir las características demográficas de la población en estudio.
4. Establecer relaciones significativas entre las concentraciones de los diferentes metales y variables de exposición ocupacional identificadas.

Revisión de Literatura

El acero es el material más utilizado en la industria metalmeccánica y en la construcción. Es una aleación de hierro y carbono (0.10-0.20%) principalmente, pero se le añaden otros metales tales como Ni (0.70%-1%), Cr (0.40%-0.65%), Cu (0.15%-0.50%) entre otros. Otro tipo de acero que se utiliza es el inoxidable, este tiene una composición mínima del 18% de cromo y 8% níquel, es más resistente a la corrosión. Las propiedades del acero varían dependiendo de la proporción de carbono, de manera que si el porcentaje es alto, disminuye la temperatura de fusión, se hace más duro, sus características mecánicas se elevan, aumenta la resistencia al desgaste y su precio aumenta (W.J. Patton, 1975).

La transformación de estos materiales en productos de utilidad se lleva a cabo mediante una serie de procesos, dentro de los cuales se contempla: el corte de piezas, el cual puede ser manual, automático de oxicorte ó arco-plasma; soldadura que es la unión de elementos metálicos de espesores finos y medios utilizando instalaciones de soldadura oxiacetilénica, arco eléctrico con electrodos revestidos ó con soldadura semiautomática TIG y MIG; pulido que mejora la superficie del material y por último aplicación de pintura (Concha Fernández, 2001). En la realización de las primeras tres tareas se producen temperaturas superiores a los 3000°C, las cuales permiten la formación de humos y polvos metálicos de cadmio, cromo, níquel, cobre, hierro, plomo (Kiefer, M. et al, 1998). Estos metales pueden causar congestión nasal y de mucosas, ulceraciones con perforaciones del tabique nasal, irritación local en los pulmones, tracto gastrointestinal, también se pueden desarrollar enfermedades crónicas de las vías respiratorias altas y bajas, posible cáncer de pulmón como es el caso del cromo (VI); fatiga, dolor de cabeza, vómitos, repentinas convulsiones, ribete azul en las encías, esto para el caso del plomo (Nordberg, 2000).

Los tipos de soldadura que se utilizan con mayor frecuencia son: MIG que tiene un electrodo consumible (alambre) y un gas externo el cual forma una capa protectora sobre la superficie para evitar la formación de CO y CO₂, que pueden causar deficiencias de la soldadura (AWS, 1996). Soldadura por arco eléctrico en la cual el electrodo tiene un revestimiento que mejoran la calidad del trabajo y la calidad de la soldadura. Los que

comúnmente se utilizan son 6013 y 7013, con revestimiento rutilo (Ti_2O), 6018 y 7018, cuyo revestimiento es polvo de hierro (W.J. Patton, 1975), esto puede contribuir a la exposición a polvos y humos metálicos.

Entidades internacionales se han preocupado por realizar investigaciones sobre la exposición a polvos y humos metálicos, tal es el caso de la Agencia Internacional de Energía Atómica, que realizó una investigación en tres industrias de galvanizado, tomando muestras de polvo respirable e inhalable en la recepción, oficinas, baños y área de pulido. Las concentraciones de humos respirables de cobre determinadas fueron: de 2.25 ± 0.04 mg/m^3 en la recepción de una de ellas, en el área de pulido fueron de 0.24 ± 0.04 mg/m^3 a 8.5 ± 0.7 mg/m^3 , todas estas sobrepasaron el TLV (0.2 mg/m^3). El polvo y humo de hierro respirable sobrepasan el TLV (5 mg/m^3) en todas las áreas, los rangos encontrados fueron de 31 ± 3 mg/m^3 (recepción) a 229 ± 1 mg/m^3 (baño), para pulido de 15 ± 1 mg/m^3 a 167 ± 2 mg/m^3 . Con respecto a la fracción inhalable igualmente se sobrepasó el TLV en todas las áreas (7 ± 2 mg/m^3 a 282 ± 15 mg/m^3). En este mismo estudio se tomaron muestras de cabello, orina y de las uñas del pie, de trabajadores expuestos y no expuestos para comparar concentraciones de hierro y cobre encontrados, las cuales fueron más altas en los trabajadores expuestos que en los no expuestos en las tres muestras tomadas para 22 individuos (Menezes et al, 2004).

En Korea se realizó un estudio que tuvo como objetivo investigar la tasa de generación de humos de cromo metálico (total) y cromo VI en soldadura de acero inoxidable con soldadura por arco con núcleo fundente con CO_2 , la cual es una combinación entre MIG, arco eléctrico y arco eléctrico sumergido. Como conclusión se encontró que la razón entre las concentraciones de cromo metálico y cromo hexavalente, en los humos aumentaba hasta 3,7 veces al incrementar el voltaje de normal a alto para soldadura de arco eléctrico. (Yoon, 2003).

En una empresa de fabricación de barcos en Louisiana, se tomaron muestras para determinar la contaminación de aire el área de soldadura. En esta fábrica se utilizaban aceros suaves, con soldadura de arco eléctrico y por arco con núcleo de fundente; y encontraron concentraciones de hierro en un rango de 3.15 mg/m^3 - 19.1 mg/m^3 y de 55

mg/m^3 en áreas confinadas con ventilación forzada, con respecto a la cantidad de plomo de $0.003 \text{ mg}/\text{m}^3$ - $0.010 \text{ mg}/\text{m}^3$, por debajo de lo permitido (Kiefer, 1998).

En Costa Rica también existen investigaciones que relacionan la generación de polvos y humos de metal con la soldadura utilizada, por ejemplo T. Castillo encontró dentro de los resultados más relevantes que el tipo de soldadura y la técnica utilizada influyen en las concentraciones, puesto que en las empresas donde se utilizaban máquinas automatizadas con soldadura con un contenido de plomo del 88%, las concentraciones aumentaban con respecto a aquellas que utilizaban cautín, con un contenido de plomo de un 37%. Otro factor que se menciona es la ventilación, la cual influye en las concentraciones, puesto que en aquellas empresas donde los ambientes son cerrados con ventilación insuficiente se obtuvieron medidas más altas. Por último ninguna de las concentraciones encontradas sobrepasan el TLV-TWA corregido por variaciones en la jornada de trabajo, sin embargo, un análisis de cumplimiento de acuerdo a la técnica para aplicar mostró que las máquinas automatizadas tienen una probabilidad de 13.57% de sobrepasar el estándar (Castillo, 2004).

Los efectos en la salud ocasionados por humos de soldadura han sido extensamente investigados. Un gran número de estudios en trabajadores se han llevado a cabo para evaluar los efectos pulmonares causados por la inhalación de humos de soldadura. (como en Antonini et al., 2003; Martin et al., 1997; Sferlazza & Beckett, 1991).

Estudios realizados en soldadores de tiempo completo, revelaron un aumento en la prevalencia de bronquitis, la cual es la queja crónica más frecuente asociada con salud respiratoria. (Sferlazza & Beckett, 1991). Algunos investigadores indican que la inhalación de humos puede inducir asma (Beach et al., 1996; Simonsson et al., 1995; Wang et al., 1994), aunque la relación no está clara aún.

La queja aguda más común de los soldadores es la fiebre del metal. La condición es parecida a una gripe caracterizada por un inicio de 4-8 horas con síntomas que incluyen sed, tos seca, escalofríos, fiebre, dolor de cabeza y náuseas, entre otros. Esta enfermedad es más frecuente entre trabajadores expuestos a humos metálicos que contienen óxido de zinc y puede durar hasta 48 horas. (Martin et al., 1997). Exposición a otros metales como

cadmio, cobre y estaño también están asociados a esta enfermedad. Otros trastornos comunes en soldadores son infecciones en el tracto respiratorio, cambios en la respuesta inmunológica, siderosis y fibrosis pulmonar.

