

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene
Ambiental

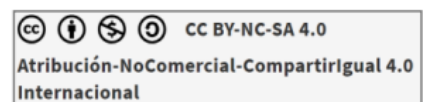
Universidad Nacional
Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas

Trabajo final de graduación para optar por el grado de
Máster en Salud Ocupacional con Énfasis en Higiene
Ambiental

Propuesta de medidas de control para mejorar las
condiciones de salud ocupacional asociadas a la
exposición a compuestos orgánicos volátiles y material
particulado en la empresa TERRAMIX

Tiffany Paola Suárez Arce

Mayo, 2024



Propuesta de medidas de control para mejorar las condiciones de salud ocupacional asociadas a la exposición a compuestos orgánicos volátiles y material particulado en la empresa TERRAMIX © 2024 por Tiffany Paola Suárez Arce tiene licencia CC BY-NC-SA 4.0.

Unidad Interna de Posgrado
Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental
Maestría en Salud Ocupacional

TEC-MSO-ATFG -02-2024

ACTA DE PRESENTACIÓN PÚBLICA DE TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN
DE MAESTRÍA

(Constancia de Defensa)

Sesión del Tribunal Examinador de la presentación pública de trabajo final de graduación celebrada a las 17:00 horas, del 22 de mayo de 2024 bajo modalidad virtual, por medio de la plataforma TEAMS, con el objeto de recibir el informe de la sustentante:

Tiffany Suárez	Carné 2022438229
----------------	------------------

Quién se acoge a la Normativa de Trabajos Finales de Graduación en Posgrado y al Reglamento de la Maestría en Salud Ocupacional, bajo la modalidad profesional, para optar al grado de Máster en Salud Ocupacional con Énfasis en Higiene Ambiental con el trabajo de graduación titulado: *“Propuesta de medidas de control para mejorar las condiciones de salud ocupacional asociadas a la exposición a compuestos orgánicos volátiles y material particulado en la empresa TERRAMIX”*

Están presentes los siguientes miembros del Tribunal Examinador:

Grado académico	Nombre completo	Puesto
Máster	Lourdes Medina	Representante por la UIP (preside)
M.Sc.	Clemens Ruepert	Profesor tutor
M.Sc.	Karla Solano	Profesor lector externo

Una vez realizada la presentación del Trabajo final de graduación y realizada la deliberación correspondiente, se le asigna una nota de 100 con observaciones, por lo que el Presidente del Tribunal Examinador declara a la persona sustentante Tiffany Suárez, acreedora al grado de Máster en Salud Ocupacional con Énfasis en Higiene Ambiental.

Se da lectura al acta que firman los miembros del Tribunal Examinador y la persona sustentante, a las 18:34 horas del 22 de mayo de 2024.

CLEMENS GERARDUS
MARIA RUEPERT
(FIRMA)

Firmado digitalmente por
CLEMENS GERARDUS MARIA
RUEPERT (FIRMA)
Fecha: 2024.05.29 22:32:29 -06'00'

M.Sc. Clemens Ruepert
Tutor

MARIA DE
LOURDES
MEDINA
ESCOBAR (FIRMA)

Firmado digitalmente por
MARIA DE LOURDES
MEDINA ESCOBAR (FIRMA)
Fecha: 2024.05.24 19:24:42

Máster. Lourdes Medina
Representante UIP

KARLA SALOME
SOLANO DIAZ (FIRMA)

Firmado digitalmente por KARLA
SALOME SOLANO DIAZ (FIRMA)
Fecha: 2024.05.31 11:13:45
-06'00'

M.Sc. Karla Solano
Lector externo


Tiffany Suárez
Sustentante

Agradecimientos

Primeramente, agradecer a la empresa TERRAMIX por permitirme realizar mi trabajo final de graduación en una empresa con una larga trayectoria en el uso de agentes químicos, y a la cual espero contribuir con mi granito de arena a partir de los resultados obtenidos.

Al mismo tiempo, agradecer al Encargado del Departamento de Salud Ocupacional y Ambiente, Juan Rafael Suárez, quien, a la vez, es mi papá, por haberme apoyado en todo desde el principio; así como a los jefes de área de Tratamiento de Superficies y Trimming, respectivamente, Greivin Porras y Carlos Arauz, quienes aparte de colaborar con entrevistas, amablemente compartieron información pertinente para el estudio. Asimismo, a los colaboradores que formaron parte de las mediciones cuantitativas de exposición laboral, ya que sin ellos este trabajo tampoco habría sido posible.

A Clemens Ruepert, mi tutor, a quien le estaré eternamente agradecida por su paciencia y amabilidad para explicarme y guiarme en todo el proceso de ejecución de la tesis; así como a Lourdes Medina, por aceptar a ser mi lectora y, de igual manera, colaborar en mi proceso de tesis y ayudarme cuando más lo necesitaba.

Finalmente, y no menos importante, a las universidades que hicieron posible las mediciones cuantitativas de exposición laboral, el Instituto Tecnológico de Costa Rica y la Universidad Nacional, ya que se utilizó equipos de muestreo de ambas; así como al Laboratorio de Análisis de Residuos de Plaguicidas, del Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas, donde se llevó a cabo el análisis de los datos de medición por medio del cromatógrafo de gases utilizado por Clemens.

Dedicatoria

En primer lugar, a Dios: por ser mi guía y mi acompañante en todo momento, por nunca soltarme.

En segundo lugar, a mi papá: eres y siempre serás un ejemplo para mí.

En tercer lugar, a mi esposo: por ser mi confidente, mi guía, mi apoyo; espero que me alcance la vida para poder devolverte todo el amor que me has dado.

A mi familia: por siempre estar para mí y apoyarme.

Y finalmente, por segunda vez le dedico una tesis a mi hermana menor, Lizzy Suárez: espero generar en ti la confianza de que todo se puede cuando existe esfuerzo y dedicación.

Resumen

De acuerdo con la IARC (2012b), se puede clasificar la exposición ocupacional a distintos agentes químicos en la industria del caucho como carcinogénicas en el grupo 1, específicamente, el uso de los compuestos orgánicos volátiles (COV) en la actividad de pintor, y la exposición a sílice cristalina por la tarea de sandblasting, ambas dentro del grupo 1 (IARC, 2012a, 2012b).

La investigación tiene como objetivo evaluar los riesgos químicos asociados a la exposición ocupacional por vía inhalatoria y dérmica a COV tales como el tolueno, xileno y MIBK; así como a material particulado por medio de una caracterización básica y mediciones ocupacionales que permitan identificar los determinantes de exposición y proponer medidas de control con el fin de reducir la exposición laboral.

Se utiliza la metodología de la caracterización básica para describir los procesos, el entorno y las prácticas laborales, y se describen los agentes químicos. Para complementar el análisis del entorno laboral, se realiza un micro estudio de la climatología de viento de la zona por medio de la herramienta *Daily Mean Composites* del reanálisis de Kalnay et al. (1996). También, se utiliza el modelo cualitativo Control of Substances Hazardous to Health (COSHH) Essentials para evaluar exposición inhalatoria, y el método semicuantitativo DREAM (Dermal Exposure Assessment Method) para evaluar la exposición dérmica. Se evalúan mediciones de higiene anteriores y se realizan mediciones actuales siguiendo los métodos cuantitativos NIOSH 1501 y 2555, y MDHS 14/4.

El estudio arrojó que los procesos realizados, tanto en el área de Tratamiento de Superficies como en el departamento de Trimming, son altamente manuales, por lo que los trabajadores se encuentran constantemente en contacto con las fuentes de emisión de vapores, nieblas y partículas; en consecuencia, expuestos por vía inhalatoria durante toda su jornada. Ambos entornos laborales cuentan con poca o deficiente ventilación general; aun cuando los edificios se encuentran diseñados a favor de la dirección de viento predominante, que es del Noreste, mientras que la ventilación por extracción localizada es ineficiente. Entre las prácticas laborales se encontró que algunas tareas se realizan de manera tosca, favoreciendo el derrame de materia prima y la aspersion de partículas en el ambiente.

A partir del modelo COSHH se obtuvo un nivel de alto peligro a partir del cual se recomienda tomar medidas de control especiales; mientras que la ruta dérmica más importante, de acuerdo con el DREAM, se constituye por la emisión, excepto en la línea de fosfatizado, donde la ruta más relevante fue por transferencia.

Las mediciones realizadas permitieron exponer la condición de sobre exposición tanto de los operarios de línea de pintura como de sandblasting, ya que en algunos casos la exposición supera en hasta 7,5 veces el límite de exposición ocupacional establecido. Se elaboró una propuesta de medidas que abarcan desde eliminación, pasando por la sustitución, reducción, encerramiento completo, segregación, encerramiento parcial, ventilación por extracción localizada y ventilación general, hasta controles administrativos y de uso de equipo de protección personal.

Palabras claves: compuestos orgánicos volátiles, exposición ocupacional, industria de caucho, material particulado, MIBK, pintura manual, sandblasting, tolueno.

Índice

I. INTRODUCCIÓN.....	1
A. Identificación de la empresa.....	1
1. Visión y misión.....	1
2. Antecedentes históricos.....	1
3. Ubicación geográfica.....	1
4. La organización	1
5. Número de empleados	2
6. Tipos de productos	2
7. Mercado	2
8. Proceso productivo	3
B. Justificación	3
C. Objetivos.....	5
1. General	5
2. Específicos	5
D. Alcances y limitaciones del trabajo	6
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	7
III. METODOLOGÍA.....	12
A. Diseño y población de estudio.....	12
1. Diseño.....	12
2. Población	12
B. Métodos, estrategias, técnicas e instrumentos de recolección de datos	14
1. Revisión bibliográfica	14
2. Caracterización básica	14
3. Estrategias de medición	15

4.	Elaboración de la propuesta	17
IV.	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	20
A.	Caracterización básica	20
1.	Procesos	20
2.	Entorno laboral	31
3.	Prácticas laborales	36
4.	Agentes	39
5.	Resumen de la caracterización básica	41
B.	Estimación de la exposición.....	43
1.	Resultados de mediciones anteriores	44
2.	Modelos de exposición	45
C.	Constitución y validación de los GES.....	46
V.	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	50
VI.	CONCLUSIONES	63
VII.	RECOMENDACIONES	65
VIII.	BIBLIOGRAFÍA.....	67
IX.	APÉNDICES	76
X.	ANEXOS.....	101

Índice de cuadros

Cuadro 1. Turnos, jornadas laborales y número de colaboradores de ambas áreas de trabajo.....	13
Cuadro 2. Identificador de puestos de trabajo.....	13
Cuadro 3. Categorías y rangos de estimación de la exposición de la herramienta DREAM.	16
Cuadro 4. Estimación de exposición inhalatoria, métodos y equipos de muestreo.	17
Cuadro 5. Niveles de probabilidad.	18
Cuadro 6. Niveles de consecuencia.	19
Cuadro 7. Niveles del factor de costo.	19
Cuadro 8. Descripción del proceso completo de la línea de fosfatizado.	22
Cuadro 9. Descripción del proceso completo de la línea de pintura.	26
Cuadro 10. Descripción del proceso de pintura y sandblasting de insertos fieldlock.	29
Cuadro 11. Materias primas y concentraciones de uso.	39
Cuadro 12. Materias primas y sus agentes químicos constituyentes utilizadas en cada puesto de trabajo.	40
Cuadro 13. Límites de exposición ocupacional por agente químico.	41
Cuadro 14. Controles de riesgos actuales según área de trabajo de acuerdo con la jerarquía de control de riesgos.	43
Cuadro 15. Resultados de las mediciones de exposición inhalatoria del LHA-TEC del 2022.	44
Cuadro 16. Resultados de la estimación dermal mediante herramienta DREAM.	46
Cuadro 17. Factores determinantes de exposición según el puesto de trabajo. Los números indican el grado de contaminación de la superficie y los colores el nivel de riesgo obtenido en el Apéndice 5.	47
Cuadro 18. Grupos de exposición similar y su magnitud de exposición considerada.	48
Cuadro 19. Resultados de los muestreos de MIBK, tolueno y MP.	48
Cuadro 20. Propuesta de medidas de control para exposición laboral.	50
Cuadro 21. Orden de implementación de controles para cada puesto de trabajo.	62

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de lavado de Tratamiento de Superficies.	20
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de pintura de Tratamiento de Superficies.	20
Figura 3. Área de trabajo del puesto TS-a donde se muestran los baños de lavado, así como los totes contenedores (izquierda-arriba) de los cuales se extrae materia prima para los refuerzos.	21
Figura 4. Área de trabajo del puesto TS-b donde se muestra la máquina automática de pintura por inmersión, así como los estañones de los cuales se extrae materia prima para los refuerzos.	23
Figura 5. Proceso de pintura manual de aros.	24
Figura 6. Subproceso de limpieza de varillas.	25
Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de insertos de Tratamiento de Superficies.	27
Figura 8. Diagrama de flujo del proceso de sandblasting de Trimming.	27
Figura 9. Proceso de pintura manual de insertos fieldlock.	28
Figura 10. Distribución y configuración del área de Tratamiento de Superficies. Los números se refieren a los procesos numerados en las figuras 1, 2 y 7.	31
Figura 11. Distribución y configuración del departamento de Sandblasting del área de Trimming. Los números hacen alusión a los procesos numerados en la figura 8.	33
Figura 12. Mapas de climatología de viento a 925 mbar para la zona de estudio. La barra vertical indica la magnitud del viento del mapa general (izquierda abajo) y la barra horizontal indica la magnitud del viento del mapa centrado en la zona de Santa Ana, Costa Rica (derecha arriba). La dirección del viento está representada por las flechas negras del mapa general.	35
Figura 13. Mapa de TERRAMIX que muestra la ubicación de los recintos de trabajo de Tratamiento de Superficies (TS) y Trimming (TR) con respecto a la rosa de los vientos. ...	36
Figura 14. Medida de control #2: uso de rieles propios para la labor de pintura de piezas pequeñas, de modo que estas se acoplen a los relieves del riel.	50
Figura 15. Medida de control #6: actualmente ya se cuenta con el uso de totes en la parte izquierda de los baños de lavado. La recomendación es hacer un mejor uso de estos espacios, de modo que se coloquen totes de cada agente en el lugar correspondiente con el fin de realizar las recargas por medio de algún sistema mecanizado automático. Aplica lo mismo para la línea de pintura y sandblasting.	51
Figura 16. Medida de control #8: se propone la creación de cabinas de pintura o arenado como la que se muestra en la figura, con la diferencia de que los extractores se situarían por la zona caminable del trabajador; es decir, por debajo de este. Asimismo, entiéndase que, en el caso de TS, en donde se encuentra el vehículo se colocarían los rieles y, para TR, en vez del vehículo se ubicarían las mesas de trabajo.	52

Figura 17. Medida de control #9: se recomienda el uso de este tipo de cabinas de arenado, y que proveen un encerramiento completo del agente reduciendo al máximo la exposición del trabajador.	53
Figura 18. Medida de control #10: se propone la colocación de una separación física entre áreas de trabajo del mismo recinto (en donde solo se deje espacio para la pasada con las perras hidráulicas).....	54
Figura 19. Medida de control #11: se recomienda hacer el uso adecuado de los encerramientos parciales, de modo que el extractor se coloque donde se encuentra el cuadro con la x roja, el trabajador se ubique en el cuadro con la x amarilla y el ventilador se instale en el cuadro con la x azul. De este modo, si el trabajador se ubica dentro de la cabina con la dirección recomendada, el agente será extraído sin pasar por la trayectoria respirable del colaborador.	55
Figura 20. Medida de control #12: se recomienda mantener las puertas de la máquina de inmersión cerradas cuando se esté soplando la gota, esto con el fin de evitar la exposición al compañero del otro lado, y reducir la aspersion del contaminante en el aire.	56
Figura 21. Medida de control #13: se propone la colocación de capillas de extracción en las mesas de trabajo de TR con el fin de reducir la liberación de polvo en el ambiente de trabajo.	57
Figura 22. Medida de control #14: se propone la instalación de dispositivos móviles de captura tipo campana dentro de las cabinas de extracción, de modo que el trabajador las pueda colocar en donde vaya a realizar las labores de pintura manual.	58
Figura 23. Medida de control #15: la imagen representa el método LVHV para humos de soldadura; sin embargo, se recomienda valorar la opción de añadir dispositivos de captura tipo extractor a las pistolas de pintura manual con el fin de capturar aquellos residuos que quedan de la pistola y del contaminante en el aire.	59
Figura 24. Medida de control #16: se recomienda la instalación de rejilla con orificios pequeños que permita la circulación general del viento en el recinto sin dejar escapar tanto contaminante en el aire exterior.	60

Índice de apéndices

Apéndice 1. Organigrama de TERRAMIX.....	76
Apéndice 2. Niveles de peligro y sus categorías para cálculo del riesgo.	77
Apéndice 3. Niveles de frecuencia de uso y sus categorías para cálculo del riesgo.	77
Apéndice 4. Matriz de riesgos obtenida al multiplicar el peligro por la frecuencia de uso, los colores representan a) verde: riesgo bajo, b) amarillo: riesgo medio, c) naranja: riesgo alto, d) rojo: riesgo muy alto.....	77
Apéndice 5. Matriz de niveles de riesgo obtenidos por factor determinante y puesto de trabajo. Los números representan la multiplicación del valor asignado para nivel de peligro y nivel de frecuencia de uso, respectivamente. NA=No Aplica.....	77
Apéndice 6. Proceso detallado de medición.	78
Apéndice 7. Tabla utilizada para la recolección de datos de muestreo.	82
Apéndice 8. Tabla utilizada como lista de chequeo para método NIOSH 1501 y 2555. ...	83
Apéndice 9. Tabla utilizada como lista de chequeo para el método MDHS 14/4.....	83
Apéndice 10. Mediciones de magnitud del viento y temperatura con anemómetro.	84
Apéndice 11. Productos primarios de Tratamiento de Superficies (bandas).....	85
Apéndice 12. Productos intermedios de Tratamiento de Superficies.	85
Apéndice 13. Productos finales de Tratamiento de Superficies.	86
Apéndice 14. Productos primarios del departamento de Sandblasting de Trimming.	86
Apéndice 15. Productos finales del departamento de Sandblasting de Trimming.	86
Apéndice 16. Datos de viento y temperatura anotados en la planta de TS (originales)....	87
Apéndice 17. Datos de viento y temperatura anotados en la planta de TR (originales). ..	88
Apéndice 18. Modelo conceptual de exposición a compuestos orgánicos volátiles y material particulado: la ruta de inhalación se muestra en color azul, la vía por ingestión en color rojo y la dérmica en color verde. Los polígonos en color gris aplican a varias rutas de exposición. Se explica en el texto cómo aplica a cada agente químico.	89
Apéndice 19. Resultados de la aplicación de la herramienta COSHH Essentials.	90
Apéndice 20. Datos de muestreo anotados (originales).	90
Apéndice 21. Listas de chequeo usadas (originales).	91
Apéndice 22. Entrevista aplicada a los jefes de área.....	92
Apéndice 23. Consentimiento informado entregado para firma de los cinco colaboradores que participaron en el estudio.....	93
Apéndice 24. Información adicional para cada agente químico.....	94
Apéndice 25. Matriz de factores de reducción y justificación por puesto de trabajo y medida de control.	95

Índice de abreviaturas

ACGIH: Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (siglas en inglés)

AIHA: Asociación Americana de Higienistas Industriales (siglas en inglés)

COV: compuesto(s) orgánico(s) volátil(es)

GES: grupos de exposición similar

HSE: Health and Safety Executive (siglas en inglés)

IARC: Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (siglas en inglés)

INSST: Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (de España)

LCE: exposición acumulativa de por vida (siglas en inglés)

MP: material particulado

NC: Niveles de Consecuencia

NIOSH: Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (siglas en inglés)

NP: Niveles de Probabilidad

NR: Niveles de Riesgo

OEL: límite(s) de exposición ocupacional (siglas en inglés)

OSHA: Occupational Safety and Health Administration

TR: Trimming

TS: Tratamiento de Superficies

USEPA: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (siglas en inglés)

I. INTRODUCCIÓN

A. Identificación de la empresa

1. Visión y misión

- a. Visión: Ser el mejor y más grande suplidor del mundo de soluciones de sellado de tuberías y aplicaciones especiales relacionadas.
- b. Misión: Ser el proveedor preferido de soluciones de sellado para tuberías: desarrollando y fabricando productos de vanguardia que cumplan y excedan los estándares de calidad, así como requisitos del cliente; aplicando nuestra experiencia y amplio conocimiento de las tecnologías de sellado de tuberías para proporcionar un servicio al cliente superior y personalizado.