La asociación entre la inhalación de humos de soldadura y el desarrollo de cáncer de pulmón se ha estudiado por más de 25 años. Después de muchos estudios la Agencia Internacional de Investigación de Cáncer (IARC) concluyó que los humos de soldadura son posibles cancerígenos en humanos (IARC, 1990) aunque algunos otros investigadores asocien esta enfermedad exclusivamente a la soldadura con acero inoxidable, donde cantidades importantes de cromo hexavalente y níquel han sido determinados. (Sjogren et al., 1987, 1994).

En Costa Rica, los valores permitidos a los cuales los trabajadores se pueden exponer sin presentar efectos adversos a la salud durante su vida laboral (8 horas diarias, cuarenta horas semanales durante 40 años) están normados por el Instituto de Normas Técnicas (INTECO) en la norma INTE 31-08-04-01, y para los metales en estudio, los valores máximos permitidos (TWA) son: níquel 1.5 mg/m^3 , plomo 0.050 mg/m^3 , cromo 0.5 mg/m^3 , hierro y cobre 1 mg/m^3 .

Materiales y métodos

A. Tipo de estudio

El presente estudio es de tipo exploratorio (corte transversal), pues para este tema en Costa Rica existe poca información, ya que ha determinado la exposición ocupacional a metales en las industrias metalmeccánicas en el país y no se conocen los niveles de exposición a cromo, cobre, hierro, níquel y plomo en este tipo de industrias, así como en las tareas que en ésta se realizan.

B. Fuentes de información

Las fuentes de información utilizadas en el estudio realizado son:

-Fuentes Primarias

Las principales fuentes primarias consultadas fueron libros, documentos oficiales como reglamentos y normas, artículos de publicaciones periódicas además de entrevistas y sitios web. Tales como Ciencia y técnica de la soldadura de W Patton, 1975, el Manual de soldadura de la American Welding Society, 1996 , la INTE 31-08-04-01 sobre las concentraciones ambientales máximas permisibles en los centros de trabajo y entrevista con el Ing. Ronald Jiménez de la escuela de Ciencias de los Materiales del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

-Fuentes secundarias:

Se consultó sitios web donde se encontraban resúmenes de artículos y listados de fuentes primarias como revistas.

-Fuentes terciarias

Se consultaron Sitios web donde se compendia información sobre otras fuentes bibliográficas. Dentro de las cuales se encuentra la base de datos EBSCO HOST. OSHA y NIOSH.

D. Selección de la muestra

Se planteó seleccionar al azar 25 empresas de la lista que el departamento de Gestión Empresarial en Salud Ocupacional del Instituto Nacional de Seguros tiene dentro de la base de datos de pólizas de Riesgos del Trabajo. Sin embargo se contactaron 55 empresas, de las cuales solo 15 aceptaron participar en el proyecto.

Las empresas seleccionadas tuvieron como característica común dedicarse a la fabricación de muebles, artículos o estructuras de metal y soldadura pesada.

E. Herramientas de diagnóstico

1. Encuesta higiénica

Se utilizó con el fin de recopilar información de la empresa, como número de trabajadores, jornada, materiales utilizados, proceso productivo, productos, tipo de soldadura, ventilación del lugar y la distribución del local (ver anexo 1).

2. Método de muestreo OSHA 121

Con este método se cuantificó la concentración de partículas y humos de metales en ambientes de trabajo.

Equipo necesario para el muestreo fue: filtros de PVC de $0.8 \mu\text{m}$, casetes de 37mm, sellos de celulosa, bombas de alto caudal a un flujo recomendado de 2L/min, calibrador, tubos flexibles.

Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Higiene Analítica ubicado en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, sirviéndose del método LHA-PA-001, basado en el método OSHA ID-121.

3. Estrategia de muestreo

De la información recopilada a partir de la encuesta higiénica y de las observaciones realizadas el día del muestreo, se seleccionó a los trabajadores que se encontraban en los

puestos más críticos, especialmente realizando las tareas de corte, soldadura o pulido, pues éstos se encuentran directamente expuestos a polvos y humos metálicos.

Los tipos de soldadura que se tomaron en cuenta para elegir a los trabajadores fueron MIG y de arco eléctrico, pues son los más comunes. En la tarea de corte se tomaron en cuenta los que utilizaban disco, plasma u oxiacetileno y el pulido con esmeril.

Es importante mencionar que no en todas las empresas fue posible muestrear las tres tareas definidas, debido a que en algunas de ellas al momento de la visita no se estaban realizando. Otro aspecto es que en algunas empresas los soldadores, ayudantes y encargados de corte también realizaban labores de pulido, por lo que no siempre hay un solo encargado.

Una vez seleccionados los trabajadores se les colocó individualmente el equipo de muestreo, durante el 70% de la jornada.

4. Bitácora de muestreo

En esta bitácora se registró en forma detallada las tareas realizadas por los trabajadores que estaban con el equipo de muestreo, el tipo de material y soldadura que estaban utilizando, entre otros, esto con el fin de tener la mayor cantidad de información posible para caracterizar la exposición a metales.

F. Herramientas de análisis

De la revisión literaria, encuesta higiénica y de la bitácora de muestreo se obtuvieron los posibles determinantes de la exposición (DE), sin embargo, como los determinantes de exposición pueden variar dependiendo de la empresa, se subdividieron (sub-DE) para ajustarse a las características y técnicas utilizadas por los trabajadores.

A continuación se detalla el listado los posibles determinantes según la información de la revisión literaria, encuesta higiénica y de la bitácora de muestreo:

- DE1. Materiales que se utilizan en las empresas:
 - o DE1.1 Acero
 - o DE1. 2 Acero inoxidable

Al acero inoxidable se le asignó un valor de 9, pues por la composición (Cr-Ni principalmente) puede producir cáncer. Y al acero un valor de medio de 5, pero este valor aumenta si está oxidado ya que la concentración de hierro puede aumentar por estas condiciones.

- DE2. Tipos de soldadura que se utilizan

o DE 2.1 MIG

o DE 2.2 Arco

A la soldadura de arco tiene valor medio de 7 si utiliza 6013 ya que su revestimiento no menciona óxido de hierro, y aumenta este valor si utiliza 7018 o 6018 puesto que su revestimiento si lo incluye. La soldadura MIG se le asignará un 5, y cambiará si el alambre utilizado es diferente al común.

- DE3. Técnicas de corte que se practican

o DE3.1 Disco

o DE3.2 Oxiacetileno

o DE3.3 Plasma

Para el plasma un valor de 6 puesto, el trabajador no necesariamente tiene que estar sobre el punto de trabajo. Con oxiacetileno un valor de 5 un valor intermedio, y con disco un 7, pues desprende más polvos que las dos técnicas anteriores. Estos valores variarán dependiendo si estuvo realizando esta tarea todo el tiempo o si fue un periodo corto de tiempo.

- DE4. Ventilación del lugar

o DE4.1 Natural: tomando en cuenta las entradas de aire

o DE4.2 Mecanizada: si es general o localizada

La ventilación natural se asignará según el área de entradas de aire en la empresa. Si la ventilación mecanizada es general o localizada se parte de un valor intermedio de 5, pero este variará si se notara que las por éstas salida de aire realmente sacaran los humos de metal.

- DE5. Distancia entre el punto de operación con la zona respiratoria.

- DE5.1 $X \leq 30$ cm
- DE5.2 $30\text{cm} < X < 50\text{cm}$
- DE5.3 $X \geq 50\text{cm}$

Entre más cerca se coloque el punto de soldadura el valor asignado será más alto, puesto que podría inhalar mayor cantidad de humo.

DE7. Distancia del trabajador a una entrada de aire

- DE7.1 $X \leq 10\text{m}$
- DE7.2 $10\text{m} < X < 20\text{m}$
- DE7.3 $X \geq 20\text{m}$

Entre más cerca de una entrada de aire menor será el valor asignado, ya que la circulación del aire disminuye la presencia de los humos y polvos en el ambiente de trabajo.

- DE8. Limpieza del lugar

- DE8.1 Durante la jornada
- DE8.2 Final de la jornada

Si la limpieza se realiza durante la jornada el valor será superior a 5, puesto que al barrer las partículas más pequeñas quedan suspendidas contaminando aún más el ambiente, también dependerá de la cercanía del trabajador con la superficie que se está limpiando. Por el contrario el valor disminuirá si la limpieza es al final de la jornada.

- DE10. Tareas realizadas en la empresa

- DE10.1 Soldadura
- DE10.2 Pulido
- DE10.3 Corte

Se le dará un valor de máximo a aquellas que se realizan durante toda la jornada constantemente, si se combinan las tareas para una misma persona, los valores se asignarán según la duración de la misma.

Los determinantes se correlacionaron con las concentraciones de forma cuali-cuantitativa utilizando el coeficiente de Pearson, también se seleccionaron las correlaciones no espurias y como resultado se obtuvieron los posibles determinantes de la exposición a humos y polvos metálicos.

Para determinar si existía algún tipo de relación entre los factores estudiados y la concentración, se realizó un análisis de varianza, ANOVA, para lo cual se utilizó el software Minitab 14.

Se realizó una matriz con las concentraciones obtenidas por muestra y los valores de cada sub-DE, los cuales estuvieron en un rango de 0-10, tomando el cero como nulo, el 5 como punto medio y el 10 como condición más crítica y se asignaron según las condiciones de trabajo y al criterio del investigador.

Con el fin de evaluar la exposición al contaminante por parte de los trabajadores, fue necesario utilizar herramientas de análisis tales como la estadística descriptiva, distribución de datos, correlaciones y análisis de varianzas (ANOVA), que ayudaran a alcanzar los objetivos planteados.

Se determinó el tipo de distribución de los datos, para lo cual se realizaron histogramas y pruebas de normalidad (Perkins, 1997). Una vez establecido el tipo de distribución (normal o lognormal), se calcularon las medidas de tendencia central, tales como promedios ponderados en el tiempo, desviación estándar, media geométrica (MG), la desviación geométrica estándar (DGE), límite inferior de confianza (LI), límite superior de confianza (LS), la mínima variación de los datos (MVU) y el estimador de máxima probabilidad de ser la media (MLE), para realizar el análisis de cumplimiento comparando el MLE, LI y LS con el TLV-TWA, que se encuentra en la norma INTE 31-08-04-01, donde se establecen las concentraciones máximas permisibles en los centros de trabajo para 8 horas diarias y 40 horas semanales, el cual fue corregido por jornada, para cada empresa.

Cabe señalar que si el MLE, LI y LS sobrepasan el TLV-TWA corregido (LEO), se concluye que la empresa se encuentra en incumplimiento; si están por debajo, la situación es

de cumplimiento; si el LS está por encima del LEO, el LI está por debajo de este valor, y el MLE calculado se encuentra dentro de estos límites, entra en una zona de posible incumplimiento, y se deben de realizar pruebas de hipótesis -con un nivel de confianza del 95%-, planteando como hipótesis nula que el estimador de máxima probabilidad es mayor o igual al límite de exposición corregido (~~MEC~~) y así tomar una decisión. Además es importante recalcular el número de muestras para cada empresa y así caracterizar mejor la exposición. Esto se calcula tomando en cuenta la DGE y el valor de F (MLE/TLV-TWA), según Rapaport y Selvin (1987) con un α de 0,05 y un β de 0,10.

La comparación de los niveles de exposición de polvos y humos metálicos entre tareas y sub-sectores se realizó mediante un análisis de varianzas, utilizando el software Minitab 14.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Situación actual

Las jornadas de trabajo oscilan entre las 9 y las 11,45 horas, de lunes a viernes. Algunas de las empresas realizan trabajos fuera de las empresas, por lo que no siempre tienen a todos los trabajadores en la planta.

1.1. Empresa A

Cuenta con 12 trabajadores, en corte 2 (utilizan guillotinas y cierras), 6 en soldadura, con spot y MIG. Los soldadores realizan tareas de pulido en la pieza que arman. El material con que trabajan es acero y acero inoxidable.

La ventilación es natural y la limpieza se realiza al terminar la jornada.

El equipo de protección personal (EPP) utilizado son guantes, careta y tapones, algunos utilizan peto y/o delantal de cuero.

1.2. Empresa B

Laboran 7 personas, las cuales se rotan las tareas.

Los materiales que comúnmente utilizan son aceros de diferentes calibres. El corte de las piezas se realiza con sierra, guillotina, o tronzadores, la soldadura la realizan con MIG, electrodos 6013, 7018 y especiales según el material.

La ventilación es natural y la limpieza la realizan todos los días al terminar la jornada.

EPP usado, caretas para soldar y tapones, en el pulido utilizan careta.

1.3. Empresa C

Cuenta con 28 personas, en corte 2, y 12 soldadores.

La materia prima es acero. El corte lo realizan con plasma y tronzadores, la soldadura con MIG y con arco eléctrico. Las áreas de corte, soldadura están designadas. Las tareas son rotativas.

La ventilación del local es natural y mecanizada (dos extractores) pero no los usan siempre.

La limpieza del lugar de trabajo se realiza todos los días.

El EPP utilizado son en corte y soldadura careta, orejeras tapones, delantal y guantes de cuero.

1.4. Empresa D

Laboran 34 personas, dentro de los cuales hay: 10 soldadores, 8 ayudantes.

Los materiales utilizados en el proceso son aceros y aceros inoxidable, soldadura MIG y/o arco eléctrico con electrodos 6013, 6018, el corte con guillotina o con oxiacetileno.

La ventilación del lugar es natural. Hay un extractor de aire que se utiliza cuando se hace alguna soldadura dentro de un tanque. La limpieza del puesto de trabajo al terminar la jornada.

El EPP utilizado en general son caretas, guantes, peto, delantal, camisas de manga larga y respiradores con filtros sucios.

1.5. Empresa E

Hay 26 trabajadores, 10 soldadores y 8 ayudantes.

Utilizan acero, soldadura MIG y de arco eléctrico (6013,7018 principalmente), para el corte oxiacetileno, sierra manual y esmeril. El local está demarcado las áreas de corte y soldadura en la misma área.

La ventilación es natural. Hay una persona encargada de la limpieza durante la jornada,

El EPP utilizado en la mayoría de los casos es: delantal, lentes para soldar, careta para soldar, gorro, peto, guantes, tapones y camisetas de manga larga.

1.6. Empresa F

En esta empresa laboran 36 personas, dentro de los cuales hay 10 soldadores y 8 de corte.

Utilizan tubos y láminas de acero, soldadura MIG, corte con tronzadoras, sierra, guillotina para las láminas y pulido con esmeril.

La ventilación es natural y la limpieza del local se realiza al final de la jornada.

El EPP utilizados son los lentes para soldar y/o pulir y tapones, pero no todos lo usan.

1.7. Empresa G

Son 100 trabajadores, 40 soldadores y 30 en corte.

El acero es el principal material que se consume, soldadura MIG y arco eléctrico (6013, 6018, 7018), corte con plasma o con oxiacetileno y pulido con esmeril. Las áreas de trabajo están separadas por cortinas de plástico.

La ventilación es natural y mecanizada pues tienen unos extractores en el área de armado. La limpieza del local se realiza todos los días al final de la jornada.

El EPP es obligatorio en general usa lentes o careta para soldadura, delantal, guantes, peto, tapones y gorro.

1.8. Empresa H

Cuenta con 21 trabajadores, 5 cortadores, 3 soldadores.

Se utiliza acero, el tipo de soldadura utilizada es MIG, el corte con sierra eléctrica y guillotina, el pulido con esmeril. Soldadores y pulidores están en la misma zona.

Ventilación natural y extractores de aire sobre las mesas de soldadura. La limpieza se realiza todos los días al final de la jornada

Utilizan careta para soldadura, delantal, guantes y peto, en pulido se utilizan lentes.

1.9. Empresa I

Laboran 14 personas, 8 soldadores, 4 ayudantes.