2. Antecedentes históricos

TERRAMIX S.A., fue fundada en La Uruca, San José, Costa Rica, bajo el nombre de Hules Técnicos S.A. en el año de 1981, con la misión de convertirse en líder de la fabricación de sellos de caucho para tuberías de PVC, metal, concreto y otras aplicaciones; de tal modo que abasteciera al mercado en los Estados Unidos y Europa.

3. Ubicación geográfica

Actualmente bajo la razón social de TERRAMIX S.A. (Régimen de Zona Franca), la empresa mantiene sus instalaciones en Pozos de Santa Ana, San José, 150 E y 150 SE del Servicentro UNO Lindora.

4. La organización

La fuerza laboral de TERRAMIX está organizada como se observa en el Apéndice 1, y está constituida por una Junta Directiva, Gerencias, Jefes de áreas y los Operarios. Asimismo, se puede observar que cuenta con un Departamento de Salud Ocupacional y Ambiental en el que se cuenta con un solo colaborador.

5. Número de empleados

La fuerza laboral de TERRAMIX está conformada por 830 hombres y 60 mujeres, para un total de 890 personas; las cuales provienen de distintas partes del país, predominando del Valle Central desde provincias como San José, Alajuela, Cartago y Heredia, y se dividen en 790 personas para el área operativa de la empresa y 100 colaboradores administrativos.

6. Tipos de productos

Las actividades principales de TERRAMIX son la manufactura y venta de productos de hule en variedad de tamaños y estilos para los diferentes mercados internacionales; además de productos de precisión mecanizados que se utilizan para fijar una tubería con otra, adhesivos, partes de plástico, bolas de beisbol, soporte para cimientos de la línea férrea y servicios de mezclado del caucho. Todos los diferentes sellos y demás productos de caucho o metal se producen con el nombre de HULTEC y la gran mayoría se comercializan por medio de la casa matriz S&B Technical Products, ubicada en Fort Worth, Texas, donde también se cuenta con una planta de producción en Maloney. Algunas líneas de sellos de caucho que se producen son: Rieber, Sewer, Tyton y sellos especiales (a pedido del cliente).

7. Mercado

TERRAMIX, aplicando desde sus inicios tecnología de punta y un enfoque agresivo e innovador, se convirtió en uno de los principales proveedores de sellos de caucho a nivel mundial. Hoy en día tiene amplia presencia en el mercado de los Estados Unidos, Canadá, México y Europa. Terramix/Hultec está orgullosa de la calidad de sus productos y como muestra de ello ha establecido, mantiene y mejora continuamente su Sistema de Gestión de Calidad, como medio para asegurar la calidad de sus productos y de su servicio post-venta, de manera que toda la producción se exporta y una pequeña cantidad se vende en mercado local para clientes como: Amanco y Aliaxis.

8. Proceso productivo

El proceso total consiste en la entrada de un pedido por parte de un cliente al área Administrativa, esta le reporta a Bodega, Mezclado y Precisión que deben comenzar sus operaciones. Precisión y Moldes generan los moldes para los insertos metálicos. Bodega realiza entrega de insumos en Mezclado y en Insertos Metálicos. Posteriormente Mezclado genera el hule, e Insertos Metálicos crea los aros que serán enviados a Tratamiento de Superficies (TS) para limpiarlos y pintarlos. Luego, tanto el hule del área de Mezclado como los aros metálicos provenientes de Insertos Metálicos son usados en Inyección para fabricar los empaques con insertos metálicos.

Por su parte, Coextrusión realiza la unión de hule suave y duro para el área de Compresión. Luego, Compresión y Extrusión fabrican sus empaques. Finalmente, si estos empaques están correctamente realizados, pasan a Control de Calidad, de lo contrario, son enviados a Trimming (TR) para su reparación y posterior pintura en Tratamiento de Superficies. Cuando Control de Calidad determina que los empaques cumplen con todos los requisitos, estos son empacados y despachados en el área de Embalaje/Despacho.

B. Justificación

De acuerdo con la publicación realizada por Santonen et al. (2016) sobre la exposición ocupacional a distintos agentes químicos en la industria del caucho, se ha llegado a conclusiones de que existe suficiente evidencia para declarar las actividades relacionadas a la industria del caucho como carcinogénicas en el grupo 1 (IARC, 2012b). Dentro de los efectos que se han encontrado a causa de la exposición laboral a sustancias de la industria del caucho está la carcinogenicidad, la genotoxicidad y algunos otros no relacionados al cáncer como decrementos en la función respiratoria y aumento de tos crónica (Attarchi et al., 2013; Jönsson et al., 2007a; Jönsson et al., 2007b; Jönsson et al., 2008; Meijer et al., 1998; Zuskin et al., 1996).

Dada la evidencia de los efectos de la exposición ocupacional en este tipo de industria, y tomando en cuenta que los procesos productivos son de tipo manufactura, se hace evidente que las vías de exposición pueden ser por medio de inhalación, ingestión y vía dérmica; tal y como se presentan estos agentes en el entorno laboral de TS y TR, este último específicamente en el proceso de sandblasting.

Ambas áreas han presentado problemas relativos a la exposición laboral, entre ellos, molestias y quejas por parte de los trabajadores debido a las partículas de contaminantes que se liberan en los procesos de trabajo. Tomando en cuenta que algunos de los compuestos orgánicos volátiles (COV) utilizados en TS son metil isobutil cetona, tolueno, xileno, etil benceno, y que el material particulado (MP) generado por la actividad de sandblasting están categorizados en el grupo 1 como carcinógenos (IARC, 2012b, 2012a), cobra vital importancia realizar evaluaciones de exposición ocupacional a los trabajadores de la empresa en cuestión, con el fin de garantizar una adecuada vigilancia ante la posible exposición a agentes químicos carcinogénicos.

Por ello, y como parte del esfuerzo para lograr dichas intervenciones oportunas, la empresa había contratado al Laboratorio de Higiene Analítica del Tecnológico de Costa Rica para realizar mediciones de exposición laboral a algunos factores de riesgo químico en mayo del 2022, las cuales no se realizaban desde hacía siete años; sin embargo, esos análisis no se lograron priorizar.

Basados en las mediciones de exposición inhalatoria se concluyó que se espera una exposición no aceptable a algunos compuestos orgánicos volátiles para algunos puestos de trabajo, lo que requiere un análisis a mayor profundidad para poder recomendar mejoras con el fin de reducir (o controlar) esta exposición.

Cabe resaltar que esta evaluación puede beneficiar no solo a los colaboradores que formen parte del estudio, sino también a aquellos que, por diferentes razones, no quieran o no puedan participar; generando así una relevancia social para la organización, porque dichas propuestas de mejora pueden generar cambios significativos al promover condiciones en el ambiente de trabajo que sean más seguras y de mayor productividad para todos los trabajadores. Lo anterior permite afirmar que las condiciones de trabajo actuales proporcionarán el diagnóstico para la posterior evaluación y control de las exposiciones, con el objetivo de lograr una intervención oportuna y temprana en los trabajadores de la empresa TERRAMIX.

C. Objetivos

1. General

Contribuir con la reducción de la exposición ocupacional por vía inhalatoria y dérmica a compuestos orgánicos volátiles y material particulado a través de una caracterización básica y mediciones cuantitativas con el fin de proponer mejoras en las medidas de control en las áreas de Tratamiento de Superficies y Trimming de la empresa TERRAMIX.

2. Específicos

- a. Realizar una caracterización básica de exposición ocupacional a agentes químicos que permita crear grupos de exposición similar de acuerdo con los distintos determinantes de exposición.
- b. Evaluar la exposición a compuestos orgánicos volátiles y material particulado en los grupos de exposición similar identificados a través de los distintos determinantes de exposición con el fin de determinar las medidas de control.
- c. Proponer mejoras en los controles de riesgos químicos para reducir la exposición a compuestos orgánicos volátiles y material particulado de modo que se pueda disminuir la exposición de varios puestos de trabajo a la vez.

D. Alcances y limitaciones del trabajo

La propuesta de investigación tiene como alcance las áreas de Tratamiento de Superficies y el departamento de Sandblasting del área de Trimming, puestos de trabajo en donde se labora con compuestos orgánicos volátiles y material particulado (generado por el sandblasting), respectivamente. Estas áreas fueron escogidas porque se encontró en mediciones de higiene analítica anteriores que algunos puestos de trabajo superan los límites de exposición ocupacional a sus contaminantes.

La idea del estudio es llevar a cabo una evaluación cualitativa de la exposición laboral a los agentes químicos en el área para tener mayor claridad cuáles son los factores que contribuyen a esta exposición, esto con el fin de identificar cuáles son los puestos de trabajo que requieren una estimación cuantitativa de la exposición.

Además, siendo TERRAMIX una empresa manufacturera de caucho, se estarían dejando por fuera del estudio los puestos de trabajo relacionados con la manufactura de caucho y los humos de vulcanización de estos. Asimismo, la propuesta no considera la exposición a otros agentes químicos a los que los colaboradores también podrían estar expuestos; ya que se enfoca en exposición inhalatoria y dérmica, por lo que no se consideran otras rutas de exposición. Finalmente, esta propuesta de trabajo de graduación se encuentra restringida por el hecho de que el estudio no entra en el proceso de intervención, siendo que no se podrá conocer si las propuestas de mejora aquí planteadas serán eficaces.

No se encontraron limitantes en la ejecución del trabajo final de graduación.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La presente revisión bibliográfica se enfoca en mostrar resultados de búsqueda literaria para la exposición a los agentes bajo estudio, y para entenderlos a mayor profundidad se utiliza la definición de USEPA (2014) de un COV, que es cualquier sustancia orgánica que tenga la capacidad de evaporarse en condiciones atmosféricas normales de presión y temperatura. La Unión Europea (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s.f.) utiliza una definición basada en el punto de ebullición, en la cual se clasifica un COV como cualquier hidrocarburo cuyo punto de ebullición inicial sea inferior o igual a 250° C, tomando en cuenta que la medida se haya realizado a 101,3 kPa. Estos compuestos causan efectos agudos y crónicos en la salud (USEPA, 2019).

Algunos de estos efectos a corto y largo plazo por la exposición a COV aumentan el riesgo de desarrollar problemas respiratorios, leucemia, deficiencias neurocognitivas, por mencionar algunas enfermedades, es por ello que los COV se han clasificado como mutagénicos, genotóxicos, neurotóxicos y carcinogénicos (A. J. Li et al., 2021). Asimismo, como bien lo han mencionado estos autores, la exposición a COV puede ocurrir por vía inhalatoria (Lamplugh et al., 2019; Wang et al., 2018) y por contacto dérmico (Creta et al., 2017; Ding et al., 2009; Jakasa et al., 2015).

Por su parte, la IARC ha recopilado suficiente evidencia en humanos para clasificar las nieblas de ácidos inorgánicos fuertes que contienen sulfuro como cancerígenas en el Grupo 1, en donde ha destacado el cáncer de laringe y una asociación positiva con el cáncer de pulmón (IARC, 2012b). Para los disolventes bajo estudio, el tolueno y el xileno se encuentran en el grupo 3 (no clasificable en cuanto a su carcinogenicidad para los seres humanos) y la metil isobutil cetona (MIBK) en el grupo 2B (posible cancerígeno para los humanos); además, la exposición ocupacional como pintor ha sido clasificada por la IARC en el Grupo 1, debido a un mayor

riesgo de cáncer de pulmón y en el aumento del riesgo de mesotelioma y cáncer de vejiga (IARC, 2012b). En cuanto a la exposición a sílice cristalina, la IARC clasifica este agente como cancerígeno para humanos en el Grupo 1 (IARC, 2012a) que, en este estudio, está relacionado a la actividad de sandblasting en el área de Trimming.

Con respecto a la exposición a COV, algunos autores han realizado estudios específicos sobre evaluaciones de exposición ocupacional, como Q. Li et al. (2019), quienes investigaron las concentraciones de emisión de COV, los perfiles y su potencial de formación de ozono en una fábrica de calzado de caucho, con el fin de analizar los riesgos a la salud de los trabajadores. En dicho estudio (Q. Li et al., 2019) se encontró que los trabajadores no sufrieron de riesgo de exposición ocupacional a corto plazo; no obstante, los valores del riesgo de padecer cáncer por exposición a COV fueron mayores a 10^{-4} en hidrocarburos como el benceno, el etilbenceno, bromodichlorometano y 1,1,2-tricloroetano, lo que asociaron causalmente a un riesgo de cáncer a largo plazo. Así también, Niaz et al. (2015) recopilaron referencias de más de 250 artículos revisados por pares, de los que se incluyeron 130 relevantes para el xileno. Este estudio concluye que la exposición a corto plazo a este tipo de agentes produce irritación de la nariz, los ojos y la garganta, lo que provoca efectos nocivos neurológicos, gastrointestinales y reproductivos; es decir, sus efectos peligrosos apuntan al sistema respiratorio, el nervioso central, el cardiovascular y el renal. Asimismo, los autores mencionan que las enfermedades crónicas por la exposición a este tipo de sustancias se ven agravadas cuando los trabajadores utilizan otros productos químicos como tolueno (Niaz et al., 2015), situación que ocurre diariamente en la empresa TERRAMIX.

Por lo que se refiere a evaluaciones de exposición acumulativas de por vida (LCE, por sus siglas en inglés), autores como Hidajat et al. (2019) evaluaron la asociación entre la LCE y la mortalidad por cáncer usando la base de datos EXASRUB, la cual provee mediciones de exposición personal

y de concentración de polvo y vapores de caucho en el aire, así como nitrosaminas-n. Estos autores encontraron que los diferenciales observados en los niveles de exposición acumulada de estos agentes sugieren que los trabajadores de la industria del caucho se encuentran en un mayor riesgo de mortalidad por cáncer. Esto por citar algunas de las exposiciones a las que los trabajadores se encuentran involucrados debido a que la industria es de caucho.

Al mismo tiempo, otros autores como Golbabaie et al. (2018) realizaron una evaluación más específica en trabajadores del sector de pintura expuestos ocupacionalmente a solventes orgánicos, en el que encontraron que la exposición a COV afecta las funciones cognitivas incluso estando por debajo de los límites de exposición ocupacional (OEL), provocándoles un mayor riesgo de padecer mala memoria y tiempo de reacción. Esto por medio de un estudio de caso control, en el que aplicaron el método 1501 del Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH, por sus siglas en inglés). Por su parte, Lee et al. (2011) encontraron que el modelo COSHH Essentials funciona bien para proveer recomendaciones sobre situaciones complejas en el manejo de COV, dadas las múltiples exposiciones químicas volátiles de plantas de producción de pintura, pues el modelo está acorde a los controles que ya se tenían implementados en la planta evaluada. Sin embargo, algunos de los controles que se implementan en plantas de pintura algunas veces suelen ser deficientes, es por ello que otros autores se han dedicado a estudiar la eficacia de los controles relacionados a los COV, encontrando que el desempeño promedio de los controles excede el 90% de eficacia cuando estos son utilizados en conjunto; es decir, cuando se implementan varios de estos a la vez, siendo algunos de ellos contención, ventilación por extracción y extracción por bomba de tambor (Bluemlein et al., 2018).

Por otro lado, se ha investigado ampliamente la exposición ocupacional a material particulado y las consecuentes enfermedades cardiovasculares

(Fang et al., 2010; USEPA, 2016), de los que se sugiere una posible asociación entre este tipo de exposición ocupacional y la mortalidad por cardiopatía isquémica, así como infartos de miocardio no fatales y establecimiento de causalidad entre la variabilidad de la frecuencia cardíaca y la inflamación sistémica; además de asma agravado y una disminución de la función pulmonar. Por estas razones, autores como Radnoff & Kutz (2014) estudiaron la exposición ocupacional a sílice cristalina en operaciones abrasivas de arenado, en la cual, encontraron que existe un número importante de factores que contribuyen a la sobreexposición, tales como el aislamiento del área de arenado, la limpieza y el uso inadecuado de equipos de protección respiratoria. Los autores apuntan un resultado interesante y es que la medición de la exposición de estos trabajadores representó un desafío, ya que los colaboradores evaluados realizaron esta tarea de manera intermitente durante el turno de trabajo, quitándose con frecuencia sus cascos de protección. Otro resultado importante de este estudio (Radnoff & Kutz, 2014), es que a pesar de que en el centro de trabajo se trató de implementar el uso de productos que no contuvieran sílice, según las FDS, se logró obtener que en la composición química de estas sustancias sí existía la presencia de sílice, por lo que, aunque se implemente el control de sustitución, se debe verificar que el nuevo producto no contiene, en efecto, tal agente.

Por su parte, autores como Nasirzadeh et al. (2022) evaluaron el riesgo de silicosis dada la exposición ocupacional a sílice cristalina, por medio de una revisión sistemática, en la cual encontraron que los OEL estaban por arriba de aquellos recomendados por entidades como NIOSH o la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH, por sus siglas en inglés), por lo que recomiendan crear programas de control de exposición a sílice en los centros de trabajo. Cabe resaltar que los autores destacan el sandblasting como uno de los puestos de trabajo en los que existe exposición a este agente.

Por su lado, Sierra-Calderon et al. (2018) también realizaron una revisión desde el punto de vista de salud y seguridad ocupacional sobre la sílice en la industria de sandblasting, en la que se concluyó que la actividad es una de las más dañinas ocupacionalmente, esto debido a la enfermedad más relacionada al proceso, como lo es la silicosis, y por estar relacionada al riesgo de cáncer de pulmón por la exposición a carburo de silicio y otras partículas. Los autores apuntan; además, que los principales generadores de esta exposición son la falta de uso de equipo de protección personal adecuado, así como el desconocimiento frente al uso de estos agentes.

Es por ello que, otros estudios como el de Ortiz Vásquez & Rincón Cuervo (2014) describen la jerarquía de controles frente al peligro por exposición a agentes químicos, en su caso, en procesos de pintura del sector industrial; en donde los autores concluyen que para disminuir el riesgo a valores dentro los límites de exposición, las acciones se deben enfocar en implementar controles de: sustitución; basados en las fichas de datos de seguridad y las condiciones de uso de la sustancia, de ingeniería; tales como los métodos de extracción localizada y la ventilación general, sin olvidar los controles administrativos, ya que estos permiten a las organizaciones tomar acciones para la mejora.

Por tanto, es evidente que los resultados de varios estudios enfatizan la necesidad de ocuparse por la exposición a distintos agentes químicos de los trabajadores de la industria del caucho; esto debido a la variedad de formas de exposición ocupacional presentes. En consecuencia, se utilizará el método de la Asociación Americana de Higienistas Industriales (AIHA, por sus siglas en inglés) (AIHA, 2010) para realizar una evaluación de la exposición ocupacional a agentes químicos.

III. METODOLOGÍA

A. Diseño y población de estudio

1. Diseño

El estudio utilizó tanto métodos cualitativos, por medio de una *caracterización básica*, como métodos cuantitativos, tales como mediciones de higiene ambiental y personal de los trabajadores. Asimismo, el diseño del estudio se realizó de tipo no experimental, de corte transversal, ya que ambos métodos de recolección de datos, tanto cualitativos como cuantitativos, se realizaron en periodos cortos, lo que no implica seguimiento de condiciones en el tiempo ni intervención en los procesos laborales.

2. Población

La población del estudio corresponde a los trabajadores de la empresa TERRAMIX, quienes laboran como Operadores de línea de fosfatizado, Operadores de línea de pintura, Recuperadores de varilla y Pintores de insertos fieldlock en el área de Tratamiento de Superficies, así como Operadores de sandblasting en el departamento de Sandblasting del área de Trimming.

La distribución por jornada y cantidad de trabajadores de ambas áreas se observa resumida en el Cuadro 1, siendo en total 33 trabajadores en el área de Tratamiento de Superficies (TS) y de 39 en el área de Trimming (TR); no obstante, para el departamento en interés de TR, que corresponde a Sandblasting, se tienen dos trabajadores expuestos en este proceso.

Cuadro 1. Turnos, jornadas laborales y número de colaboradores de ambas áreas de trabajo.

Turnos	TS	TR
Turno diurno (6 am a 2 pm) Jornada de 8 h	12	22
Turno mixto (2 pm a 9 pm) Jornada de 7 h	12	NA
Turno nocturno (9 pm a 6 am) Jornada de 9 h	NA	2
Turno central (L-J 7 am a 5 pm, V 7 am a 4 pm) Jornada: L-J de 9 h, V de 8 h	9	15
Total de colaboradores	33	39
Total de turnos	3	3

La muestra cualitativa y semicuantitativa correspondió al total de la población en cada una de las áreas, mientras que la medición de exposición cuantitativa consistió de cuatro Operarios de la línea de pintura de Tratamiento de Superficies, a quienes se les colocó el equipo para muestrear con los métodos NIOSH 1501/2555, y un Operador de sandblasting en Trimming del método MDHS 14/4; para un total de cinco trabajadores. Al trabajador de sandblasting se le cambió el filtro una vez con el fin de tener más muestras del método, para un total de dos muestras de MDHS 14/4.

Se asignó un identificador a los puestos de trabajo con el fin de simplificar la lectura del texto, como se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Identificador de puestos de trabajo.

Área	Puesto	Identificador
Tratamiento de Superficies (TS)	Operario de línea de fosfatizado	TS-a
	Operario de línea de pintura	TS-b
	Recuperador de varilla	TS-c
	Pintor de insertos fieldlock	TS-d
Trimming (TR)	Operario de sandblasting	TR-a

B. Métodos, estrategias, técnicas e instrumentos de recolección de datos

1. *Revisión bibliográfica*

La primera fase de investigación consistió en la revisión bibliográfica haciendo uso de buscadores de información científica tales como PubMed, Google Scholar, ScienceDirect y Springer Link, utilizando palabras clave como “occupational exposure to voc”, “occupational exposure in rubber industries”, “exposure to volatile organic compounds in painters”, “occupational exposure to particulate matter”, “exposición ocupacional a compuestos orgánicos volátiles”; además de la utilización de sitios web como GESTIS y consulta de fichas de seguridad. Se escogieron solo documentos que estuvieran relacionados a la exposición ocupacional a trabajadores del sector manufacturero de caucho, enfatizando en los que realizan labores de pintura o de sandblasting, y de no contar con tal información específica, se escogieron aquellos en los que el entorno, el proceso y las prácticas laborales fueran similares, y los agentes químicos fueran los mismos.

2. *Caracterización básica*

En la segunda fase se procedió a aplicar la metodología propuesta por la AIHA (2010), que corresponde a una *caracterización básica*, en la cual se estudian las variables de: agentes químicos, procesos de trabajo, entorno laboral y prácticas laborales. Para ello, se realizaron visitas a la empresa con el fin de aplicar entrevistas (ver Apéndice 22) al encargado del Departamento de Salud Ocupacional y Ambiente; así como a los jefes de ambas áreas de trabajo. En las visitas se recorrió la planta para realizar observaciones no participativas con el fin de anotar cómo los trabajadores se desempeñan en su jornada de forma natural.

En estas visitas se realizó una revisión de los factores de exposición del entorno laboral, en la cual se explica cómo se organiza el trabajo en cada área, cuáles son los procesos y técnicas utilizados y se aporta un diagrama para entender mejor la distribución espacial de las áreas de trabajo, de modo que se entienda gráficamente cómo ocurre el proceso.

Con el propósito de entender mejor el entorno laboral, se complementó el estudio por medio de la inclusión de climatologías de viento del área de Santa Ana usando la herramienta *Daily Mean Composites* del reanálisis de Kalnay et al. (1996) disponible en el sitio web de NOAA (2009), para evaluar si la ventilación del centro de trabajo está construida a favor de la climatología de viento de la zona y, por otra parte, se tomaron muestras de ventilación local en el área de trabajo con anemómetro EXTECH modelo AN100, para determinar si el flujo de aire interno favorece la extracción local.

Para la recopilación de la información relativa a los agentes químicos, se inició con una identificación de los agentes utilizados en ambas áreas de trabajo, donde se recogen los datos de las materias primas utilizadas para la producción desde el inicio hasta el final del proceso, de modo que se pueda entender qué se utiliza para trabajar y cuál es el producto final terminado de TS y TR.

3. Estrategias de medición

a. Cualitativa y semicuantitativa

Una vez identificados los agentes químicos y las posibles fuentes de emisión, se realizó una evaluación de la exposición haciendo uso de resultados de mediciones anteriores; tal como las realizadas en la empresa por el Laboratorio de Higiene Analítica (LHA) del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) en mayo del 2022, y modelos de exposición cualitativa y semicuantitativa tales como el modelo Control of Substances Hazardous to Health (COSHH) Essentials – NTP 936 (INSST, 2012) para evaluar exposición inhalatoria y el Dermal Exposure Assessment Method (DREAM; Van-Wendel-De-Joode et al., 2003) para evaluar la exposición dérmica de manera semicuantitativa y así definir los grupos de exposición similar (GES).

Para definir los colores de la matriz de GES, se utilizó la información de los Apéndices 2 y 3 con el fin de generar la matriz presentada en el Apéndice 4. Posteriormente, se generó la matriz del Apéndice 5 donde se muestra la multiplicación del valor asignado para nivel de peligro y frecuencia de uso; de donde se extraen los colores que se muestran en el cuadro 17.

Por su parte, de acuerdo con el método DREAM, la exposición dérmica se puede clasificar en siete categorías según se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Categorías y rangos de estimación de la exposición de la herramienta DREAM.

Categorías	Rangos
Sin exposición	0
Exposición muy baja	0-10
Exposición baja	10-30
Exposición moderada	30-100
Exposición alta	100-300
Exposición muy alta	300-1000
Exposición extrema	>1000

b. Cuantitativa

Para la medición de exposición inhalatoria se consultó a los trabajadores por la anuencia a participar del estudio, luego se les entregó un consentimiento informado (ver Apéndice 23) y, posteriormente, se comenzó el muestreo. La medición de tolueno, xileno y MIBK se realizó en un solo día (23/09/2023) a cuatro colaboradores involucrados en el proceso de TS comenzando con una muestra como blanco ambiental (referirse a esta explicación en el Apéndice 6); esto es, se colocó un tren de muestreo completo en una localización estratégica de la planta donde hay un gran flujo peatonal de los trabajadores que utilizan los agentes en estudio. En otro día (13/06/2023) se realizó la exposición a polvo inhalable a un trabajador vinculado con el proceso de TR.

Los compuestos volátiles fueron capturados por medio tubos de carbón activado, y analizados mediante cromatógrafo de gases con detección de masas (GCMS) en el Laboratorio de Análisis de Residuos de Plaguicidas del

Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET) de la Universidad Nacional (UNA) por medio de los métodos NIOSH 1501 y 2555 (NIOSH, 2003a, 2003b); mientras que para el MP inhalable se utilizó el método de MDHS 14/4 (HSE, 2014). Los métodos y equipos se resumen en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Estimación de exposición inhalatoria, métodos y equipos de muestreo.

Procedimiento base	Agentes	Equipo de muestreo	Dispositivos de captura	Cantidad de muestras
NIOSH 1501 y 2555	Tolueno, Xileno y MIBK	Bombas de muestreo personal	Tubos adsorbentes de carbón activado de 100 mg/50 mg	4
MDHS 14/4	Material particulado (fracción inhalable)	Bomba de muestreo personal	Portafiltros IOM, soportes de celulosa, filtros de PVC de 25 mm de diámetro y 5 µm de poro	2

En relación con el muestreo, se realizó el pesaje de cuatro filtros de PVC junto con el soporte de fibra de celulosa y el casete del método MDHS 14/4 en balanza analítica el día 6 de junio de 2023. Posteriormente, estos fueron colocados en los IOM previamente rotulados. A cada casete se le asignó un código, mismo utilizado para la futura identificación de las muestras. Para el método NIOSH 1501/2555 no se necesita alistar previamente los medios. En el Apéndice 6 se detalla el proceso de muestreo en cada uno de los días de medición y se muestran las tablas utilizadas para la recolección de datos en los Apéndices 7, 8, 9 y 10.

4. *Elaboración de la propuesta*

En la etapa final del estudio, se analizaron los datos obtenidos y se elaboró una propuesta para mejorar las condiciones de salud ocupacional asociadas a la exposición a tolueno, xileno y MIBK; así como MP, a partir de la información recabada por medio de los métodos cualitativos, semicuantitativos y cuantitativos, y de la consulta a documentos como *Monitoreando Peligros de Salud en el Trabajo* (Cherrie et al., 2021), el *Manual del Estudiante: Control de Sustancias Peligrosas* (Davies & Henderson,

2009), las guías de ventilación por extracción localizada de HSA (2014) y HSE (2017), la Ficha guía de control 200 del (INSHT, 2003). También se utilizó una página de la Administración de la Salud y la Seguridad Ocupacional (OSHA, por sus siglas en inglés) (OSHA, s. f.) relacionada a la jerarquía de controles, de donde se tomó información que podría funcionar como alternativas de solución a los agentes en cuestión.

Se aporta; además, un cuadro que resume el orden en el que podrían implementarse las medidas de control de acuerdo con la relación entre el beneficio de adoptarlas (reducción del riesgo) y el costo asociado. Dicho cuadro fue obtenido a partir de la aplicación de una matriz de reducción y justificación mostrada en el Apéndice 25, para la cual se hizo uso de los niveles de probabilidad (NP) y consecuencia (NC) según se muestra en los cuadros 5 y 6. A partir de ellos, se calculó el nivel de riesgo (NR) utilizando la siguiente fórmula:

$$NR = NP \times NC$$

Cuadro 5. Niveles de probabilidad.

Nivel de Probabilidad	NP	Significado
Muy Alta	Entre 40 y 24	Situación deficiente con exposición continuada, o muy deficiente con exposición frecuente. Normalmente la materialización del riesgo ocurre con frecuencia.
Alta	Entre 20 y 10	Situación deficiente con exposición frecuente u ocasional, o bien situación muy deficiente con exposición ocasional o esporádica. La materialización del riesgo es posible que suceda varias veces en el ciclo de vida laboral
Media	Entre 8 y 6	Situación deficiente con exposición esporádica, o bien situación mejorable con exposición continuada o frecuente. Es posible que suceda el daño alguna vez
Baja	Entre 4 y 2	Situación mejorable con exposición ocasional o esporádica. No es esperable que se materialice el riesgo, aunque puede ser concebible

Cuadro 6. Niveles de consecuencia.

Nivel de Probabilidad	NP	Significado	
		Daños personales	Daños materiales
Mortal o catastrófico	100	1 muerto o más	Destrucción total del sistema (difícil renovarlo)
Muy grave	60	Lesiones graves que pueden ser irreparables	Destrucción parcial del sistema (compleja y costosa la reparación)
Grave	25	Lesiones con incapacidad laboral transitoria (I.L.T.)	Se requiere paro de proceso para efectuar la reparación
Leve	10	Pequeñas lesiones que no requieren hospitalización	Reparable sin necesidad del paro del proceso

Posteriormente, se calcula el factor de reducción (F) del riesgo como el porcentaje de riesgo que disminuye implementar cada medida, esto por medio de la siguiente fórmula:

$$F = \frac{NR_i - NR_f}{NR_i} \times 100$$

Donde, NR_i : nivel de riesgo inicial (o de la situación actual), NR_f : nivel de riesgo final (o de cada medida de control).

El factor de costo (d) se obtiene de acuerdo con los grupos mostrados en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Niveles del factor de costo.

Factor de costo	Rango dólares (USD)
10	>107 584
8	42 317- 107 583
6	20 800 – 42 316
4	2 081 – 20 799
2	209 – 2 080
1	43 – 208
0,5	0 - 42

Finalmente, el factor de justificación (J) pondera el valor entre la reducción del riesgo y el costo que tiene implementarlo por medio de la siguiente fórmula:

$$J = \frac{NR_i \times F}{d}$$

IV. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

A. Caracterización básica

1. Procesos

El proceso completo del área de TS se presenta en los diagramas de flujo en las Figs. 1 y 2 y se detalla en el Cuadro 8.

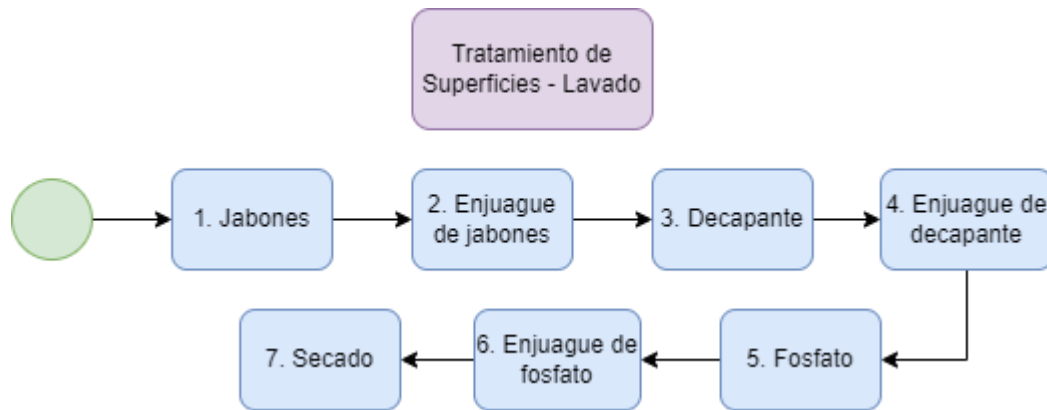


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de lavado de Tratamiento de Superficies.

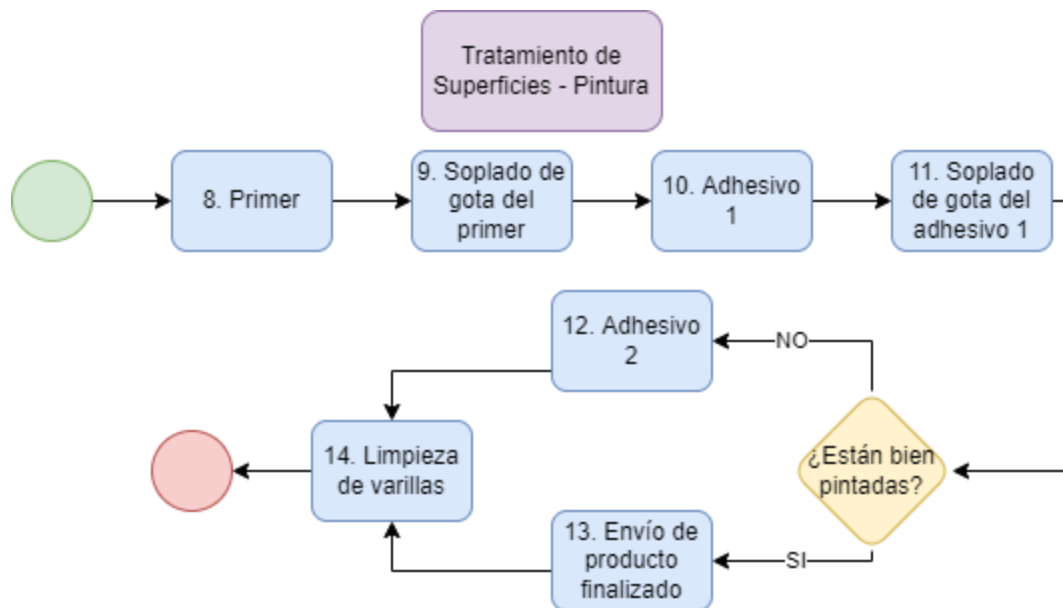


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de pintura de Tratamiento de Superficies.

El proceso comienza cuando se reciben las piezas metálicas (aros y bandas, ver Apéndice 11) del área de Insertos Metálicos, para proceder a lavarlas. En el proceso de observación no participativa, en los subprocesos

(marcados como 1-7 en el Cuadro 8) del puesto identificado como TS-a, los colaboradores utilizan una vara de madera para revolver manualmente los líquidos de los baños de lavado, con el fin de remover la “nata” que se forma en la superficie del líquido a causa de la grasa que liberan los aros o las bandas. También, se recabó información acerca de cómo se realizan los refuerzos de la línea (los refuerzos corresponden a los ajustes de concentración de las materias primas en los tanques), los cuales son llevados a cabo de forma manual haciendo uso de baldes de plástico, manipulación para la cual los trabajadores sí portan el equipo de protección personal (EPP) recomendado (ver Apéndice 24: Información adicional para cada agente químico) a causa de que han sufrido accidentes anteriormente, tales como quemaduras químicas por el uso de ácidos. Finalmente, en los baños de lavado (ver Fig. 3), los colaboradores expresaron la gran molestia inhalatoria y dérmica que causa renovar el tanque 6A; esto es, que se vacía completamente el tanque y se vuelve a llenar con el Decapante D1-220 según concentraciones originales (ver Cuadro 12), dando lugar a emisión de vapores de ácido sulfúrico, que irritan los ojos y las fosas nasales.



Figura 3. Área de trabajo del puesto TS-a donde se muestran los baños de lavado, así como los totes contenedores (izquierda-arriba) de los cuales se extrae materia prima para los refuerzos.