Consumen acero y acero inoxidable, soldadura MIG, arco eléctrico y oxiacetileno, el corte con guillotina o con oxiacetileno.

La ventilación es natural. La limpieza del local se realiza todos los días durante la jornada por un misceláneo. El EPP utilizado es careta para soldadura, camisa de manga larga y lentes en el pulido.

1.10. Empresa J

Trabajan 35 personas, 3 en corte, 15 soldadores.

Utilizan láminas de acero, las cuales son cortadas con guillotinas o sierra, soldadura MIG. Las áreas están definidas para cada tarea.

La ventilación es natural y la limpieza del local se realiza todos los días al final de la jornada.

En general el equipo de protección personal utilizado son careta para soldadura, tapones

1.11. Empresa K

En esta empresa hay 14 trabajadores, 3 en soldadura.

Utilizan aceros, aceros inoxidable, entre otros. Los tipos de soldadura que se utilizan son MIG con utilizando alambre según la necesidad, arco eléctrico y arco-aire El área de soldadura y corte está aparte del resto

La ventilación es natural, la limpieza del local se realiza todos los días durante la jornada por un misceláneo.

El EPP utilizado son careta para soldadura, tapones, también tienen guantes, peto y respiradores para polvos de metal, marca “As” (NIC1584 1733).

1.12. Empresa L

Laboran 16 personas, 10 soldadores.

Utilizan acero. El corte lo realizan con sierra eléctrica, la soldadura con MIG y arco eléctrico principalmente 6013 y el pulido lo realizan los ayudantes con esmeril. El área de corte está totalmente aparte de soldadura.

Ventilación natural y la limpieza del local se realiza al final.

El EPP utilizado es careta para soldadura, tapones y guantes.

1.13. Empresa M

Son 30 trabajadores; 8 soldadores, 8 ayudantes

El material con que trabajan es el acero y acero galvanizado, soldadura de arco eléctrico 6013 y el corte con sierra o en frío. El corte y soldadura se realizan en la misma área.

Ventilación natural y la limpieza del local se realiza al final de la jornada..

El EPP utilizado es careta para soldadura, camisa de manga larga y lentes en el pulido.

1.14. Empresa N

Son 21 trabajadores, 8 soldadores, 8 ayudantes, 2 en corte.

Utilizan acero y acero galvanizado, soldadura arco eléctrico (6013, 6011 y 7018), MIG y el corte con sierra o guillotina, el pulido con esmeril y generalmente lo realizan los ayudantes.

Ventilación natural y la limpieza del local se realiza al final de la jornada. En general el equipo de protección personal utilizado son careta o lentes para soldadura, guantes, peto, delantal y lentes en el pulido.

1.15. Empresa O

Laboran 6 personas, 4 soldadores.

Los materiales que comúnmente utilizan son aceros y aceros inoxidables. El tipo de soldadura que se utiliza es de arco eléctrico (6013, 6011 y 7018), MIG, TIG y soldaduras especiales. Las áreas no están demarcadas y las tareas son rotativas.

Ventilación natural y la limpieza del local se realiza al final de la jornada.

En general el equipo de protección personal utilizado son tapones, careta o lentes para soldadura y en pulido.

2. Características de las personas muestreadas

El número de trabajadores muestreados en total fue de 85, de los cuales el 100% eran hombres, las edades oscilan entre 18 y 59 años, para un promedio de 33 años, y los años de experiencia van de 8 meses a 42 años.

Alrededor del 37% de los trabajadores fuman y el resto no lo hacen o lo habían dejado. Las enfermedades y síntomas comúnmente presentadas fueron resfríos, ardor de ojos, tos al finalizar la jornada y en pocos casos, asma.

Es importante mencionar que no en todas las empresas fue posible muestrear las tres tareas definidas, debido a que en algunas de ellas al momento de la visita no se estaban realizando. Otro aspecto es que en algunas empresas los soldadores, ayudantes y encargados de corte también realizan labores de pulido, o lo que no siempre hay un solo encargado.

En el siguiente cuadro se muestra detalladamente el número de personas muestreadas por empresa y tarea.

Cuadro 1. Total de personas muestreadas por empresa y por tarea

Empresa	Nº trabajadores muestreados por tarea			Total Personas muestread	Total de muestras por empresa
	Corte	Soldadura	Pulido		
A	2	6	1	9	15
B	0	1	0	1	4
C	3	7	0	10	20
D	0	5	0	5	20
E	5	3	1	9	20
F	0	10	0	10	13
G	1	7	2	10	19
H	0	2	1	3	8
I	1	4	0	5	8
J	1	5	0	6	12
K	0	2	0	2	6
L	0	3	1	4	4
M	0	2	1	3	9
N	0	4	2	6	10
O	0	2	0	2	5
Total	13	63	9	85	173

Fuente: Bitácoras de muestreos

3. Concentraciones obtenidas

3.1. Distribución de los datos

Para poder hacer inferencias correctas sobre las concentraciones de las muestras obtenidas, se calcularon los parámetros de tendencia central y dispersión que pudieran indicar el comportamiento general de los datos con el fin de conocer la distribución de las concentraciones evaluadas. Para esto se realizaron los histogramas para la distribución sin tratamiento de los resultados y se observó un importante sesgo a la derecha, patrón que coincide con las distribuciones referidas en la literatura para los valores de concentraciones ambientales, como indica Gilbert (Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring, 1987).

Con el fin de valorar si una distribución lognormal podía describir mejor el comportamiento de las concentraciones, se aplicó una transformación logarítmica a los datos;

mediante la cual se pudo determinar que ésta permite una distribución más simétrica y la variación de los datos disminuye, lo cual hace pensar que la transformación practicada ofrece un mejor ajuste a esta distribución teórica.

Para confirmar la no normalidad de comportamiento de los datos, se realizaron diagramas de dispersión con una recta de mejor ajuste para los datos sin y con la transformación logarítmica.

Al obtener un valor para el coeficiente de correlación de los datos sin transformación ajustados a una recta de mejor ajuste alejado de uno, se sugiere que no soportan un adecuado ajuste a la normal, por tanto se deben normalizar. En este caso la transformación de los datos (logaritmo natural de cada concentración) ofrece un comportamiento mucho más ajustado a una distribución normal.

También se aplicó la relación sugerida por Brief & Scala para la reducción del valor considerado en la Norma INTE-31-08-04-01 por variación de jornada dado que se informó que se laboran más de ocho horas diarias.

Para este estudio, los datos de las empresas H, L y N, siguen una distribución normal, por lo que se calculó el promedio ponderado, la desviación estándar (DE) y los límites inferiores y superiores de confianza; el resto de las empresas, los datos siguen una distribución lognormal, los parámetros utilizados fueron el promedio ponderado, la desviación estándar, la media geométrica (MG), la desviación geométrica estándar (DGE) y el estimador de máxima probabilidad de ser la media (MLE), ya que la MG es una medida de tendencia central y no permite obtener una media de las concentraciones, debido al tipo de distribución de los datos. En el cuadro 2 se muestran las concentraciones de hierro distribuidas por empresa, en todo el sector, por tarea, tipo de soldadura y subsector.

Las empresas según los subsectores se dividen en : fabricación de estructuras (D, E, G y M), muebles u otros artículos (A, C, F, H, J, I y L) y soldadura pesada (B, K y O).

Cuadro 2. Medidas de tendencia central para las concentraciones de hierro, en mg/m³ por empresa, sector en general, tarea y actividad corregidas dependiendo del tipo de distribución encontrada.