En los operadores de la línea de fosfatizado la ruta dérmica más relevante es la dada por transferencia, debido a que los trabajadores entran en contacto casi directo con la materia prima mediante la remoción de la “nata”. Es por esta razón que los controles del puesto TS-a deben enfocarse en la sustitución de prácticas laborales, así como en la disminución de los agentes en las superficies, máquinas y herramientas de trabajo.

Cuadro 8. Descripción del proceso completo de la línea de fosfatizado.

Subproceso	Descripción	Materia prima	Agentes en Cuadro 13	Concentración
1. Jabones	Los aros y bandas son separados para ingresar por medio de grúa en los tanques que contienen el desengrasante por inmersión. Los aros se quedan en los tanques de inmersión 3A y 3B por 30 min a 80°C en cada tanque, mientras que las bandas se quedan en los tanques 4A, 4B y 4C por 15 min a 80°C en cada uno.	Jabón alcalino D0-124	1	5-12%
2. Enjuague de jabones	Los aros o las bandas se extraen y se sumergen por 5 min en los tanques de enjuague 5A y 5B, que contienen agua a 80°C.	Agua	-	100%
3. Decapante	Los aros o las bandas se sumergen por 5 min a 75°C en el tanque decapante 6A, que es un desoxidante para hierro. Se elimina la capa superficial de los aros y las bandas, esto con el fin de dejarlas lo más limpias posibles.	Decapante D1-220	2, 3 y 11	14-16%
4. Enjuague de decapante	Después, se sumergen en los tanques de enjuague 6B y 6C por 3 min que contienen agua a 80°C.	Agua	-	100%
5. Fosfato	Posteriormente por 5 min en los tanques 7A y 7B que contienen fosfato F0-221 (producto para recubrimiento de metales) a 75°C.	Fosfato F0-221	4, 5 y 6	5-9%
6. Enjuague de fosfato	Luego son enjuagados con agua por 3 min, pero esta vez a 75°C en los tanques 8A y 8B.	Agua	-	100%
7. Secado	Una vez finalizados los baños de lavado, se ingresan a los hornos de secado de 3 a 5 min a una temperatura de 130°C (ver Apéndice 12).	-	-	-

El proceso de la línea de pintura se detalla en el Cuadro 9, en donde se han enumerado los subprocesos de forma continua con respecto al Cuadro 8, con el fin de entender que existe una continuidad en los subprocesos que conforman en total el área de TS. Con los refuerzos de materia prima ocurre la misma situación que con los de la línea de fosfatizado, pues estos son realizados de forma manual por medio de baldes que se colocan debajo de los estañones azules que se encuentran a la par de la máquina (ver Fig. 4), generando emisión de vapores de tolueno y MIBK, así como ligeros derrames de materia prima, contribuyendo de este modo a exacerbar la exposición inhalatoria, siendo que estos baldes contaminados se constituyen como una fuente importante de emisión de agentes tóxicos y, por ende, de exposición.



Figura 4. Área de trabajo del puesto TS-b donde se muestra la máquina automática de pintura por inmersión, así como los estañones de los cuales se extrae materia prima para los refuerzos.

Asimismo, en las dos o tres veces por día que se realiza la pintura manual, en algunos casos, se exponen hasta tres colaboradores al mismo tiempo, debido a que uno realiza la descarga manual de los aros en la canasta, otro trabajador sopla con pistola de aire comprimido el exceso de pintura y el tercero, realiza la aspersion de pintura con pistola (ver Fig. 5).



Figura 5. Proceso de pintura manual de aros.

En este proceso se puede observar que no existen controles de contención con respecto a la emisión de partículas de materia prima; sino, los controles se reducen al uso de EPP; exponiendo a los colaboradores mediante la emisión de vapores de tolueno, deposición de partículas en las superficies, herramientas y vestimenta, así como la transferencia del agente entre estas últimas debido a las prácticas laborales.

Finalmente, el recuperador de varilla (quien realiza solamente el subproceso 14 en el Cuadro 9) se encuentra directamente expuesto a tolueno, pues trabaja con tinas donde se mantiene almacenado el tolueno para limpieza de las herramientas de trabajo, donde debe sumergir de forma manual las herramientas y limpiarlas con machete y cepillo de acero (ver Fig. 6). En este puesto los refuerzos de materia prima también se hacen de forma manual.



Figura 6. Subproceso de limpieza de varillas.

Las fuentes de emisión en la línea de pintura de TS corresponden a la máquina de pintura automática por inmersión, las pistolas manuales de pintura, los estañones y tinas donde se mantiene la materia prima, así como los baldes con que se realizan los refuerzos, los cuales liberan vapores de tolueno, xileno y MIBK, que son los agentes de interés en la planta de TS. Es por esta razón, que los controles deben focalizarse en las fuentes, sin descuidar a la vez las superficies y herramientas con que laboran.

Algunos detalles importantes de TS es que existe orden en el área, las zonas de seguridad y espacios para caminar son respetados. La limpieza se realiza de forma diaria utilizando tolueno y, lo que se limpia de forma manual, son los residuos de la pintura que queda atrapada en las cabinas de pintura por inmersión cuando se sopla la gota de los aros o bandas y las varillas donde se colocan los aros y bandas para ser pintados.

Cuadro 9. Descripción del proceso completo de la línea de pintura.

Subproceso	Descripción	Materia prima	Agentes en Cuadro 13	Concentración
8. Primer	Se ingresan los aros o bandas a las cabinas de inmersión automática de pintura. Se utiliza Kemibond PR-7 como Primer junto con MIBK (metil-isobutil-cetona, como base solvente) al 15%. La máquina se mantiene a 50°C.	Kemibond PR-7 y MIBK	9 y 10	85% y 15%
9. Soplado de gota del primer	Se usa una pistola de soplado para soplar la gota del residuo de pintura que queda mientras las bandas se sumergen automáticamente.	-	-	-
10. Adhesivo 1	Luego, se ingresan automáticamente a la siguiente cabina que contiene Kemibond AD-5NL como Adhesivo junto con Tolueno (como base solvente) al 15% a 50°C.	Kemibond AD-5 NL y Tolueno	7, 8 y 10	85% y 15%
11. Soplado de gota del adhesivo 1	Se sopla la gota de pintura.	-	-	-
12. Adhesivo 2	Finalizado el proceso en máquina, se extraen de la cabina y se revisan los aros o bandas con el fin de verificar que todas hayan quedado bien pintadas, de lo contrario, son retocadas de forma manual con pistola que contiene Kemibond AD-6NLX como Adhesivo junto con Tolueno al 15% (ver Apéndice 13).	Kemibond AD-6NLX y Tolueno	7, 8 y 10	85% y 15%
13. Envío de producto finalizado	Cuando los aros o bandas están correctamente pintadas se envían al proceso de Inyección de la planta.	-	-	-
14. Limpieza de varillas	Finalmente, un trabajador recoge las varillas en las que se cuelgan las piezas metálicas para limpiarlas con tolueno y cepillo de acero.	Tolueno	10	100%

Se muestran en las Figs. 7 y 8 los diagramas de flujo del proceso de pintura y sandblasting de insertos fieldlock, que comienza en el área de TS en el puesto TS-d (subprocesos 1-6) y termina en TR-a (subprocesos 7-11).

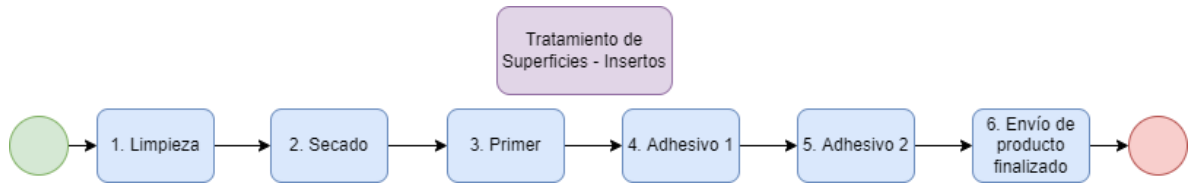


Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de insertos de Tratamiento de Superficies.

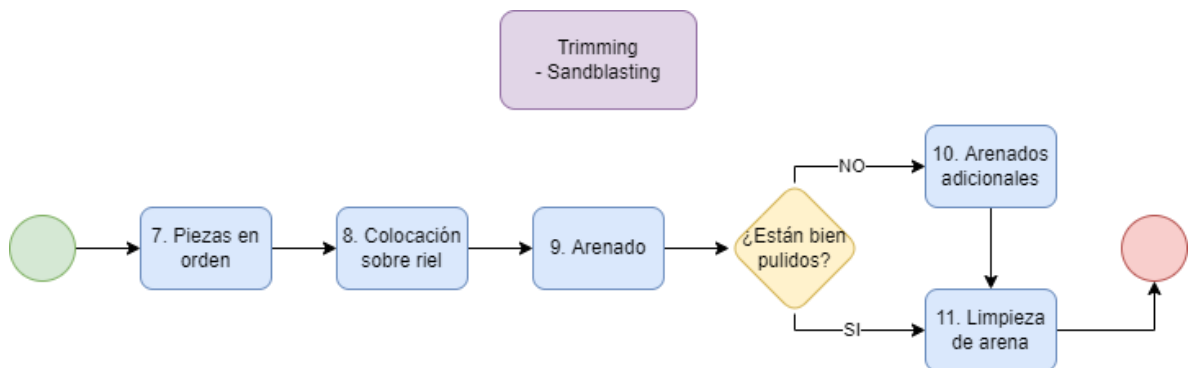


Figura 8. Diagrama de flujo del proceso de sandblasting de Trimming.

Se presentan en el Cuadro 10 una descripción detallada de los procesos realizados por los pintores de insertos fieldlock (estas piezas son un inserto metálico colocado en los empaques de caucho) y el operador de sandblasting, ya que uno es la continuación del otro. En relación con los pintores de insertos fieldlock, estos trabajadores también realizan los refuerzos de forma manual utilizando baldes con los que llenan tinas donde almacenan alcohol isopropílico (IPA) y el *primer* (que contiene MIBK y tolueno) expuesto, permitiendo la emisión de vapores hacia el ambiente de trabajo, saturando el aire de la planta.

El proceso consiste en limpiar las piezas con IPA para posteriormente pintarlas; sin embargo, todo el proceso del puesto TS-d es completamente manual, ya que luego de sumergir las piezas en IPA, se sumergen en el primer, y se colocan en canastas de metal para su posterior pintura. Para pintar las piezas, el colaborador rocía con pistola de pintura manual las piezas mientras agita la canasta de manera violenta de modo que estas se

golpeen unas con otras (ver Fig. 9), esto con el fin de que la pintura alcance todos los extremos y a la vez eliminar los excesos; no obstante, este proceso genera una gran cantidad de goteo de materia prima y salpica partículas en toda el área de trabajo.



Figura 9. Proceso de pintura manual de insertos fieldlock.

Una vez que las piezas han sido pintadas, se transportan en cajas de cartón hacia el área de TR, donde TR-a se encarga de recibir y alistar las piezas para ser arenadas (ver Apéndice 14). Este proceso también se realiza de manera manual, ya que se deben alistar las piezas sobre la mesa de trabajo, luego colocarlas sobre un riel que posteriormente se coloca dentro de la máquina de sandblasting. Al accionar de un botón, la máquina realiza automáticamente el arenado, el cual se puede llevar a cabo hasta cuatro veces seguidas de acuerdo con la calidad del arenado, misma que es determinada por el operario (ver Apéndice 15). En este puesto los refuerzos también se realizan de manera manual utilizando baldes de plástico que se sumergen en sacos de arena que luego son vaciados dentro de la máquina de sandblasting.

Aspectos importantes es que en el puesto de TR-a se observó el área de trabajo ligeramente desordenada, pues no existe rotulación en las cajas, ni señalización que indique dónde se hace el embalaje de las piezas metálicas. Con respecto a la limpieza, esta también se realiza diariamente, de modo

que el trabajador debe abrir las máquinas, barrer con pequeñas escobas las paredes de las máquinas y palear el polvo para recogerlo en baldes sin tapa que se colocan a la par de la zona de trabajo. Además, una vez que las bolsas del extractor de la máquina se han llenado, los colaboradores deben cambiarlas manualmente, reemplazando la bolsa por otra, la cual deben pegar con cinta adhesiva al tubo extractor, y desechar la que está llena en sacos destinados para tal fin.

En el área de TR las fuentes de emisión son las máquinas de sandblasting; así como los sacos de materia prima y los recipientes en los que se deposita el polvo residual después de realizar la labor de arenado, ya que estos se encuentran destapados. Tanto en las máquinas como en los recipientes se acumula el polvo fino de arena que se constituye como el agente de interés para el MP.

Cuadro 10. Descripción del proceso de pintura y sandblasting de insertos fieldlock.

Subproceso	Descripción	Materia prima	Agentes en Cuadro 13	Concentración
1. Limpieza	Se reciben cajas de insertos metálicos, se introducen por 2 min en alcohol isopropílico para quitarle la suciedad.	Alcohol isopropílico	12	100%
2. Secado	Esperar 1 min de secado al aire.	-	-	-
3. Primer	Sumergir y extraer manualmente las piezas de forma inmediata en Kemibond PR-7 como Primer junto con MIBK al 15%.	Kemibond PR-7 y MIBK	9 y 10	85% y 15%
4. Adhesivo 1	Pintar con pistola de pintura manual los insertos utilizando Kemibond AD-5NL como Adhesivo junto con Tolueno al 15%.	Kemibond AD-5 NL y Tolueno	7, 8 y 10	85% y 15%
5. Adhesivo 2	Pintar con pistola de pintura manual los insertos usando Kemibond AD-6NLX como Adhesivo junto con Tolueno al 15%.	Kemibond AD-6NLX y Tolueno	7, 8 y 10	85% y 15%
6. Envío de producto finalizado	Las piezas son colocadas en cajas para su posterior transporte.	-	-	-
7. Piezas en orden	Se reciben los insertos metálicos de TS-d y se	-	-	-

Subproceso	Descripción	Materia prima	Agentes en Cuadro 13	Concentración
	ordenan en la mesa de trabajo.			
8. Colocación sobre riel	Se colocan ordenadamente sobre el riel que entra a la máquina de sandblasting.	-	-	-
9. Arenado (sandblasting)	Se enciende la máquina para que ingrese el riel y pulverice la arena sobre el metal con el fin de conseguir el acabado de pulido (se elimina el adhesivo que trae la pieza metálica, de modo que quede el metal expuesto). El proceso de ingreso, pulverización y salida del riel dura en total 30 s.	Arena Potters Glass Beads y blasting abrasive	13	100%
10. Arenados adicionales	En caso de que una repetición no sea suficiente, se puede ingresar el mismo riel hasta 4 veces en total, para una duración total del proceso de aproximadamente 2 min y 30 s; esto tomando en cuenta las revisiones de calidad que realiza el colaborador.	Arena Potters Glass Beads y blasting abrasive	13	100%
11. Limpieza de arena	Las piezas metálicas son extraídas del riel, se limpian y se les sacude el polvo de arena. Finalmente, el trabajador las deposita en una caja de cartón para ser transportadas hacia su destino.	-	-	-

2. Entorno laboral

Se muestra en la Fig. 10 la distribución de la planta de Tratamiento de Superficies.

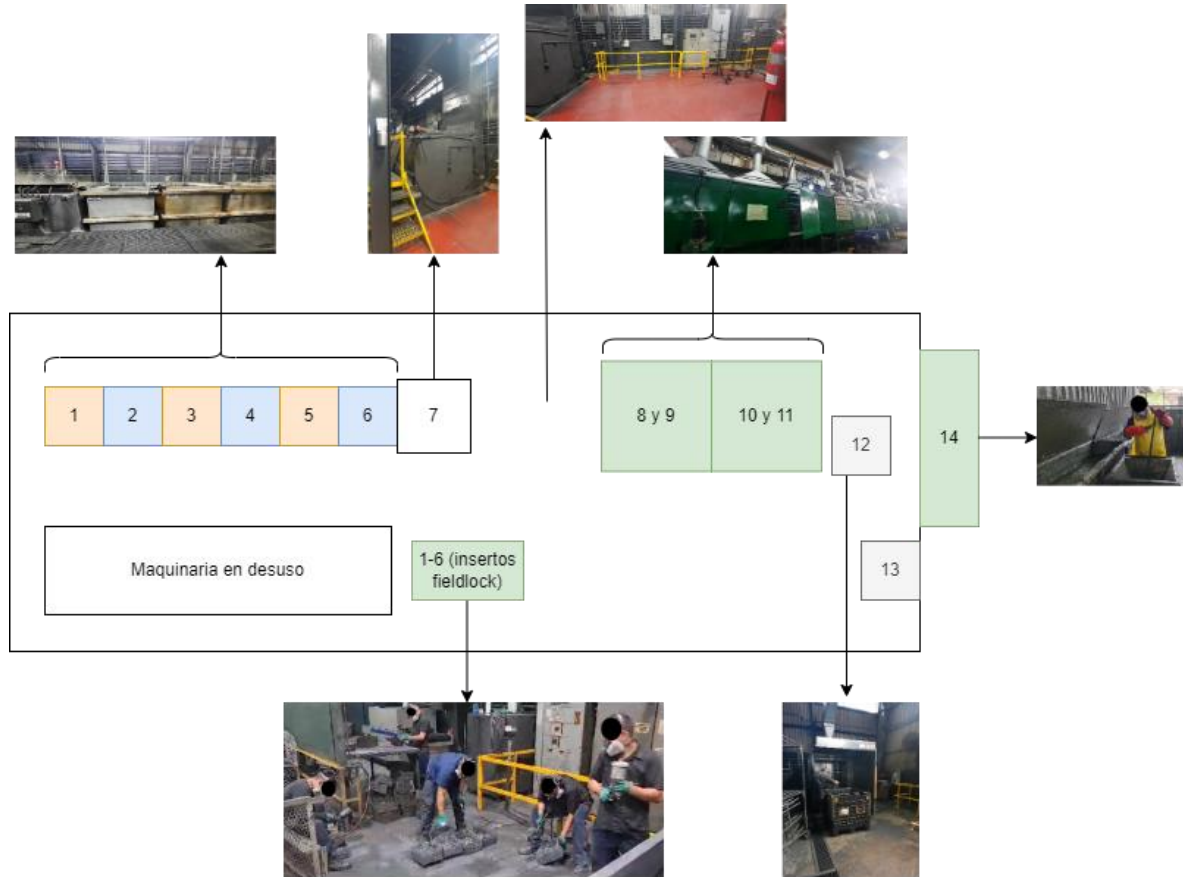


Figura 10. Distribución y configuración del área de Tratamiento de Superficies. Los números se refieren a los procesos numerados en las figuras 1, 2 y 7.

Aquí se puede ver que la línea de fosfatizado se encuentra al inicio de la planta y todos los baños de lavado están seguidos uno del otro. Los hornos de secado se encuentran a la par de la línea de fosfatizado, seguidos de un área libre en la cual se dejan enfriar los aros o bandas que salen de los hornos de secado. Junto a esta área de enfriamiento está la línea de pintura automática, y, finalmente, un pequeño espacio en el que los trabajadores realizan la labor de pintura manual. Se agregan algunas fotos para ilustrar cada pequeña área de la planta. La pintura de insertos fieldlock se realiza en la mitad de la planta, frente a los hornos de secado, y la única ventilación

con la que cuentan los trabajadores es un ventilador de pared, pues no hay extracción local. Se destaca también la falta de ventilación general que tiene el recinto, ya que la ventilación general consiste en las puertas de entrada y salida, ventanas en la parte superior de la pared Norte del edificio y una pequeña puerta de emergencia a la mitad del recinto, lo que permite sentir sensación de calor al estar dentro del mismo; sin embargo, este recinto se encuentra construido de tal forma por las quejas de los vecinos con respecto a la emisión de vapores tóxicos desde la planta.

Con respecto a las mediciones con anemómetro que se muestran en el Apéndice 16 se puede notar que, en general, no existen corrientes internas de viento dentro del recinto de TS y que, en promedio, la magnitud del viento es de 0,2 m/s; que es una corriente considerada como calma. Esto significa que la probabilidad de que el viento externo arrastre partículas dentro del recinto es muy baja; sin embargo, esto solo aplica para este día en particular y bajo las condiciones atmosféricas de ese día, ya que no se descarta que en otros días y bajo otras condiciones las corrientes de viento puedan ser de mayor magnitud. Al mismo tiempo, es posible que los ventiladores, por ejemplo, ejerzan movimientos de aire que alteren las corrientes internas generando recirculación o acelerando los procesos de emisión de vapores de los agentes.

Por su parte, se ilustra en la Fig. 11 la configuración del departamento de sandblasting.

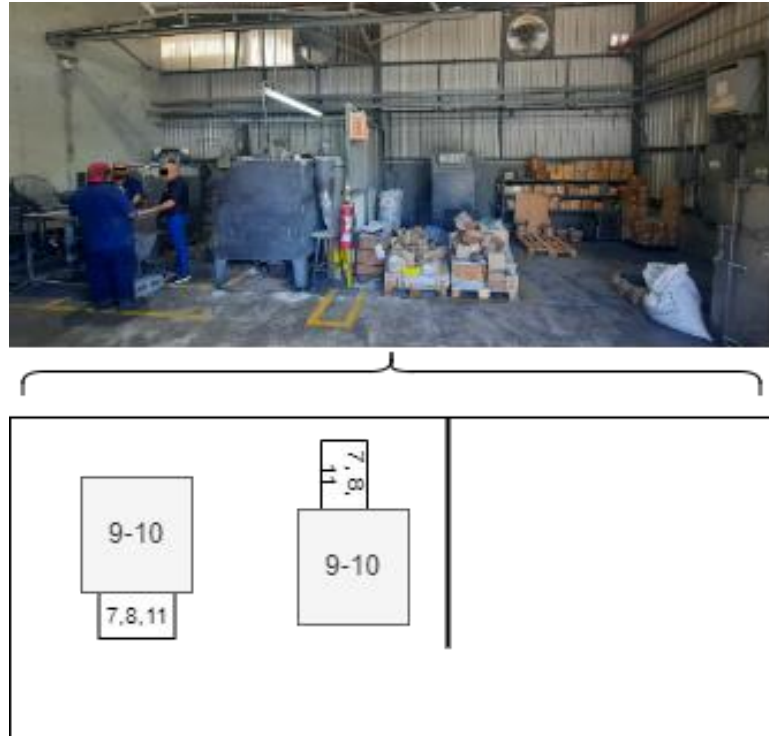


Figura 11. Distribución y configuración del departamento de Sandblasting del área de Trimming. Los números hacen alusión a los procesos numerados en la figura 8.

El área de trabajo consiste en dos máquinas de arenado al lado izquierdo, donde se ubican también las mesas de trabajo que se representan con rectángulos en blanco y negro en la Fig. 11, mientras que las máquinas de trabajo se representan en color gris y son las que contienen los números del 9 al 10 en la Fig. 8. El área se divide por una pequeña pared, a la derecha de la cual se colocan las cajas que contienen los insumos de trabajo y las piezas metálicas que deben ser arenadas o el producto terminado. La ventilación general está dada por la puerta de entrada y es el único acceso al área, mientras que en la pared Norte del recinto se tienen dos grandes extractores que cuentan con sus respectivas bolsas para capturar el polvo fino de arena.

En relación con las medidas de flujo de viento dentro del recinto de TR-a (ver Apéndice 17), se puede notar que, a grandes rasgos, donde existe menor flujo de aire es en la entrada del recinto; mientras que, donde existe la mayor circulación es en las mesas de trabajo debido a los ventiladores que se

encuentran dispuestos para alejar las partículas y generar sensación de frescura; sin embargo, esto solo genera mayor dispersión de las partículas finas de polvo en todo el recinto, ya que la corriente generada es de 5,0 m/s y es un viento considerado como brisa ligera.

Se muestra en la Fig. 12 el mapa de la climatología de viento de Santa Ana, para el cual, se generó primeramente un mapa a gran escala (llámese “mapa general”) para poder visualizar correctamente la dirección del viento en promedio y, posteriormente, se generó un mapa agrandado de la zona (llámese “mapa de estudio”) con el fin de visualizar de una mejor manera la magnitud del viento. En el mapa general se nota que la dirección del viento es, en promedio, del noreste (NE) con una magnitud aproximada de 4,5 m/s, según lo observado en el mapa de estudio.

De acuerdo con lo mostrado en la Fig. 13, se observa que los recintos de trabajo tanto de TS como de TR se encuentran contruidos de forma que se favorece la entrada de flujo de aire dado que ambos se encuentran ubicados en el sentido de la climatología de la dirección del viento de la zona. Esto es importante de destacar debido a que los resultados de las mediciones de flujo de aire, dentro de los recintos, muestran que la circulación de aire es baja dentro de ambos lugares de trabajo, lo que se puede deber a la cercanía y al consecuente bloqueo que producen los edificios contiguos, reduciendo la ventilación general pero favoreciendo la extracción local.

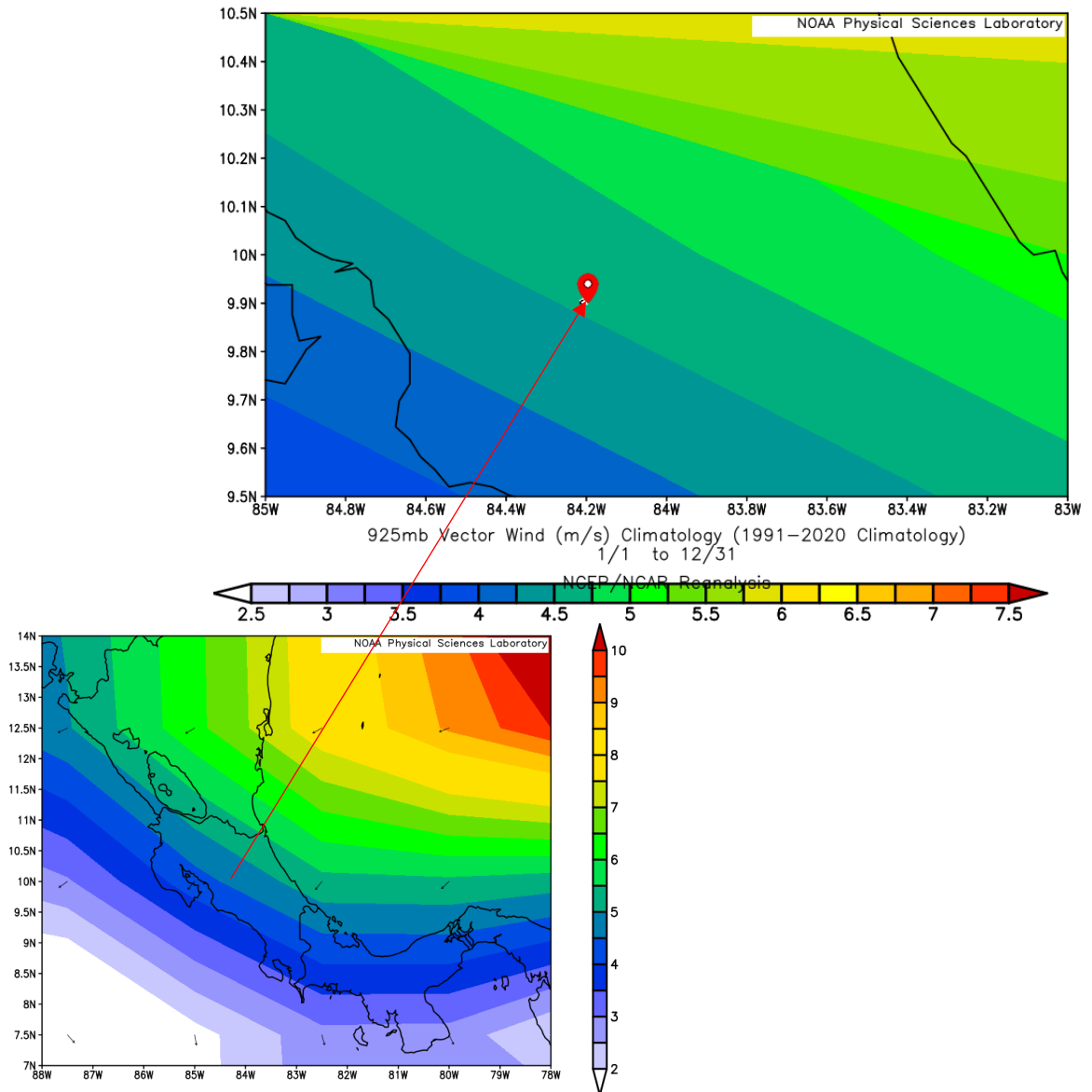


Figura 12. Mapas de climatología de viento a 925 mbar para la zona de estudio. La barra vertical indica la magnitud del viento del mapa general (izquierda abajo) y la barra horizontal indica la magnitud del viento del mapa centrado en la zona de Santa Ana, Costa Rica (derecha arriba). La dirección del viento está representada por las flechas negras del mapa general.



Figura 13. Mapa de TERRAMIX que muestra la ubicación de los recintos de trabajo de Tratamiento de Superficies (TS) y Trimming (TR) con respecto a la rosa de los vientos.

3. Prácticas laborales

En el proceso de pintura automática por inmersión la pistola de aire comprimido se utiliza a una presión alta, superior a lo que se podría utilizar, ya que el único fin es limpiar la gota de pintura que queda como residuo cuando los aros o bandas emergen. Asimismo, con respecto al uso de la pistola, una práctica común es colocar la pistola de aire comprimido dentro de la máquina para realizar pequeños descansos, en lugar de colocarla en el gancho destinado para tal fin fuera de la máquina.

En el puesto de TS-b se logró observar que todos los trabajadores tenían su respirador colocado; sin embargo, en algunas ocasiones lo tenían colgando del cuello; además, que los colaboradores deben trabajar con

mucha rapidez ya que la máquina de inmersión es automática y los aros y bandas deben ser colocados rápidamente para que ingresen en grupos.

En relación con el proceso de TS-d, este se realiza contiguo a los hornos de secado de la línea de fosfatizado, y la única ventilación con la que cuentan los trabajadores es un ventilador de pared, pues no hay extracción local. Dada la falta de un espacio asignado para este proceso, y debido a que la tarea se realiza justo a la mitad de la planta de TS, existe emisión de vapores y partículas desde este puesto y hacia ambos lados de la planta, exponiendo no solo a los pintores de insertos, si no también, a los operadores de las líneas de fosfatizado y pintura.

Por su parte, en el proceso de sandblasting fue posible observar cómo se habían realizado soldaduras en los bordes del sandblaster (máquina de arenado) con el fin de reducir la cantidad de polvo que libera la máquina; no obstante, los trabajadores se encontraban cubiertos de polvo de pies a cabeza, lo que se podía observar en la ropa y en la piel. Además, los baldes en los que se desecha el polvo de residuo de la máquina se mantenían en dichos recipientes sin tapa. A su vez, en este puesto en algunas ocasiones los trabajadores, terminada la duración de arenado, se quitan el respirador dejándolo colgado del cuello, expuesto a las partículas de polvo que se encuentran en el ambiente, y no se observó la utilización de guantes, solo cinta adhesiva como recubrimiento de los dedos.

Las condiciones presentadas el día del muestreo de MP representaban una situación de exposición crítica ya que el ambiente de trabajo se veía turbio debido a la cantidad de MP presente en el aire; además de algunas prácticas laborales ejercidas por los trabajadores, como el hecho de soplar las superficies de trabajo, batir las piezas ya arenadas, lo que le introduce energía al sistema provocando que las partículas de polvo se liberen más rápido y con mayor fuerza, así como los ventiladores que mantienen en constante movimiento las partículas de polvo.

a. Rutas de exposición relevantes

En cuanto a las principales rutas de exposición cuando se trata de compuestos orgánicos volátiles y material particulado, estas son principalmente por vía inhalatoria y dérmica. Esto se puede observar con mayor claridad en el Apéndice 18, donde se detalla que la protección respiratoria utilizada en el área de TS, puede terminar convirtiéndose en una fuente de exposición dada la cercanía de los trabajadores a la fuente. Asimismo, este equipo de protección se puede saturar por el aire y la ropa contaminados, llegando a la zona respirable del trabajador y, por ende, ingresando por vía inhalatoria. Por su parte, la ruta dérmica se compone por varias fuentes de entrada, como lo son las superficies y ropa contaminadas; así como propiamente la fuente, ya que los trabajadores deben utilizar pistolas de aire comprimido las cuales son colocadas en colgadores en la fuente de pintura automática y, aunque los trabajadores utilizan guantes de protección, algunas partes de su cuerpo están descubiertas, tales como los brazos o algunas partes del rostro. También, nótese que se puede dar un intercambio entre las superficies y ropa contaminadas con la capa de contaminación de la piel; así como la liberación que se puede dar desde la fuente hacia estas últimas y al respirador, el cual se puede convertir en una fuente de exposición dérmica en la piel del rostro.

La exposición inhalatoria y dérmica de los trabajadores de sandblasting es muy similar a la de los colaboradores que trabajan en TS. Más en detalle, los trabajadores de TR se encuentran expuestos por ruta inhalatoria debido a que las máquinas con las que trabajan, aunque poseen controles en la fuente, tienen escapes de aire por los que se cuele el polvo creando un ambiente saturado de polvo de arena, el cual, se deposita en el respirador y la ropa, ingresando finalmente por la zona respirable del trabajador. En cuanto a la vía dérmica, en TR los trabajadores no utilizan guantes de protección (aunque estos se encuentran recomendados como EPP en el área de trabajo), por lo que las manos y los brazos se encuentran totalmente

descubiertos y expuestos. De esta forma, la ruta dérmica se constituye por la emisión de partículas de polvo desde la fuente, la deposición de estas en la superficie y herramientas de trabajo; así como en la ropa del colaborador, y por la transferencia que se puede dar a la hora de realizar las labores propias del puesto de trabajo.

4. Agentes

Se resumen en el Cuadro 11 las materias primas utilizadas en ambas áreas laborales junto con sus respectivas concentraciones.

Cuadro 11. Materias primas y concentraciones de uso.

Área	Codificación de mezcla	Materia prima	Concentración
TS	TS-1	Jabón alcalino D0-124	5,0% y 12,0% v/v
	TS-2	Decapante D1-220	14-16%
	TS-2	Peróxido de hidrógeno	35%
	TS-3	Fosfato F0-221	5-9%
	TS-4	Kemibond PR-7	85%
	TS-4	Metil isobutil cetona	15%
	TS-5	Kemibond AD-5NL	85%
	TS-6	Kemibond AD-6NLX	85%
	TS-5 y TS-6	Tolueno	15%
	TS-7	Alcohol isopropílico	100%
TR	TR-1	Arena Potters G8-4PO Glass Beads y Arena blasting abrasive	100%

Dado que algunas de las materias primas utilizadas son compuestos químicos, se muestran en el Cuadro 12 las materias primas y sus agentes constituyentes.

Cuadro 12. Materias primas y sus agentes químicos constituyentes utilizadas en cada puesto de trabajo.

Puesto	Materia prima	Agentes químicos	% agente	Número CAS	
TS-a	Jabón alcalino D0-124	Hidróxido de potasio	25-<50	1310-58-3	
		Carbonato de sodio	<10	497-19-8	
		Ácido etilendiaminotetraacético, sal disódica	<2.5	6381-92-6	
	Decapante D1-220	Ácido sulfúrico	17-30	7664-93-9	
		Ácido fluorhídrico	<7	7664-39-3	
		Éter monobutílico de etilenglicol	<5	111-76-2	
	Fosfato F0-221	Ácido fosfórico	10-25	7664-38-2	
		Ácido nítrico	25-40	7697-37-2	
		Amoniaco	<10	1336-21-6	
TS-b, TS-d	Kemibond PR-7	Metil isobutil cetona	<65	108-10-1	
		Tolueno	<15	108-88-3	
		Metil isobutil cetona	<5	79-93-3	
		Negro de humo	<1	1333-8-4	
		Compuesto inorgánico de zinc	<1	Bajo licencia	
	Kemibond AD-5NL	Tolueno	<60	108-88-3	
		Xileno	<15	1330-20-7	
		Compuesto aromático nitrogenado	<10	Bajo licencia	
		Compuesto inorgánico de zinc	<5	Bajo licencia	
		Etil benceno	<5	100-41-4	
		Imida	<5	Bajo licencia	
		Negro de humo	<5	1333-86-4	
	Kemibond AD-6NLX	Xileno	35-55	1330-20-7	
		Compuesto aromático nitrogenado	1-10	Bajo licencia	
		Óxido de zinc	1-5	1314-13-2	
		Etil benceno	10-20	100-41-4	
		Imida	1-5	Bajo licencia	
		Negro de humo	1-5	1333-86-4	
	Metil isobutil cetona (MIBK)	Metil isobutil cetona	100	108-10-1	
	TS-b, TS-c, TS-d	Tolueno	Tolueno	>99	108-88-3
	TS-a	Peróxido de hidrógeno	Peróxido de hidrógeno	30-40	7722-84-1
Agua			60-70	7732-18-5	
TS-b, TS-d	Alcohol isopropílico	Alcohol isopropílico		67-63-0	
TR-a	Arena Potters G8-4PO Glass Beads y Arena Blasting abrasive	Óxido de vidrio	100	65997-17-3	

a. Límites de exposición ocupacional

De acuerdo con los agentes químicos individuales del Cuadro 12, se tomarán en cuenta únicamente aquellos que estén presentes, como mínimo, en un 15% de la mezcla presentada para cada materia prima, haciendo dos excepciones con los agentes de ácido fluorhídrico y el amoníaco los cuales se consideran de gran relevancia para la exposición laboral. Siendo así, se muestran en el Cuadro 13 los OEL de cada agente.

Cuadro 13. Límites de exposición ocupacional por agente químico.

Identificador	Agente	OEL	Valor
1	Hidróxido de potasio	STEL-C	2 mg/m ³
		REL-C	
2	Ácido sulfúrico	TLV-TWA	0,2 mg/m ³
		REL-TWA	1,0 mg/m ³
3	Ácido fluorhídrico	TLV-TWA	0,5 ppm
4	Ácido fosfórico	TLV-TWA	1,0 mg/m ³
		REL-TWA	1,0 mg/m ³
5	Ácido nítrico	TLV-TWA	2 ppm
		REL-TWA	5 mg/m ³
6	Amoníaco	TLV-TWA	25 ppm
7	Xileno	TLV-TWA	20 ppm
8	Etil benceno	TLV-TWA	77,9 mg/m ³
		REL-TWA	435 mg/m ³
9	Metil isobutil cetona	TLV-TWA	73,6 mg/m ³
		REL-TWA	205 mg/m ³
10	Tolueno	TLV-TWA	67,6 mg/m ³
		REL-TWA	375 mg/m ³
11	Peróxido de hidrógeno	TLV-TWA	1 ppm
		REL-TWA	1,4 mg/m ³
12	Alcohol isopropílico	TLV-TWA	200 ppm
13	Óxido de vidrio*	TLV-TWA	5 mg/m ³
		REL-TWA	

*El óxido de vidrio se tomará como material particulado inhalable con un OEL de 5 mg/m³.