Empresa	TLV-TWA corregido	Promedio (DS)	MG	DGS	*MLE	MVU**	LI***	LS****
A	0,70		0,11	7,05	0,72	0,20	0,24	7,51
B	0,60		0,57	4,32	1,67	0,61	0,49	>100
C	0,70		0,22	1,66	0,25	0,03	0,21	0,31
D	0,70		1,47	5,60	6,50	5,60	2,90	28,7
E	0,60		1,02	3,65	2,36	2,12	1,36	5,62
F	0,70		0,28	1,93	0,34	0,33	0,24	0,63
G	0,65		0,94	3,12	1,79	1,63	1,09	3,90
H ⁺	0,80	0,85 (0,42)					0,59	1,11
I	0,70		0,33	2,80	0,57	0,53	0,30	2,46
J	0,80		0,24	2,60	0,37	0,36	0,23	0,81
K	0,60		0,95	2,30	1,20	1,16	0,74	3,60
L ⁺	0,80	0,42 (0,15)					0,24	0,60
M ⁺	0,70		0,25	7,24	1,79	1,10	0,43	78
N	0,70	0,24 (0,15)					0,16	0,33
O	0,70		0,08	5,92	0,41	0,25	0,09	28,7
Todas las muestras	1,00		0,35	4,75	1,17	1,13	0,90	1,63
Tareas								
Corte	1,00		0,39	5,33	1,60	0,55	0,74	6,16
Pulido	1,00		0,66	10,76	11,02	1,90	50,59,06	222,95
Soldadura	1,00		0,58	4,24	1,64	0,60	1,30	51,48
Soldadura arco	1,00		1,11	5,74	5,11	1,69	2,87	11,56
Soldadura MIG	1,00		0,4	0,003	0,74	0,25	0,59	0,98
Actividad								
Estructuras metálicas	1,00		1,16	4,77	3,93	1,41	2,71	8,00
Soldadura pesada	1,00		0,42	4,95	1,52	0,54	0,76	7,03
Artículos de metal	1,00		0,28	3,28	0,58	0,20	0,46	0,85

Fuente: muestreos realizados

+ En empresas donde la distribución de los datos fue normal.

DS: desviación estándar

DGS: desviación geométrica estándar

*Estimador de máxima probabilidad

**Estimador insesgado de mínima varianza

*** Límite Inferior de Confianza

****Límite Superior de Confianza

Las concentraciones de níquel fueron no detectables. En el cuadro 3 se muestran las concentraciones de cromo, cobre y plomo registrados, cabe mencionar que no todas las muestras de las empresas superaron lo límites de detección y cuantificación.

Cuadro 3. Medidas de tendencia central para las concentraciones de cromo, cobre y plomo, en mg/m³ por empresa, corregidas dependiendo del tipo de distribución encontrada.

Metal	Empresa	TLV-TWA corregido	Promedio (DS)	MG	(DGS)	MLE	MVU	LI	LS
Cromo	A ⁺	0,35	4,26 (3,66)						
	K ⁺	0,30	0,05 (0,0003)					0,01	0,09
	M ⁺	0,35	0,039 (0,002)					0,037	0,041
	En general	0,5		0,07	6,34	0,40	0,29	0,15	3,08
Cobre	D	0,7		0,01	3,48	0,03	0,02	0,01	0,15
	E	0,6		0,03	1,54	0,04	0,04	0,03	0,05
	F ⁺	0,7	0,036 (0,033)						
	G ⁺	0,55	1,03 (0,72)						
	I ⁺	0,7	0,040 (0,023)						
	En general	1		0,04	4,98	0,13	0,10	0,08	0,32
Plomo	M	0,035		0,03	4,18	0,070		0,03	0,60
	N	0,035		0,02	7,67	0,16	0,10	6,33	0,041
	En general	0,05		0,03	5,29	0,11	0,10	0,05	0,50

Fuente: muestreos realizados

+ En empresas donde la distribución de los datos fue normal.

DS: desviación estándar

DGS: desviación geométrica estándar

*Estimador de máxima probabilidad

**Estimador insesgado de mínima varianza

*** Límite Inferior de Confianza

****Límite Superior de Confianza

Los datos obtenidos para estos otros metales no son suficientes para realizar comparaciones entre tareas o empresas dedicadas a la misma actividad.

3.2 Análisis de cumplimiento

Para realizar este análisis se comparó el MLE, LI y LS de cada uno de los datos de las empresas, de manera que, si éstas tres medidas sobrepasan el TLV-TWA corregido por variaciones en la jornada de trabajo (LEO), la empresa se encuentra en incumplimiento; si están por debajo, la situación es de cumplimiento; si el límite superior está por encima del LEO y el límite inferior está por debajo de este valor y el MLE calculado se encuentra dentro de estos límites, entra en una zona de indecisión, y se deben de realizar pruebas de

hipótesis -con un nivel de confianza del 95%-, planteando la hipótesis nula: el estimador de máxima probabilidad es mayor o igual al límite de exposición corregido ($MLE \geq LEO$) y así tomar una decisión, además es importante recalculer el número de muestras para cada empresa y así caracterizar mejor la exposición. Esto se calcula tomando en cuenta la DGE y el valor de F ($MLE/TLV-TWA$), según Rapaport y Selvin (1987) con un 95% de confianza.

3.2.1. Hierro

Se encontró que las concentraciones en las empresas C, N, F y L (en orden ascendente) cumplen con la norma.

Las empresas que sobrepasan el límite de exposición son: G, K, E, y D, en orden ascendente. Algunas de las condiciones estructurales y de trabajo pudieron favorecer estos resultados, por ejemplo, en D dos trabajadores realizaban tareas de soldadura en espacios confinados y la ventilación era casi nula para ambos; la ventilación en esta empresa es un aspecto que puede no favorecer a los trabajadores, pues se notaba que los humos y polvo de soldadura se dispersaban por el lugar buscando una salida.

Las empresas que están en posible incumplimiento con la norma son: A, I, J, B, H, M y O.

Para la empresa A, como se puede observar en el Cuadro 2, las diferencias entre las medidas de dispersión de los datos son altas ($CV=7,72\%$). Esto se ve reflejado en las concentraciones obtenidas para los trabajadores que realizan tareas de corte, troquelado y soldadura las cuales son muy similares, pero el pulido en promedio presentó una concentración de $9,58\text{mg}/\text{m}^3$, la más alta de todas. Al realizar la prueba de hipótesis para esta empresa, la hipótesis nula no se rechazó, lo que sugiere que no se puede descartar la posibilidad de que las concentraciones puedan sobrepasar el estándar. Recalculando el número de muestras bajo el procedimiento descrito y tomando en cuenta los datos del cuadro 2, el nuevo número corresponde a 1840. Dado que este número es muy grande, se realizó el ejercicio de calcular el número de muestras sin tomar en cuenta el puesto de pulido obteniendo así que la nueva DGE es 2.89 (3 veces menor a la original) y el número

de muestras es 21 para esta empresa, esto con un 95% de confianza, confirmando que la labor de pulido debe ser considerada como uno de los principales factores que incrementan la variabilidad en la exposición a hierro dentro de esta empresa.

Para la empresa I, la hipótesis nula se rechaza, por lo que se descarta la posibilidad de que el MLE se encuentre encima del LEO, confirmando los resultados obtenidos en los cuales todos los valores encontrados están por debajo del TLV (cumplimiento), sin embargo, para caracterizar mejor la empresa, se deben tomar 21 muestras.

Para la empresa J, se obtuvieron valores para el LI y MLE similares, pero el LS se aleja de ambos valores, para este caso la hipótesis nula se rechaza, lo que indica que los datos se encuentran dentro de los límites permitidos, pero para caracterizar mejor la exposición en esta empresa se debe recalcular el número de muestras y como resultado se obtuvo 82 muestras.

En la empresa B solo se muestreó un trabajador, ya que el día de la visita solo él estaba realizando labores de soldadura y pulido; se tomaron cuatro muestras, a las cuales se les calcularon las medidas de tendencia y como resultado se obtuvo una situación de indecisión, al realizar la prueba de hipótesis ésta no se rechaza, es decir, que no se debe descartar la posibilidad de que algunas de las concentraciones superen el LEO; en adición, la dispersión de los datos es de un 13,21% pues las medidas de tendencia están alejadas unas de las otras, esto sugiere recalcular el número de muestras para caracterizar mejor la empresa, como resultado se obtiene un valor de 24 muestras.