Nota: TLV-TWA (ACGIH, 2022), STEL-C, REL-C, REL-TWA (NIOSH, 2022).

5. Resumen de la caracterización básica

Los factores determinantes de exposición en cuanto a la planta de TS se pueden resumir en la cercanía a la fuente por parte de todos los trabajadores, la manipulación de baldes para realizar los refuerzos de las líneas de trabajo, la emisión de vapores desde cualquiera de las fuentes, la utilización de herramientas de trabajo y cercanía con superficies contaminadas; no obstante, las fuentes de emisión en la línea de fosfatizado

corresponden únicamente a los tanques y los baldes, mientras que en los puestos TS-b y TS-d se conforman por las máquinas, las pistolas de pintura, los baldes, los estañones de materia prima, el suelo contaminado y los residuos de pintura que quedan atrapados en las paredes, con la salvedad de que los pintores de insertos fieldlock se encuentran mayormente expuestos a sus respectivos agentes dada la falta de extracción local, la deficiente ventilación y la cercanía a fuentes de calor. Con respecto al recuperador de varilla, este puesto se expone en su mayoría a tolueno, pero no se descarta la exposición a los demás agentes de la línea de pintura; sin embargo, no se expone a los agentes 1-9 y 11-12 del Cuadro 13 en igual magnitud que TS-b y TS-d.

Tomando en cuenta los factores anteriores, se concluye que la exposición a tolueno, xileno y MIBK por parte de los puestos TS-c y TS-d es no aceptable, por lo que se requiere aplicar una serie de medidas de control específicas. Por su parte, a pesar de que la exposición a ácidos inorgánicos (puesto TS-a) no está dentro del alcance del presente trabajo, se le dará seguimiento en este estudio debido a que los trabajadores forman parte de la misma planta de trabajo y podrían a su vez estar expuestos a tolueno, xileno y MIBK o, posiblemente, exacerbar la exposición a los demás trabajadores debido al uso de sus propios agentes. Finalmente, la exposición a tolueno, xileno y MIBK en la línea de pintura y la exposición a material particulado por sandblasting se determinan como inciertas, por lo que, siguiendo el proceso indicado por la caracterización básica, se debe muestrear con el objetivo de cuantificar la exposición laboral.

B. Estimación de la exposición

Con el propósito de obtener los controles de riesgos actualmente implementados por la empresa, se realizó el Cuadro 14 para resumir dicha información.

Cuadro 14. Controles de riesgos actuales según área de trabajo de acuerdo con la jerarquía de control de riesgos.

Nivel	Controles	
	TS	TR
Eliminación	Limpieza de superficies para eliminación de residuos	Limpieza de superficies para eliminación de residuos
Sustitución	Se han intentado sustituir algunas materias primas, pero no se han encontrado sustitutos que cumplan la misma función	Reemplazo de equipos por unos más nuevos
Controles ingenieriles	Techo abierto para la salida de vapores, paredes con ventilación por medio de celosías metálicas horizontales, colocación de cortina de aire en tanque de decapado, cabina cerrada de inmersión de pintura, extractores de vapores en la línea de pintura, colocación de ventiladores de pared, creación de cabinas de pintura manual con extractor incluido	Extractores en la fuente, extractores industriales en la pared del fondo, ventiladores de pared, soldadura en los bordes de la máquina para evitar escapes de polvo
Controles administrativos	Señalización, procedimientos de trabajo escritos, programas de capacitación, mediciones higiénicas, monitoreos de las condiciones de salud de los trabajadores, rotación de funciones dentro de un mismo puesto	Señalización, procedimientos de trabajo escritos, programas de capacitación, mediciones higiénicas, monitoreos de las condiciones de salud de los trabajadores, rotación de funciones dentro de un mismo puesto
Equipo de protección personal	Lentes de seguridad, respirador y guantes (en la línea de fosfatizado no se utilizan estos últimos dos), delantal (usado solo en algunas ocasiones), zapatos de seguridad, ropa de trabajo	Lentes de seguridad, respirador y guantes, delantal (usado solo en algunas ocasiones), zapatos de seguridad, ropa de trabajo

1. Resultados de mediciones anteriores

Los resultados obtenidos en el muestreo llevado a cabo en mayo de 2022, realizados por el LHA-TEC, se muestran en el Cuadro 15, donde se observa el extracto de relevancia para el presente estudio. De ese muestreo se extrajeron los datos de los puestos que se consideran en una condición de exposición laboral debido a que se encuentran por arriba de los límites de exposición emitidos por el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) en su normativa INTE-31-08-04-2016: concentraciones ambientales máximas permisibles en los centros de trabajo (INTECO, 2016), o que, eventualmente, podrían estar por encima al tomar en cuenta la incertidumbre de la medición.

Cuadro 15. Resultados de las mediciones de exposición inhalatoria del LHA-TEC del 2022.

Puesto	Agente	Concentración encontrada (mg/m ³)	Tiempo de muestreo (min)	Valor máx. permitido (TLV-TWA 8 h) (mg/m ³)
Operario de línea de fosfatizado	Ácido clorhídrico	No Detectable	373	2,7
	Ácido fosfórico	No Detectable		1,0
	Ácido sulfúrico	No Detectable		0,2
Operario línea de pintura	Tolueno	396 ± 85	391	67,6
	MIBK	33 ± 8		73,6
Recuperador de varilla	Tolueno	693 ± 181	391	67,6
Pintor de insertos fieldlock	Tolueno	48 ± 9	348	67,6
	MIBK	25 ± 9		73,6
	Tolueno	59 ± 10		67,6
	MIBK	35 ± 8		73,6
Operario de Sandblasting	Polvo inhalable	18 ± 1	356	10
		24 ± 2	170	

Los resultados de mayo de 2022 presentan todos los puestos del presente estudio como sobre expuestos; sin embargo, se debe tomar en cuenta que

esa medición se realizó con el fin de monitorear el cumplimiento legal de la empresa, sin tomar en cuenta los factores determinantes de exposición, tal como se presentan en este trabajo. No obstante, y a pesar de las limitaciones de comparación que presenta utilizar mediciones anteriores, se rescata que, en esa ocasión, los puestos también se encontraban bajo condiciones de exposición laboral.

2. Modelos de exposición

Con respecto al COSHH, los resultados se pueden observar en el Apéndice 19, donde se observan los resultados de la aplicación de la herramienta para todas las mezclas de productos, siendo que la primera es la línea de fosfatizado, donde un grupo de trabajadores se encuentra expuesto al mismo grupo de agentes que son los jabones alcalinos, el decapante y el fosfato; posteriormente la línea de pintura donde, al igual que los pintores de insertos fieldlock, se encuentran expuestos a los mismos agentes que son el tolueno, el xileno y la MIBK; luego se evaluó por aparte el recuperador de varillas quien se expone de forma principal al tolueno, y finalmente los trabajadores de sandblasting que se exponen a polvo de arena.

Una vez realizado el análisis, se obtuvo como resultado un nivel de alto peligro (riesgo 4) para todos los casos, siendo este el mayor nivel posible, y que requiere medidas de control especial, o específicas. El nivel de riesgo 4 se obtiene cuando se utilizan sustancias muy tóxicas o sustancias de toxicidad moderada con capacidad media o elevada de pasar a la atmósfera en grandes cantidades, que fue una de las configuraciones usadas, pues todos los agentes se manejan en cantidades de metros cúbicos. El modelo, a pesar de que no evalúa el riesgo de exposición, permite determinar cuál es la medida de control más adecuada para reducir el riesgo de exposición.

En el Cuadro 16 se presentan los resultados de la aplicación de la herramienta DREAM, donde E_TOT es la emisión total, D_TOT la deposición

total, T_TOT la transferencia total, Skin_P.PB la exposición potencial total de la piel, Skin_A.PB la exposición real total de la piel, WPE la exposición potencial ponderada y WAE la exposición real ponderada.

Cuadro 16. Resultados de la estimación dermal mediante herramienta DREAM.

Puesto	Agentes según Cuadro 13	E_TOT	D_TOT	T_TOT	Skin_P.PB	Skin_A.PB	WPE	WAE
TS-a	1-6, 11	19	6	171	197	136	180	68
TS-b	7-10, 12	367	65	252	684	508	529	260
TS-c	10	930	270	800	2000	1124	1849	655
TS-d	7-10, 12	2430	810	720	3960	1832	3992	1108
TR-a	13	21600	7200	2790	31590	17585	30443	10662

La herramienta DREAM provee información de gran relevancia para el presente estudio porque, aun sin tomar en cuenta la toxicidad de los agentes (limitación propia de la herramienta), permite ver con claridad que todos los puestos se encuentran con exposiciones que van desde moderada hasta extrema. Los valores de exposición potencial son considerablemente mayores en todos los casos porque estos no consideran el uso de EPP, es por ello que la clasificación se realiza haciendo uso de la exposición real ponderada (WAE).

C. Constitución y validación de los GES

Dada la discusión anterior, y a pesar de que los puestos TS-b y TS-d se exponen al mismo grupo de agentes, debido a las condiciones particulares de trabajo de cada perfil de exposición, se concluye que cada puesto se considerará como un grupo de exposición similar por aparte en la planta de TS y, por su parte, el caso del operador de sandblasting se considera aislado no solo por la naturaleza de sus labores, si no, por el agente químico al que se encuentra expuesto. Se resumen en el Cuadro 17 los factores determinantes de exposición como parte de la constitución de los GES. Además, se utiliza en ese cuadro un código de colores que indica el riesgo

obtenido en el Apéndice 5 para cada uno de los factores determinantes y puestos de trabajo. Asimismo, se categorizó el grado de contaminación en cuatro grupos de acuerdo con los siguientes criterios:

1. Superficie contaminada menos de un 25% de su totalidad.
2. Superficie contaminada entre un 25% y 50% de su totalidad.
3. Superficie contaminada entre un 50% y 75% de su totalidad.
4. Superficie contaminada más de un 75% de su totalidad.

Los cuales se aplican únicamente a aquellos factores relacionados a superficies contaminadas.

Cuadro 17. Factores determinantes de exposición según el puesto de trabajo. Los números indican el grado de contaminación de la superficie y los colores el nivel de riesgo obtenido en el Apéndice 5.

Factor determinante de exposición	TS-a	TS-b	TS-c	TS-d	TR-a
Cercanía a la fuente	4	4	4	4	4
Manipulación de baldes para refuerzos	4	4	4	4	4
Cercanía con herramientas contaminadas	1	3	4	4	4
Cercanía con máquinas contaminadas	4	2			4
Cercanía con superficies contaminadas	2	3	4	4	4
Suelo contaminado	1	2	2	4	3
Paredes contaminadas	3	4	3		3
Emisión de vapores/polvos desde la fuente					
Cercanía a fuentes de calor					
Movimientos violentos					
Tareas de limpieza					
Influencia de otras fuentes cerca					

El Cuadro 17 muestra de forma visual lo expuesto en la conclusión de la caracterización básica, donde se determinó que la exposición de TS-a se podría clasificar como aceptable bajo un estricto seguimiento, mientras que la exposición de los puestos TS-c y TS-d es inaceptable y la de TS-b y TR-a es incierta. Ahora, tomando en cuenta la exposición dermal y los factores determinantes de exposición general, se muestran en el Cuadro 18 los cinco GES que se tomaron en cuenta.

Cuadro 18. Grupos de exposición similar y su magnitud de exposición considerada.

GES	Descripción	Magnitud de exposición
1	Puesto de TS-a	Media
2	Puestos de TS-b	Alta
3	Puestos de TS-c	Extrema
4	Puestos de TS-d	Extrema
5	Puestos de TR-a	Alta

Se muestran los originales de los muestreos en los Apéndices 20 y 21 y los resultados de estos en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Resultados de los muestreos de MIBK, tolueno y MP.

Puesto	Peso inicial del filtro (g)	Peso final del filtro (g)	Cantidad de contaminante (mg)	Volumen de aire muestreado (m ³)	Concentración (mg/m ³)
TS-b1 (MIBK)	NA	NA	0,3	0,014	21,7
TS-b1 (tolueno)			3		217
TS-b2 (MIBK)	NA	NA	2,2	0,015	148
TS-b2 (tolueno)			6,5		438
TS-b3 (MIBK)	NA	NA	0,68	0,013	53
TS-b3 (tolueno)			6,5		502
TS-b4 (MIBK)	NA	NA	0	0,016	<
TS-b4 (tolueno)			0,01		1
TR-a1	3.97257	3.97247	2,3	0,248	9,3
TR-a2	3.80364	3.80643	4,5	0,254	17,5

Los resultados muestran que la mayor exposición de MIBK en los puestos de TS-b fue para la muestra 2, ya que excedió aproximadamente dos veces los límites de exposición para MIBK que es de 73,6 mg/m³; es decir, que en una medición que duró 267 min (casi la mitad de su jornada laboral) se expuso el doble de lo permitido para sus ocho horas laborales. Los resultados de TS-b1 y TS-b3, aunque se encuentran por debajo del límite de

exposición, no son despreciables, por lo que es importante mantener el seguimiento a la exposición de estos puestos.

Para la exposición a tolueno se tiene que la muestra con la mayor concentración fue la 3, ya que obtuvo aproximadamente 7,4 veces la exposición de acuerdo con lo establecido como límite para tolueno, que es de 67,6 mg/m³. En el caso de TS-b1 y TS-b2 superaron 3,2 y 6,5 veces la exposición límite, respectivamente. Estos resultados denotan una clara condición de exposición a tolueno, ya que en casi la mitad de su jornada laboral excedieron el límite con concentraciones muy por arriba de lo establecido. Aunque el xileno no se cuantificó, no se descarta que exista exposición a este agente debido a los agentes constituyentes de las materias primas con las que se trabaja y que están mezcladas con tolueno y MIBK.

Finalmente, para TR-a se obtiene en la primera muestra una exposición 1,86 veces por arriba de lo permitido, y en la segunda, se excedió 3,5 veces lo establecido para una jornada de ocho horas. Se hace particularmente interesante que en la segunda muestra se obtuvo prácticamente el doble que en la primera, situación que puede estar relacionada a las prácticas laborales que haya tenido el trabajador en ese momento. En el puesto de TR-a también se denota una importante exposición, en este caso, a polvo fino de arena.

V. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Se resumen a continuación las propuestas de control, en donde, a la vez, se indica para qué puesto podría ser factible o aplica mejor la medida para reducir la exposición.

Cuadro 20. Propuesta de medidas de control para exposición laboral.

Tipo	No.	Medida de control	Puesto más adecuado
Eliminación	1	Eliminar los restos del agente en superficies, máquinas y herramientas de trabajo. En el caso específico de TR, utilizar aspiradoras en lugar de pistolas de aire comprimido para soplar las superficies, ya que esto solo libera más contaminante en el aire.	TS-b, TS-c, TS-d, TR-a
	2	Eliminar el proceso de arenado por medio del uso de rieles donde se puedan colocar las piezas con la cara que no se desea pintar hacia abajo, de modo que los trabajadores del puesto TR-a no se expongan a material particulado, y también hacer más eficiente el proceso de pintura de las piezas fieldlock.	TS-d, TR-a

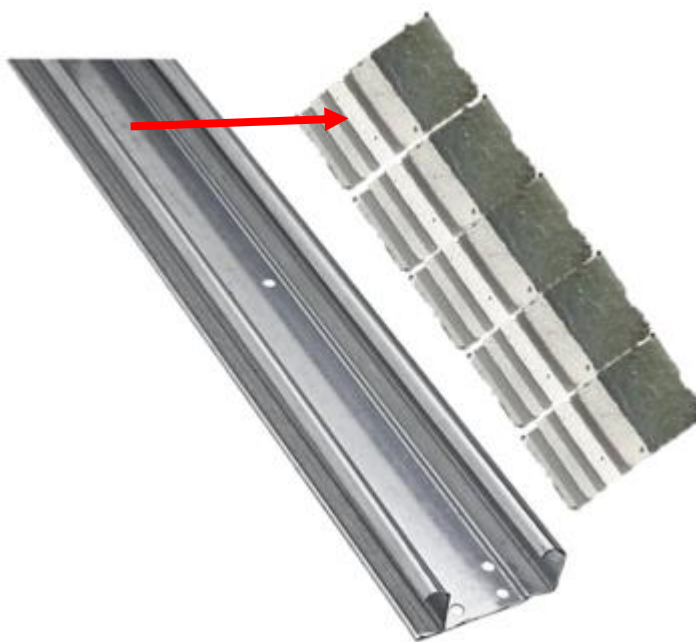


Figura 14. Medida de control #2: uso de rieles propios para la labor de pintura de piezas pequeñas, de modo que estas se acoplen a los relieves del riel.

Tipo	No.	Medida de control	Puesto más adecuado
Sustitución	3	Uso de un material menos peligroso: cuando sea posible, aplicar una pintura en base agua en lugar de pinturas con solventes a base de agentes tóxicos.	TS-b, TS-c, TS-d
	4	Cuando sea posible, realizar una sustitución de máquinas o herramientas, por ejemplo, sustituyendo las pistolas de pintura por brochas o rodillos para pintar.	TS-b, TS-d
	5	Cambio de máquinas o herramientas: uso de métodos menos polvorientos, como limpieza con chorro al vacío, limpieza con chorro abrasivo húmedo, limpieza con herramientas eléctricas cubiertas o decapado químico para sustituir la limpieza con chorro abrasivo abierto y así reducir la exposición a partículas respirables en el aire.	TR-a
	6	Se recomienda sustituir la forma en la que se realizan actualmente las recargas de producto en cualquiera de las estaciones de trabajo. Esto por medio de la colocación de totes industriales en las paredes del recinto, colocadas en la parte superior de la pared, donde se pueda establecer un sistema de recarga automático o mecanizado que permita conocer el caudal de entrada y de este modo saber exactamente la cantidad que se necesita cada vez que se realice una recarga.	Todos



Figura 15. Medida de control #6: actualmente ya se cuenta con el uso de totes en la parte izquierda de los baños de lavado. La recomendación es hacer un mejor uso de estos espacios, de modo que se coloquen totes de cada agente en el lugar correspondiente con el fin de realizar las recargas por medio de algún sistema mecanizado automático. Aplica lo mismo para la línea de pintura y sandblasting.