En la empresa H la dispersión de los datos es baja, ya que el promedio, LI y LS son muy parecidos. La prueba de hipótesis realizada no puede ser rechazada, por lo que no se descarta la posibilidad de que algunas de las concentraciones superen el LEO. Un aspecto importante para esta empresa es que habían extractores de aire sobre las mesas de trabajo de los soldadores, sin embargo, se percibía el olor a soldadura, y en el puesto del pulidor no había ventilación de ningún tipo cerca, por lo que las concentraciones para él fueron las más altas.

Con respecto a la empresa M, la prueba de hipótesis realizada no se rechaza, por lo que la posibilidad de que algunas concentraciones sobrepasen el LEO no se puede descartar. En esta empresa sólo se muestrearon tres trabajadores, dos de los cuales estaban soldando, el que estaba ubicado más lejos de la entrada principal de aire presentó concentraciones mayores (3.71 mg/m^3) que el que estaba cerca de ésta (0.29 mg/m^3), ambos utilizaron el mismo tipo de soldadura. Para el trabajador que estaba asistiendo al último mencionado, las concentraciones fueron mucho menores (0.02 mg/m^3).

En la empresa O, la prueba de hipótesis no se rechazó, por lo que no se descarta la posibilidad de que algunas de las concentraciones sobrepasen el límite exposición (LEO) un aspecto que no favoreció la exposición de los trabajadores, pues se notaba que los humos y polvo de soldadura se dispersaban por el lugar buscando una salida.

Con respecto a la situación del sector en general, el MLE sobrepasa el valor de la norma, pero los límites de confianza no permiten tomar ninguna decisión con respecto a la exposición. Para concluir con mayor confiabilidad se realizó una prueba de hipótesis y con un 95% de confianza se rechaza la hipótesis de que el MLE esté por encima del LEO. Sin embargo, observando el comportamiento de algunas operaciones y empresas, es necesario tomar medidas para mejorar las condiciones de los trabajadores en el ámbito de la Higiene Industrial, pues si bien la tendencia de la mayoría de las concentraciones cuantificadas se inclina hacia valores bajos, existen casos en los cuales la exposición sobrepasa ampliamente la norma.

En las tareas de corte, la dispersión de los datos es alta, por lo que se encuentra en una zona de indecisión. Para este caso no se rechaza la hipótesis nula, lo que sugiere que no se puede descartar la posibilidad de que las concentraciones puedan sobrepasar el estándar, en todo caso para caracterizar mejor la exposición se debe recalcular el número de muestras, y para este caso se obtuvo un resultado de 384 muestras.

En la labor de pulido el MLE y los límites inferior y superior están por encima del TLV, por lo que están en incumplimiento. La diferencia entre los valores de las

concentraciones puede deberse a que las más altas (9.58, 6.82, 2.85 y 1.21 mg/m³) se encontraron en trabajadores que realizan esta tarea todo el día; además al finalizar cada pieza fue posible observar alrededor de su puesto de trabajo una gran cantidad de partículas pequeñas de acero como residuo del proceso. Para el resto de las concentraciones los trabajadores pulían pero tenían más tiempo de descanso, ya que debían esperar a que el soldador terminara para iniciar su tarea. Otro aspecto que puede influir es la técnica, ya que se observó que algunos de ellos se acercaban más al punto de pulido que otros, por lo que las chispas, polvos y humos le llegaban directamente a la zona respiratoria, en especial cuando las piezas eran pequeñas, como en el caso del trabajador con la concentración más alta. La dispersión de los datos sugiere un recálculo del número de muestras, pero como la DGE y el MLE son tan altos, el tamaño de la muestra tiende a infinito, según el modelo de Rapport y Selvin sugerido para este fin.

El análisis para la tarea de soldadura indica que el MLE se encuentra en una zona de indecisión. Al realizar la prueba de hipótesis ésta no se rechaza, es decir, la posibilidad de que algunas concentraciones sobrepasen los límites permisibles no se puede descartar. Se recalculó el número de muestras para caracterizar mejor la exposición, el valor obtenido fue de 384 muestras.

Según el sub-sector, las concentraciones encontradas para soldadura pesada y estructuras son las que están en incumplimiento, pero las que fabrican artículos de metal no superan el TLV-TWA. La dispersión de los datos en el sub-sector de soldadura pesada es alta, y se puede observar un amplio rango entre el LI y el LS (4,57-31,02), por lo que se debe recalcular el número de muestras para caracterizar mejor este sub-sector; el valor calculado es 384 muestras.

3.2.2 Cobre, cromo y plomo:

Con respecto al cobre, el sector en general está en cumplimiento con la norma. De las empresas a las cuales se les detectó este metal, solamente la empresa E obtuvo en el total de las muestras (20) la presencia de cobre, esto puede suceder por el tipo de material

con que se trabaja, pues el cobre es uno de los metales que está presente en el acero. Como se observó en el Cuadro 3, los valores del MLE, LI y LS están por debajo del límite de exposición, es decir, cumplen con la norma. Para la empresa D, solamente se obtuvieron concentraciones de cobre para 2 trabajadores, los mismos que obtuvieron las concentraciones más altas para hierro y estaban laborando en espacios confinados. Los resultados se pueden atribuir al material y a la poca ventilación, pues en los demás trabajadores no se detectó cobre. Las concentraciones de este metal están por debajo de los límites establecidos en la norma. Las empresas F, I y G están en cumplimiento con la norma; en las primeras dos empresas sólo un trabajador presentó concentraciones detectables; para la última empresa fueron dos trabajadores con una muestra cada uno.

Se detectó la presencia de plomo sólo en dos empresas, M y N, que a nivel general están en incumplimiento. Según los datos del Cuadro 4, la empresa M se encuentra en posible exposición, en la cual la hipótesis nula no se rechaza, por lo que no se descarta la posibilidad de que algunas de las concentraciones se encuentran por encima del LEO. En la empresa N las concentraciones detectadas están sobre los límites permitidos. Según la literatura consultada, este metal está presente en el acero en un bajo porcentaje, pero para estos casos puede ser que el material fuera de otra calidad que el utilizado por el resto del sector.

El cromo fue detectado en las empresas A, K y M; para la primera el promedio sobrepasa el TLV-TWA, pero sólo en uno de los trabajadores se registró concentración de este metal, el mismo que tenía las concentraciones de hierro más altas; esto pudo ocurrir por el tipo de material que estaba trabajando, ya que el acero contiene los dos metales en su composición. Para las otras dos empresas las concentraciones estuvieron por debajo del límite. Cabe mencionar que la empresa N el día del muestreo estuvo trabajando con acero inoxidable, pero en ella no se detectó níquel ni cromo.

En la siguiente sección, los cálculos fueron realizados con los datos de las concentraciones de hierro, según una distribución log-normal, ya que fue el único metal que se detectó en todas las muestras

4. Caracterización de la exposición

Según la literatura consultada, la encuesta higiénica y las bitácoras de muestreo, se tomaron en cuenta los siguientes posibles determinantes de la exposición: el tipo de material con que se trabaja (acero o acero inoxidable), tipo de soldadura (arco eléctrico o MIG), técnica de corte (disco, oxiacetileno o plasma), ventilación (natural, localizada o general), distancia entre la entrada de aire y el puesto de trabajo, la distancia del punto de exposición a la zona respiratoria, la limpieza del lugar (durante o al final) y la tarea que se realiza (corte, soldadura y pulido).

Se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson con cada uno de los determinantes mencionados anteriormente, a los cuales se les asignó cualitativamente un valor.

El análisis fue realizado con un nivel de confianza del 95% y, con un valor de $P=0.000$, se determinó que la relación entre las concentraciones y determinantes es casi nula puesto que el valor de R fue inferior al 3% para cada una de las correlaciones.

Se realizaron pruebas de varianzas manteniendo el mismo nivel de confianza y se obtuvo que existe con un $P=0.000$ y una relación del 77.2% entre las concentraciones y el tipo de material utilizado; esto significa que las concentraciones pueden variar dependiendo del tipo de material con que se esté trabajando, ya sea acero inoxidable o acero.

No se detectó níquel ni cromo en las empresas donde se trabajaba con acero inoxidable, contrario a lo consultado en la literatura, donde se indica que cuando se utiliza el acero inoxidable se pueden encontrar concentraciones cuantificables de estos metales, pues son los que tienen mayor porcentaje en la composición, mientras que para el acero estas concentraciones tienden a ser más bajas.

Otra relación que se encontró con un 75% y un $P=0.000$ fue con ventilación; en otras palabras, la presencia de polvos y humos metálicos en una empresa puede aumentar o disminuir si hay ventilación, independientemente de si es natural, localizada o mecánica. También se encontró una baja relación entre los tipos de soldadura MIG y arco eléctrico, la

cual fue de un 27%; los demás factores presentaron valores de R menores al 4% y un $P=0,000$.

Para conocer si existía alguna diferencia significativa entre los tipos de soldadura, las tareas y los sub-sectores, todas por aparte, se realizaron pruebas de hipótesis, partiendo del análisis de varianzas (ANOVAS), utilizando la hipótesis nula de que las varianzas no son significativamente diferentes; además se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95%.

Para las tareas, al aplicar la prueba de Tukey, se encontró que no existe una diferencia significativa entre ellas, es decir que las tres generan exposición a polvos y humos metálicos, solo que ninguna incide sobre la otra, o sea, se pueden estar realizando las tres tareas por un mismo trabajador y las concentraciones no variarán con respecto a otro que sólo realice dos o una, por lo que la hipótesis nula para este caso no se rechazó, pues las varianzas no son diferentes.

Con respecto a los tipos de soldadura se rechaza la hipótesis nula y la prueba de Tukey indica que hay diferencia significativa entre las varianzas, es decir habrá diferencias entre las concentraciones de polvos y humos metálicos si se solda con arco o con MIG. Esto se puede notar en el Cuadro 3, al comparar los datos obtenidos por soldadura en arco eléctrico, que en promedio registraron concentraciones más altas que con soldadura MIG.

Esto concuerda con la literatura consultada, ya que se menciona que dentro de algunos de los revestimientos de los electrodos de la soldadura de arco se puede encontrar polvo de hierro, y este tipo de electrodo fue utilizado por los trabajadores muestreados, mientras que en la soldadura MIG no hay revestimiento de ningún tipo.

Para el análisis realizado entre los sub-sectores, se rechaza la hipótesis nula y al aplicar la prueba de Tukey se encontró que no hay diferencias significativas entre las empresas que se dedican a producir estructuras metálicas y soldadura pesada, pero sí se encontraron diferencias significativas entre éstas y las empresas dedicadas a artículos

metálicos. Esto se puede deber al tipo de materiales que utilizan, pues generalmente en soldadura pesada y estructuras los materiales son de mayor espesor y la soldadura utilizada generalmente es electrodo y para artículos es MIG.

Conclusiones

- El análisis estadístico para las 15 empresas muestra que en 5 de ellas se superan los límites de exposición establecidos por la INTE 31-08-04-01 para polvos y humos de hierro corregidos por jornada laboral.
- Según el análisis de varianza realizado con un 95% de confianza, entre las tareas de soldadura corte y pulido, no hay diferencia en la exposición a polvos y humos metálicos mientras se estén realizando estas labores, ya que ninguna incide sobre la otra. Sin embargo, se obtuvo que las concentraciones de pulido fueron más altas. Para una mejor caracterización de estas tareas se debe utilizar un número de muestras de 384 en corte y soldadura.
- Las concentraciones promedio encontradas para soldadura con electrodo son mayores en comparación con las obtenidas con MIG, debido a que algunos de los electrodos utilizados en las empresas tienen revestimiento de polvo de hierro, mientras que en MIG el alambre no tiene revestimiento.
- Los sub-sectores con concentraciones sobre los límites permitidos son los dedicados a la soldadura pesada y estructuras metálicas, mientras que los que fabrican artículos de metal cumplen con la norma.
- No se detectó níquel en ninguna de las muestras. Las concentraciones de cobre y cromo, en general, están por debajo de la norma; solamente una de las 15 empresas detectó en la totalidad de las muestras cobre, pero aún así no se sobrepasaron los límites permitidos.
- Las concentraciones de plomo encontradas en dos de las empresas superan el TLV-TWA y según la teoría consultada, los porcentajes de este metal son bajos, esto

quiere decir que hay materiales que podrían contener más plomo del que se reporta o que la calidad es diferente a la utilizada en el resto del sector.

- Para realizar el análisis de correlaciones se utilizaron las concentraciones transformadas y no transformadas, encontrando que los posibles determinantes de la exposición a metales en la empresa metalmecánica son: tipo de material, ventilación y tipo de soldadura. Estos resultados concuerdan con los encontrados en la literatura consultada.
- En el análisis de varianza realizado entre soldadura de arco y MIG, se encontró que hay diferencias significativas entre ellas, por lo que la elección de cualquiera de las dos técnicas influye en las concentraciones de polvo y humos de metal, en especial la de arco que en promedio fue la que sobrepasó la norma.
- Las concentraciones varían dependiendo de los sub-sectores, ya que se encontraron diferencias significativas entre las varianzas de las concentraciones cuando se fabrican artículos, estructuras metálicas o cuando se realiza soldadura pesada.
- Con respecto al sector en conjunto, se obtuvo que en promedio la concentración sobrepasa el nivel de acción. Una prueba de hipótesis para probar conformidad o no con la norma indica que el sector en general se encuentra en cumplimiento. Sin embargo, aunque los valores de tendencia de las concentraciones sean bajos, se encontró en este estudio evidencia de que algunos puestos y tareas generan exposiciones que sobrepasan varias veces los estándares para varios metales.

Recomendaciones

- Los resultados hacen pensar que es necesario mejorar las condiciones ambientales de trabajo en el sector metalmecánico, ya que en general las concentraciones sobrepasaron el límite de acción. Esto contribuiría a la mejora de la salud de los trabajadores, pues muchos de ellos no están conscientes de las afecciones que pueden ocasionar los polvos y humos de metal.
- Las empresas deben asegurarse de que los materiales con que trabajan sean de buena calidad con el fin de minimizar impurezas como el plomo, el cual podría ocasionar daños a la salud, en especial cuando la exposición es crónica.
- Es importante mejorar las condiciones de ventilación en las empresas donde la circulación del aire no es uniforme por todo el local, pues es un factor que influye en las concentraciones de polvos y humos metálicos. Aunque en este estudio no se concluyó sobre cuál es el mejor tipo de ventilación que debe existir en estos lugares de trabajo, es recomendable colocar extractores, generales o localizados, ya que con éstos se puede reducir el tiempo de permanencia de los humos y polvos en el ambiente y minimizar la exposición a estos agentes. La ventilación natural muchas veces no favorece al ambiente, pues la circulación del aire no siempre es constante o la dirección de éste no favorece a la salida de los contaminantes.
- En aquellas empresas que realicen soldadura en espacios confinados, se debe contar con extractores portátiles que puedan ser colocados en el área de soldadura, para evacuar los humos y polvos de metal del recinto y mejorar la calidad del aire para el soldador, con el fin de reducir la exposición a estos contaminantes.
- Se recomienda incentivar el uso del equipo de protección personal en los trabajadores, pues en muchas de las empresas no se utilizaba, a pesar de que el patrono les proveía de equipo a cada uno de ellos. El uso de éstos puede reducir en

alguna medida la exposición a polvos y humos de metal, tanto a nivel respiratorio, como cutáneo; además, se debería contar con protección ocular y contra quemaduras.