Tipo	No.	Medida de control	Puesto más adecuado
Reducción	7	Reducir la presión del aire que se utiliza para la pistola de aire comprimido, de modo que se use solamente el aire necesario para, en el caso de TS, soplar la gota, o soplar las piezas metálicas en TR.	TS-b, TR-a
Encerramiento completo	8	Se propone la creación de una cabina completamente cerrada en la que solamente los trabajadores que laboren directamente en el proceso sean los que deban entrar. Esta cabina estaría a una temperatura controlada por medio de aire acondicionado, de modo que evite la vaporización de los compuestos volátiles, y con extractores en el suelo de la cabina para que los vapores se extraigan hacia abajo y no hacia arriba, con el objetivo de evitar que el trabajador se sitúe en la trayectoria de extracción del contaminante (de no ser posible en el suelo, los extractores se deben ubicar en las paredes, pero nunca en el techo). También se debe tomar en cuenta que las superficies de trabajo deben estar al nivel de la cintura del trabajador de modo que se apunte hacia abajo con las pistolas o se trabaje cómodamente si se usan brochas o rodillos.	TS-b, TS-c, TS-d

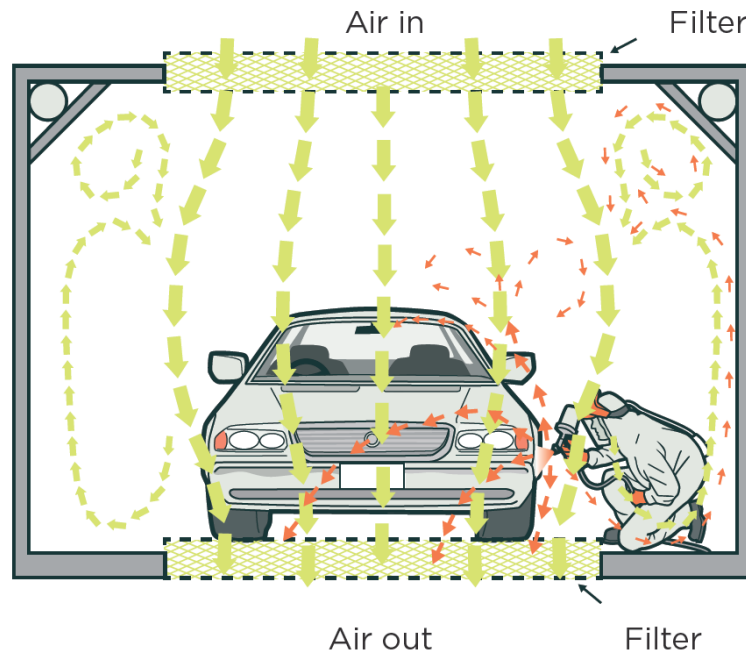


Figura 16. Medida de control #8: se propone la creación de cabinas de pintura o arenado como la que se muestra en la figura, con la diferencia de que los extractores se situarían por la zona caminable del trabajador; es decir, por debajo de este. Asimismo, entiéndase que, en el caso de TS, en donde se encuentra el vehículo se colocarían los rieles y, para TR, en vez del vehículo se ubicarían las mesas de trabajo.

Tipo	No.	Medida de control	Puesto más adecuado
Encerramiento completo	9	Se recomienda hacer uso de la máquina de arenado abrasiva que contiene únicamente dos aperturas para manipular las pistolas dentro de la cabina, de modo que se contenga por completo el contaminante dentro de la cabina.	TR-a

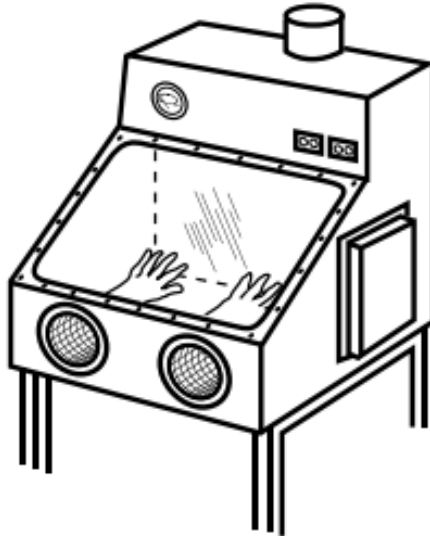


Figura 17. Medida de control #9: se recomienda el uso de este tipo de cabinas de arenado, y que proveen un encerramiento completo del agente reduciendo al máximo la exposición del trabajador.

Tipo	No.	Medida de control	Puesto más adecuado
Segregación	10	Se recomienda considerar la separación física de las áreas de baños de lavado y pintura por medio de la creación de una pared entre áreas, de modo que solo quede una apertura para transportar las canastas de aros y bandas entre espacios de trabajo, de ese modo, los trabajadores del puesto TS-a no tendrían que exponerse, también, a COV. La separación puede ser de plástico con el fin de evitar accidentes para poder observar cuando algún colaborador va transitando o; si esto no es posible por un tema de seguridad laboral, de lana de roca o fibra de vidrio, para así, incluir un aislamiento térmico de las unidades que significan fuentes de calor, como los hornos de secado y canastas de aros y bandas que salen calientes de los hornos de secado.	TS-a, TS-b, TS-d



Figura 18. Medida de control #10: se propone la colocación de una separación física entre áreas de trabajo del mismo recinto (en donde solo se deje espacio para la pasada con las perras hidráulicas).

Tipo	No.	Medida de control	Puesto más adecuado
Encerramiento parcial	11	<p>Se recomienda que los encerramientos parciales con los que actualmente se cuenta en TS, se sitúen perpendicularmente a la entrada de aire al recinto, con el fin de evitar que las corrientes de aire puedan interferir con el sistema de extracción localizada.</p> <p>Además, es necesario tomar en cuenta que los extractores no deberían situarse en el techo del encerramiento parcial, ya que esto ocasiona que la extracción de los contaminantes se dé a través de la trayectoria de la zona respirable del trabajador, si no, que se coloquen en las paredes o en el suelo del encerramiento parcial. Si se colocan en las paredes, los ventiladores deben colocarse detrás del trabajador y esto debe ser respetado con el fin de proteger siempre al trabajador; de lo contrario, si los extractores se colocan en el suelo, los ventiladores deben colocarse en el techo de la cabina con el objetivo de extraer el contaminante hacia abajo.</p>	TS-b, TS-d



Figura 19. Medida de control #11: se recomienda hacer el uso adecuado de los encerramientos parciales, de modo que el extractor se coloque donde se encuentra el cuadro con la x roja, el trabajador se ubique en el cuadro con la x amarilla y el ventilador se instale en el cuadro con la x azul. De este modo, si el trabajador se ubica dentro de la cabina con la dirección recomendada, el agente será extraído sin pasar por la trayectoria respirable del colaborador.

Tipo	No.	Medida de control	Puesto más adecuado
Encerramiento parcial	12	Se recomienda hacer el uso adecuado de las puertas de la máquina automática por inmersión, ya que estas permiten realizar un encerramiento parcial mientras se usan las pistolas de aire comprimido para eliminar la gota de pintura.	TS-b



Figura 20. Medida de control #12: se recomienda mantener las puertas de la máquina de inmersión cerradas cuando se esté soplando la gota, esto con el fin de evitar la exposición al compañero del otro lado, y reducir la aspersión del contaminante en el aire.

Tipo	No.	Medida de control	Puesto más adecuado
Encerramiento parcial	13	Se propone el uso de capillas de extracción en las mesas de trabajo del recinto de TR, esto con el fin de evitar que el trabajador se exponga innecesariamente a polvo en el aire; además, que se establecería una barrera entre el contaminante y el trabajador, ya que se tendría un efecto de apantallamiento para realizar el soplado de las piezas y, a la vez, el polvo sería capturado por la máquina de extracción.	TR-a



Figura 21. Medida de control #13: se propone la colocación de capillas de extracción en las mesas de trabajo de TR con el fin de reducir la liberación de polvo en el ambiente de trabajo.

Tipo	No.	Medida de control	Puesto más adecuado
Ventilación por extracción localizada	14	Se propone la utilización de extractores localizados en las cabinas de pintura del encerramiento parcial, las cuales sean móviles dentro de la misma.	TS-b, TS-d

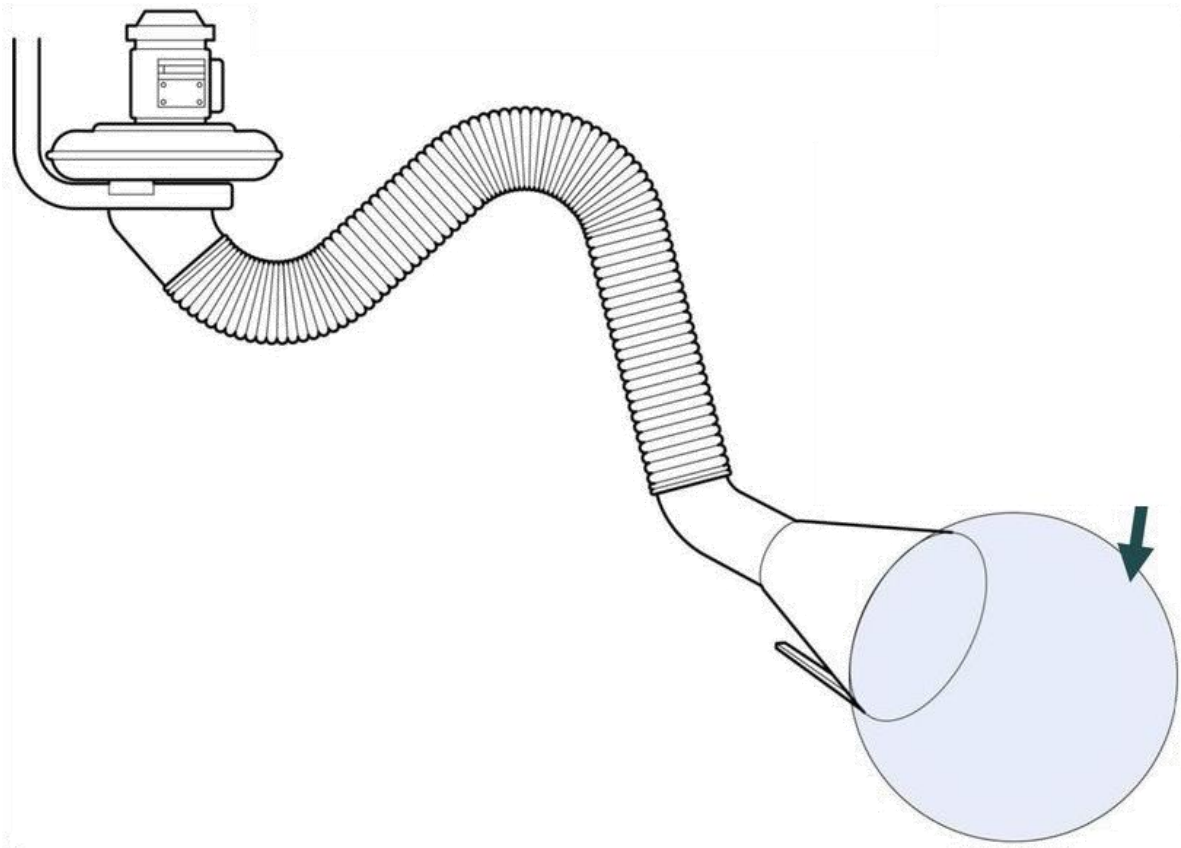


Figura 22. Medida de control #14: se propone la instalación de dispositivos móviles de captura tipo campana dentro de las cabinas de extracción, de modo que el trabajador las pueda colocar en donde vaya a realizar las labores de pintura manual.

Tipo	No.	Medida de control	Puesto más adecuado
Ventilación por extracción localizada	15	Se propone el método de Bajo Volumen Alta Velocidad (LVHV, por sus siglas en inglés) para la pintura manual con pistolas. Este consiste en la instalación de pequeños extractores en las pistolas con el fin de capturar los residuos de pintura.	TS-b, TS-d



Figura 23. Medida de control #15: la imagen representa el método LVHV para humos de soldadura; sin embargo, se recomienda valorar la opción de añadir dispositivos de captura tipo extractor a las pistolas de pintura manual con el fin de capturar aquellos residuos que quedan de la pistola y del contaminante en el aire.

Tipo	No.	Medida de control	Puesto más adecuado
Ventilación general	16	Tomando en cuenta el pequeño estudio de climatología de viento de la zona, se comprobó que esta medida sería efectiva dado que el aire sí circularía a favor del viento de la zona, por lo que se propone la apertura de las paredes en la parte superior de estas en ambos recintos, por medio de rejillas con pequeños orificios que permitan la circulación general del aire, la renovación de aire del local y la reducción de la temperatura interna del recinto.	TS-a, TS-b, TS-d, TR-a

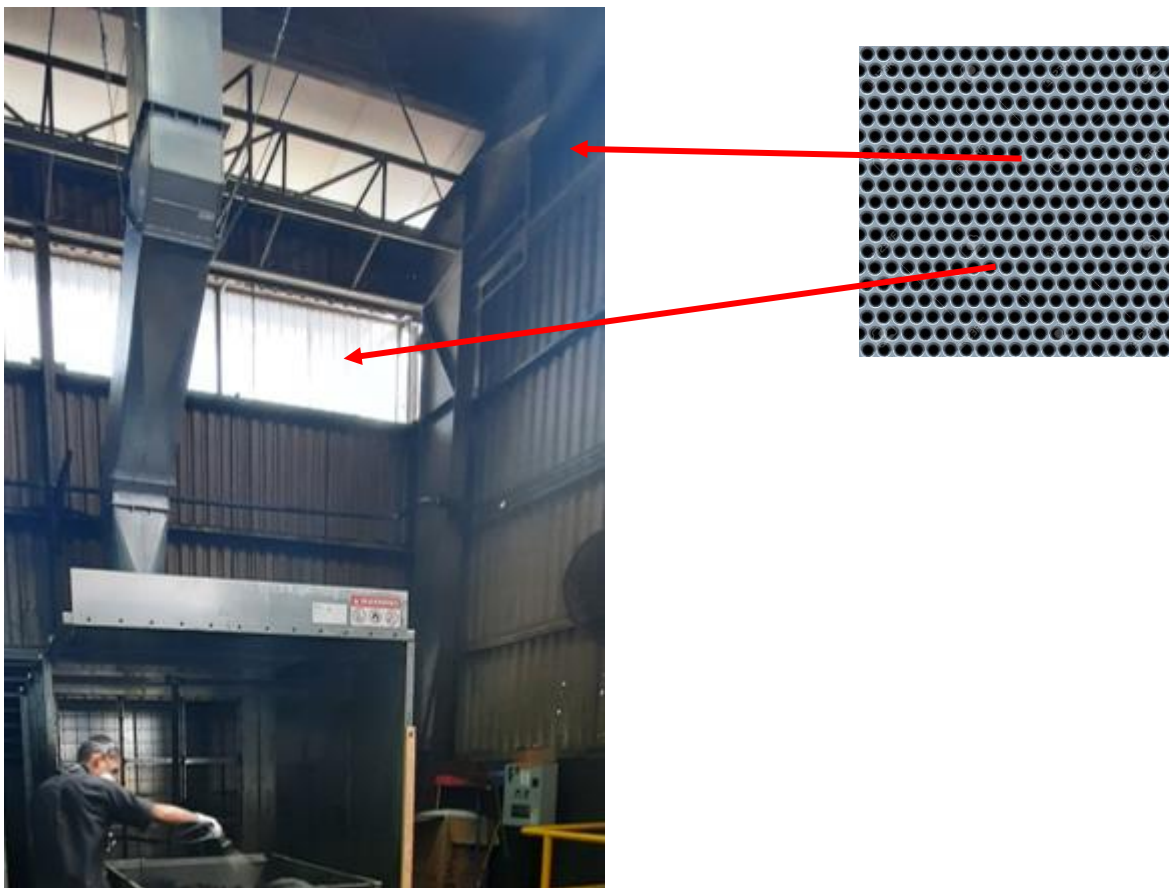


Figura 24. Medida de control #16: se recomienda la instalación de rejilla con orificios pequeños que permita la circulación general del viento en el recinto sin dejar escapar tanto contaminante en el aire exterior.

Tipo	No.	Medida de control	Puesto más adecuado
Controles administrativos	17	Se recomienda mantener a los trabajadores en un programa de vigilancia médica con el objetivo de monitorear constantemente su salud.	Todos
	18	Se recomienda realizar inspección y mantenimiento periódicos de los equipos (máquinas y herramientas de trabajo).	
	19	Disponer de maneras sencillas de verificar el buen funcionamiento de la extracción localizada (tales como manómetros, anemómetros, entre otros).	
	20	Colocar tapas a los baldes que se utilizan para realizar las recargas de materia prima.	
Equipo de protección personal	21	Se recomienda el uso de equipo de protección personal en todo momento mientras se estén realizando las labores. El EPP recomendado incluye: gafas de protección (en el caso de TS-a se recomienda careta completa cuando se realizan los cambios de los baños de lavado), respirador con el uso apropiado de filtros para vapores y material particulado (según cada caso), guantes de cloruro de polivinilo (PVC) para TS-a; de nitrilo para TS-b, TS-c y TS-d; y de látex para TR-a, zapatos de seguridad para todos, y delantal de PVC para cuando se realizan las recargas de materia prima.	Todos
	22	Verificar la frecuencia de cambio de los filtros de los respiradores.	

Para el caso específico del puesto TS-c, se recomienda evaluar la posibilidad de dejar en remojo las piezas que se deben limpiar y no hacerlo en el mismo momento en que estas son recuperadas del área de TS, ya que esto permite que los restos se desprendan con mayor facilidad de las piezas, lo que reduciría tanto la fuerza aplicada por el trabajador, como la cantidad de materia prima utilizada.

Con el fin de facilitar la toma de decisiones, se creó una matriz de factores de reducción y justificación (ver Apéndice 25) en la cual se muestra la relación entre el beneficio obtenido, una vez aplicado el control recomendado para cada puesto, contra el costo de implementar esa medida. A partir de dicha tabla, fue posible generar el Cuadro 21, en el que se observan los 22

controles propuestos y cómo se debería comenzar la implementación de estos, según los resultados obtenidos en el factor de justificación.

Cuadro 21. Orden de implementación de controles para cada puesto de trabajo.

Controles	TS-a	TS-b	TS-c	TS-d	TR-a
1			3	5	5
2				2	1
3		1	1	1	
6	2				
7		4			3
9					2
10	1				
11		3		3	
12		2			
16	3				
18	4		5		
20	5		4		
22		5	2	4	4

En cada puesto se enumeran, de manera ascendente, los cinco controles más viables de acuerdo con la relación costo/beneficio para la empresa. Se aprecia que la medida de control #10 es la primera medida que se debería implementar en el puesto TS-a, esto porque lo más importante en el caso de TS-a es lograr la separación del entorno laboral, de modo que se reduzca la emisión de los agentes de los otros procesos en su área de trabajo, y viceversa para la línea de pintura. Para TS-b, TS-c y TS-d el primer control a implementar sería el #3, esto debido a la alta toxicidad de los agentes utilizados y tomando en cuenta que no requiere de algún costo adicional, ya que la misma empresa puede generar sus propios productos. Finalmente, para TR-a la solución más viable consiste en eliminar su proceso de trabajo (control #2), esto considerando que las mismas piezas vienen diseñadas para colocarse sobre el riel en el que se podrían pintar sin necesidad de ser arenadas, eliminando por completo la exposición del trabajador a material particulado, logrando aprovechar las capacidades del colaborador en otras tareas de la misma área, que corresponde a Trimming.