- Aunque en esta investigación no se evaluó el equipo de protección personal, es importante instar al uso de éste, sobretodo para la zona respiratoria, pues es la más afectada por los humos y polvo de metal. Se recomienda el uso y mantenimiento de un respirador con filtros para humos de soldadura, con la aprobación 42CFR 84 de la NIOSH.
- Realizar un muestreo en las empresas A, I y J con el número de muestras propuesto, esto con el fin de determinar mejor la exposición ocupacional a polvos y humos metálicos.
- Monitorear periódicamente el sector para comprobar que los niveles de exposición se mantienen dentro de los parámetros medidos en el presente estudio, pues si bien la exposición general refleja una situación de cumplimiento, existen operaciones y tareas en las que la exposición claramente sobrepasa los niveles permitidos.

Aportes y alcances

Este estudio presenta un panorama general de la situación de exposición a metales del sector metalmeccánico de Costa Rica. Aunque el proyecto es de tipo exploratorio, la muestra seleccionada contiene empresas de diferente tamaño, actividad y condiciones laborales, por lo que los resultados podrían extrapolarse al sector en general y ofrecen una visión de los problemas que experimenta actualmente el sector en cuanto a exposición a humos metálicos.

Los resultados obtenidos permitirán a las empresas informarse sobre la condición de sus trabajadores y los posibles problemas de salud que podrían presentarse a futuro. Además, permitirá a los empresarios iniciar con una fase de control de las concentraciones de humos metálicos de forma que se beneficie al trabajador.

Con la participación del Instituto Nacional de Seguros se pretende informar al sector gobierno / salud sobre la situación de los trabajadores y los riesgos a la salud que podrían eventualmente convertirse en enfermedades laborales con la consecuencia económica y social que inevitablemente recae sobre cada contribuyente.

Para asegurar que los resultados de esta investigación sean de conocimiento público, se está organizando, en conjunto con el INS, una sesión de comunicación de resultados, tanto para las empresas participantes como para el resto del sector. Se espera que la actividad se realice en el mes de abril del 2007.

Además se está coordinando para incluir un resumen de los resultados en la revista del INS (Preventico) con el fin de que la información llegue a otros sectores productivos e incluso se generen iniciativas parecidas en otras industrias del país.

Se está redactando un artículo científico con el fin de publicarlo en la revista del ITCR: Tecnología en Marcha y otras editoriales nacionales y extranjeras.

Bibliografía

A. Consulta a expertos

1. Ing. Ronald Jiménez. “Tipos de aceros y soldadura”. Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2006 (Comunicación personal)

B. Normas y reglamentos

1. INTE 31-08-04-01 “Concentraciones ambientales máximas permisibles en los centros de trabajo”. INTECO, 2001.

C. Libros y artículos

1. American Welding Society.1996. Manual de Soldadura. Tomo I, 8va Ed. Traducido por Ing Roberto Escalona. Prentice hall hispanoamericana S.A México.
2. Patton, W.J et al. Ciencia y técnica de la soldadura. España, 1975.
3. Perkins, J. Modern Industrial Hygiene: Cap 15. Quantitative surveying application of distributional models to exposure assessment. 1997. New York: Editorial Van Nstrand Reindhold.
4. Rasppaport, S.M.:Assesment of long-term exposuresto toxic substances in air. Am.Occup.Hyg.,35:1-121 (1991).
5. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Castillo T. Caracterización de la exposición ocupacional a humos metálicos de plomo en empresas que utilizan soldadura blanda para la fabricación de microcomponentes electrónicos, 2004.
6. Antonini, J. M. 2003. Health effects of welding. *Crit. Rev. Toxicol.* 33:61–103.

7. Beach, J. R., Dennis, J. H., Avery, A. J., Bromly, C. L., Ward, R. J., Walters, E. H., Stenton, S. C., and Hendrick, D. J. 1996. An epidemiologic investigation of asthma in welders. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 154:1394–1400.
8. IARC. 1990. Chromium, nickel, and welding. *IARC Monogr. Eval. Carcinogen. Risks Hum.* 49:447–525.
9. Martin, C. J, Guidotti, T. L., and Langard, S. 1997. Respiratory hazards of welding. *Clin. Pulm. Med.* 4:194–204.
10. Sferlazza, S. J., and Beckett W. S. 1991. The respiratory health of welders. *Am. Rev. Respir. Dis.* 143:1134–1148.
11. Simonsson, B. G., Nielsen, J., Karlsson, S.-E., Horstman, V., Kronholm-Diab, K., and Skerfving, S. 1995. A prospective study on bronchial responsiveness in newly employed workers exposed to substances potentially harmful to the airways. *Eur. Respir. J.* 8:194S.
12. Sjogren, B., Gustavsson, A., and Hedstrom, L. 1987. Mortality in two cohorts of welders exposed to high and low levels of hexavalent chromium. *Scand. J. Work Environ. Health* 13:247–251.
13. Sjogren, B., Stragis Hansen, K., Kjuus, H., and Persson, P.-G. 1994. Exposure to stainless steel welding fumes and lung cancer: A meta-analysis. *Occup. Environ. Med.* 51:335–336.
14. Wang, Z. P., Larsson, K., Malmberg, P., Sjogren, B., Hallberg, B. O., and Wrangskog, K. 1994. Asthma, lung function, and bronchial responsiveness in welders. *Am. J. Ind. Med.* 26:741–754.

D. Sitios de Internet

1. American Welding Society (AWS). Jenkins N.T, Eagar T.W, 2005. “Chemical analysis of welding fumes particles” Supplement to the welding journal, American Welding Society. Disponible en: <http://files.aws.org/wj/supplement/06-2005-JENKINS-s.pdf> Consultado el 26 de mayo, 2006.

2. British Occupational Hygiene Society. C. S. Yoon, N. W. Paik, J. H. Kim. Fume Generation and Content of Total Chromium and Hexavalent Chromium in Flux-cored Arc Welding. *Ann. occup. Hyg.*, Vol. 47, No. 8, 2003, pp. 671–680,. Disponible en <http://annhyg.oxfordjournals.org/cgi/reprint/47/8/671> Consultado el 9 de mayo, 2006.

3. Departamento del Ambiente, Navarra, España. Fernández Concha. Soldadura. “Manual de buenas prácticas ambientales”. 2002. Disponible en: http://www.medioambiente.gov.ar/archivos/web/MBP/File/buenas_practicas_SOLDADUR.pdf. Consultado el 1 de mayo, 2006.

4. Instituto Nacional de Seguros. Seguros de Riesgos del Trabajo, estadísticas 2005. Disponible en <http://portal.ins-cr.com/NR/rdonlyres/514CC270-EED9-45AF-A619-2E7A37DF5282/700/EstadísticaRT2005.xls>. Consultado el 16 de marzo, 2006.

6. Método 121 Metal & metalloid particulates in workplace atmospheres (atomic absorption). Disponible en: http://www-org.mtas.es/Insht/MTA/MA_025_A92.htm#415 Consultado el 29 de abril, 2006.

7. National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH). Kiefer M, Trout D., Wallace M. E., Health Hazard Evaluation Report 97-0260-2716. 1998. Disponible en <http://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/1997-0260-2716.pdf>.

5. Nordberg, Gunnar, 2000. Metales: propiedades químicas y toxicidad. “Enciclopedia de la OIT”. Disponible en: <http://www.mtas.es/insht/EncOIT/pdf/tomo2/63.pdf>. Consultado el 2 de mayo, 2006
6. Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica, Estadísticas de exportación año 2000, Disponible en <http://www.procomer.com/analisisdeexportaciones/pdf/primeraparte.pdf>
7. Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica, Costa Rica 2005: Estadísticas de Exportación. Disponible en http://www.procomer.com/est/mercados/libro_2005.cfm

ANEXO 1: ENCUESTA HIGIÉNICA

Tasas de producción por proceso:

Principales variaciones mensuales en la tasa de producción

Tecnologías utilizadas en los procesos:

Cantidad de piezas fabricadas por puesto

¿Realizan limpieza del puesto de trabajo?

() Si

() No



Estado _____

Antigüedad _____

Mantenimiento _____

Dirección del viento _____

VELOCIDAD DEL VIENTO _____

Otras observaciones