VI. CONCLUSIONES

Se evaluaron los riesgos por vía inhalatoria y dérmica de los puestos de trabajo de Tratamiento de Superficies (TS) y de sandblasting en el área de Trimming a partir de la realización de la caracterización básica, mediante la cual fue posible crear cinco grupos de exposición similar de acuerdo con las magnitudes de exposición consideradas según los datos recabados y que, en el caso de estudio, corresponden a los cinco puestos de trabajo estudiados. Con ello, se logró determinar que las magnitudes de exposición por ambas vías de exposición van desde moderadas hasta extremas, y que cada puesto de trabajo se considera un grupo de exposición similar por aparte, debido a la naturaleza de las actividades y magnitudes de exposición que presenta cada puesto laboral a cada agente.

Además, se consiguieron identificar los distintos determinantes de exposición tales como la cercanía a la fuente, la manipulación de baldes para refuerzos de materia prima, la cercanía con herramientas, máquinas y superficies contaminadas, así como suelos y paredes contaminados, la emisión de vapores y polvos desde la fuente, la cercanía a fuentes de calor, movimientos de trabajo violentos, tareas de limpieza llevadas a cabo sin seguir el proceso correcto y la influencia de fuentes de otros agentes cercanos.

Se lograron evaluar los resultados de las mediciones cuantitativas permitiendo denotar que los puestos de la línea de pintura se encuentran bajo una condición de sobre exposición, al igual que el operario de sandblasting. Con respecto a los trabajadores expuestos a tolueno y MIBK, se determinó que la exposición supera desde dos veces y, en algunos casos, en hasta 7,5 veces la exposición dada por los límites de exposición ocupacional; mientras que, para el colaborador expuesto a material particulado, la exposición más baja superó en 1,8 veces lo permitido y, en

la más alta, alcanzó 3,5 veces el límite establecido para exposición laboral a partículas finas de polvo de arena.

Se elaboró una propuesta de controles de riesgos químicos para reducir la exposición laboral por medio de la jerarquía de controles tomando en cuenta desde la eliminación, pasando por la sustitución, reducción, encerramiento completo, segregación, encerramiento parcial, ventilación por extracción localizada y ventilación general, hasta controles administrativos y de uso de equipo de protección personal; para los cuales se propone un orden de implementación de acuerdo con la relación entre la reducción del riesgo y el costo de implementación.

VII. RECOMENDACIONES

El presente trabajo nació debido a la necesidad de evaluar las últimas mediciones de higiene ocupacional que se habían realizado en la empresa, ya que para una empresa de más de 800 empleados de la industria de agentes químicos, se cuenta con una sola persona en el Departamento de Salud Ocupacional y Ambiente; por lo que la primera recomendación va dirigida a considerar la ampliación del personal de este departamento con el fin de poder mejorar el alcance de la atención a la exposición laboral de todos los puestos de la empresa, logrando una mejor distribución de cargas y responsabilidades.

Se recomienda; además, valorar la posibilidad de realizar al menos una medición de higiene ocupacional cuantitativa al año, con el fin de verificar no solamente cumplimiento legal; sino, para poder atender apropiadamente las diferentes exposiciones a agentes químicos que existen en toda la empresa.

Realizar evaluaciones periódicas de exposición dérmica a los agentes estudiados utilizando métodos como el DREAM, u otros como los marcadores fluorescentes, con el fin de monitorear, controlar y mejorar las medidas de control de la exposición ocupacional por esta vía.

A la vez, tomar en cuenta la razón costo/beneficio de implementar las medidas de control de exposición descritas en este estudio con el objetivo de ocuparse de la salud de los colaboradores y disminuir el posible ausentismo a causa de enfermedades laborales.

Continuar y reforzar el programa de capacitaciones; así como reforzar el compromiso de liderazgo acordado por medio del Sistema de Gestión ISO 9001:2015 con el que la empresa cuenta; ya que la participación, presencia, representación y ejemplo de los altos mandos es fundamental en el cumplimiento de las medidas administrativas. Asimismo, establecer mecanismos de monitoreo y seguimiento para evaluar la efectividad, tanto

de las capacitaciones, como de los controles implementados y realizar mejoras según sea necesario.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- ACGIH. (2022). *Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices*. American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
- AIHA. (2010). *La Estrategia para la Evaluación de la Exposición Ocupacional*. American Industrial Hygiene Association.
- Attarchi, M., Dehghan, F., Afrasyabi, M., Sadeghi, Z., & Mohammadi, S. (2013). Combined Effect of Cigarette Smoking and Occupational Exposures on Lung Function: A Cross-Sectional Study of Rubber Industry Workers. *Workplace Health & Safety*, 61(5), 213-220. <https://doi.org/10.1177/216507991306100505>
- Bluemlein, K., Elend, M., Meijster, T., Margary, A., Tibaldi, R., Hahn, S., & Hesse, S. (2018). Solvent Transfer—Efficiency of Risk Management Measures. *Annals of Work Exposures and Health*, 62(1), 112-123. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxx090>
- Cherrie, J., Semple, S., & Coggin, M. (2021). *Monitoring for Health Hazards at Work, Chapter 9* (5th Edition). Wiley Blackwell.
- Creta, M., Poels, K., Thoelen, L., Vranckx, K., Collaerts, P., Jansen, F., Vangeel, M., Godderis, L., Duca, R.-C., & Vanoirbeek, J. A. J. (2017). A Method to Quantitatively Assess Dermal Exposure to Volatile Organic Compounds. *Annals of Work Exposures and Health*, 61(8), 975-985. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxx054>

- Davies, B., & Henderson, J. (2009). *Student Manual: Control of Hazardous Substances*. Occupational Hygiene Training Association.
- Ding, Y. S., Blount, B. C., Valentin-Blasini, L., Applewhite, H. S., Xia, Y., Watson, C. H., & Ashley, D. L. (2009). Simultaneous Determination of Six Mercapturic Acid Metabolites of Volatile Organic Compounds in Human Urine. *Chemical Research in Toxicology*, 22(6), 1018-1025. <https://doi.org/10.1021/tx800468w>
- Fang, S. C., Cassidy, A., & Christiani, D. C. (2010). A Systematic Review of Occupational Exposure to Particulate Matter and Cardiovascular Disease. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7(4), 1773-1806. <https://doi.org/10.3390/ijerph7041773>
- Golbabaei, F., Dehghani, F., Saatchi, M., & Zakerian, S. A. (2018). Evaluation of occupational exposure to different levels of mixed organic solvents and cognitive function in the painting unit of an automotive industry. *Health Promotion Perspectives*, 8(4), Article 4. <https://doi.org/10.15171/hpp.2018.42>
- Hidajat, M., McElvenny, D. M., Mueller, W., Ritchie, P., Cherrie, J. W., Darnton, A., Agius, R. M., Kromhout, H., & Vocht, F. de. (2019). Job-exposure matrix for historical exposures to rubber dust, rubber fumes and n-Nitrosamines in the British rubber industry. *Occupational and Environmental Medicine*, 76(4), 259-267. <https://doi.org/10.1136/oemed-2018-105182>

- HSA. (2014, enero). *Local Exhaust Ventilation (LEV) Guidance*.
https://www.hsa.ie/eng/publications_and_forms/publications/occupational_health/local_exhaust_ventilation_lev_guidance.pdf
- HSE. (2014). General methods for sampling and gravimetric analysis of respirable, thoracic and inhalable aerosols MDHS14. *Methods for the Determination of Hazardous Substances, Health and Safety Executive*, 13.
- HSE. (2017). *Controlling airborne contaminants at work: A guide to local exhaust ventilation (LEV)*.
<https://www.hse.gov.uk/pubns/priced/hsg258.pdf>
- IARC (Ed.). (2012a). *Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts: A review of human carcinogens*. Volume 100C. International Agency for Research on Cancer.
- IARC (Ed.). (2012b). *Chemical Agents and Related Occupations: A review of human carcinogens*. Volume 100F. International Agency for Research on Cancer.
- INSHT. (2003). *Ficha guía de control 200. Ventilación por extracción localizada*.
<https://www.insst.es/documents/94886/123995/FCAQ%20200%20Ventilaci%C3%B3n%20por%20extracci%C3%B3n%20localizada.pdf>
- INSST. (2012). *Agentes químicos: Evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (II). Modelo COSHH Essentials*. Notas Técnicas de Prevención.

<https://www.insst.es/documents/94886/155031/Erga+Bibliogr%C3%A1fico+n%C2%BA+468+-+Septiembre+2013.pdf>

INTECO. (2016, agosto 5). *Salud y Seguridad en el trabajo. Concentraciones ambientales máximas permisibles en los centros de trabajo*. INTECO:2016 Salud y Seguridad en el trabajo. Concentraciones ambientales máximas permisibles en los centros de trabajo. <https://www.inteco.org/shop/inte-t20-2016-salud-y-seguridad-en-el-trabajo-concentraciones-ambientales-maximas-permisibles-en-los-centros-de-trabajo-720?product=720>

Jakasa, I., Kezic, S., & Boogaard, P. J. (2015). Dermal uptake of petroleum substances. *Toxicology Letters*, 235(2), 123-139. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2015.03.012>

Jönsson, L. S., Broberg, K., Axmon, A., Bergendorf, U., Littorin, M., & Jönsson, B. A. G. (2008). Levels of 1-hydroxypyrene, symptoms and immunologic markers in vulcanization workers in the southern Sweden rubber industries. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 82(1), 131-137. <https://doi.org/10.1007/s00420-008-0310-8>

Jönsson, L. S., Broberg, K., Axmon, A., Jönsson, B. A., & Littorin, M. (2007a). Symptoms and immunologic markers among vulcanization workers in rubber industries in southern Sweden. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 33(4), 272-279. <https://doi.org/10.5271/sjweh.1143>

- Jönsson, L. S., Broberg, K., Bergendorf, U., Axmon, A., Littorin, M., & Jönsson, B. A. G. (2007b). Levels of 2-thiothiazolidine-4-carboxylic acid (TTCA) and effect modification of polymorphisms of glutathione-related genes in vulcanization workers in the southern Sweden rubber industries. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 80(7), 589-598. <https://doi.org/10.1007/s00420-007-0171-6>
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K. C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., ... Joseph, D. (1996). The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(3), 437-472. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1996\)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2)
- Lamplugh, A., Harries, M., Xiang, F., Trinh, J., Hecobian, A., & Montoya, L. D. (2019). Occupational exposure to volatile organic compounds and health risks in Colorado nail salons. *Environmental Pollution*, 249, 518-526. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.086>
- Lee, E. G., Slaven, J., Bowen, R. B., & Harper, M. (2011). Evaluation of the COSHH Essentials Model with a Mixture of Organic Chemicals at a Medium-Sized Paint Producer. *The Annals of Occupational Hygiene*, 55(1), 16-29. <https://doi.org/10.1093/annhyg/meq067>

- Li, A. J., Pal, V. K., & Kannan, K. (2021). A review of environmental occurrence, toxicity, biotransformation and biomonitoring of volatile organic compounds. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 3, 91-116. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.01.001>
- Li, Q., Su, G., Li, C., Wang, M., Tan, L., Gao, L., Mingge, W., & Wang, Q. (2019). Emission profiles, ozone formation potential and health-risk assessment of volatile organic compounds in rubber footwear industries in China. *Journal of Hazardous Materials*, 375, 52-60. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.04.064>
- Meijer, E., Heederik, D., & Kromhout, H. (1998). Pulmonary effects of inhaled dust and fumes: Exposure-response study in rubber workers. *American Journal of Industrial Medicine*, 33(1), 16-23. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0274\(199801\)33:1<16::AID-AJIM3>3.0.CO;2-U](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0274(199801)33:1<16::AID-AJIM3>3.0.CO;2-U)
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.f.). *De compuestos orgánicos volátiles*. MITECO, Vicepresidencia Tercera del Gobierno. https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/act-emis/compuestos_organicos_volatiles.aspx
- Nasirzadeh, N., Soltanpour, Z., Mohammadian, Y., & Mohammadian, F. (2022). Risk Assessment of Silicosis and Lung Cancer Mortality associated with Occupational Exposure to Crystalline Silica in Iran.

Journal of Research in Health Sciences, 22(2), Article 2.
<https://doi.org/10.34172/jrhs.v0i0.7720>

Niaz, K., Bahadar, H., Maqbool, F., & Abdollahi, M. (2015). A review of environmental and occupational exposure to xylene and its health concerns. *EXCLI Journal*; 14:Doc1167; ISSN 1611-2156.
<https://doi.org/10.17179/EXCLI2015-623>

NIOSH. (2003a, marzo 15). *Hydrocarbons, Aromatic 1501*. Hydrocarbons, Aromatic 1501. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/1501.pdf>

NIOSH. (2003b, marzo 15). *Ketones 2555*. Ketones 2555. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/2555.pdf>

NIOSH. (2022, octubre 21). *Pocket Guide to Chemical Hazards | NIOSH | CDC*. Centers for Disease Control and Prevention, The National Institute for Occupational Safety and Health. <https://www.cdc.gov/niosh/npg/default.html>

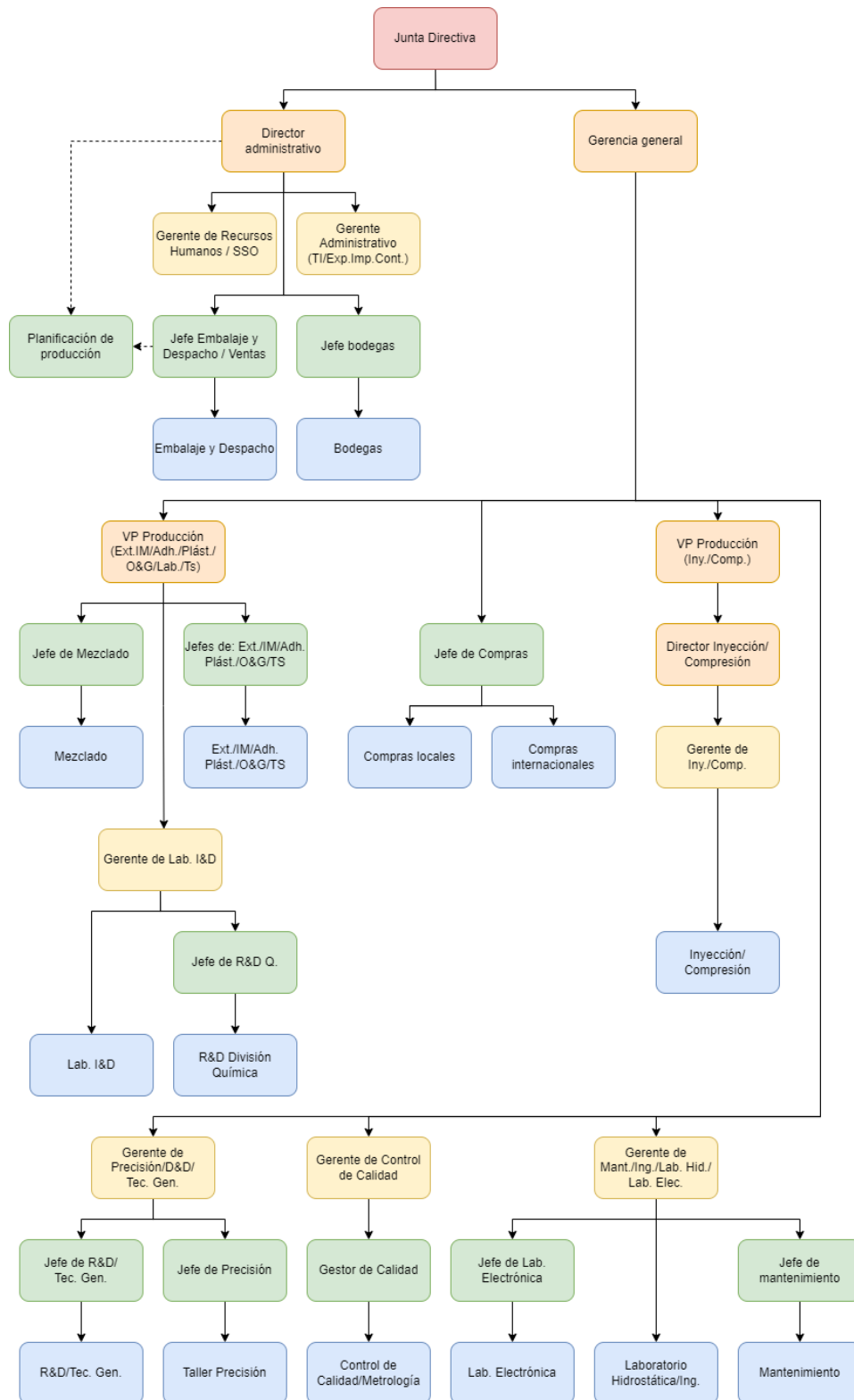
NOAA. (2009, octubre 14). *Daily Mean Composites*. Daily Climate Composites: NOAA Physical Sciences Laboratory. <https://psl.noaa.gov/data/composites/day/>

Ortiz Vásquez, A. M., & Rincón Cuervo, C. G. (2014). Descripción de la jerarquía de controles frente al peligro químico, por exposición a compuestos orgánicos volátiles generados por procesos de pintura en el sector industrial. *Investigación en Enfermería: Imagen y Desarrollo*, 17(1). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.IE17-1.djcp>

- OSHA. (s. f.). *OSHA Technical Manual (OTM)—Section V: Chapter 3*. Occupational Safety and Health Administration. Recuperado 4 de julio de 2023, de <https://www.osha.gov/otm/section-5-construction-operations/chapter-3#ewpc>
- Radnoff, D. L., & Kutz, M. K. (2014). Exposure to Crystalline Silica in Abrasive Blasting Operations Where Silica and Non-Silica Abrasives Are Used. *The Annals of Occupational Hygiene*, 58(1), 19-27. <https://doi.org/10.1093/annhyg/met065>
- Santonen, T., Moretto, A., Papameletiou, D., & Klein, C. L. (2016). *SCOEL/OPIN/2016-402 rubber fumes and dusts: Opinion from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits*. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. <https://data.europa.eu/doi/10.2767/109431>
- Sierra-Calderon, D. D., Severiche-Sierra, C. A., Bedoya-Marrugo, E. A., Meza-Aleman, M. de J., & Espinosa-Fuentes, E. A. (2018). *Silice in the Sandblasting Industry: A review from Occupational Safety and Health*. 13(8).
- USEPA, O. (2014, agosto 18). *Technical Overview of Volatile Organic Compounds* [Overviews and Factsheets]. <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds>

- USEPA, O. (2016, abril 26). *Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM)* [Overviews and Factsheets]. <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>
- USEPA, O. (2019, febrero 19). *What are volatile organic compounds (VOCs)?* [Overviews and Factsheets]. <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/what-are-volatile-organic-compounds-vocs>
- Van-Wendel-De-Joode, B., Brouwer, D. H., Vermeulen, R., Van Hemmen, J. J., Heederik, D., & Kromhout, H. (2003). DREAM: A Method for Semi-quantitative Dermal Exposure Assessment. *The Annals of Occupational Hygiene*, 47(1), 71-87.
<https://doi.org/10.1093/annhyg/meg012>
- Wang, D., Yu, H., Shao, X., Yu, H., & Nie, L. (2018). Direct and potential risk assessment of exposure to volatile organic compounds for primary receptor associated with solvent consumption. *Environmental Pollution*, 233, 501-509.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.10.009>
- Zuskin, E., Mustajbegovic, J., Schachter, E. N., Doko-Jelinic, J., & Budak, A. (1996). Longitudinal study of respiratory findings in rubber workers. *American Journal of Industrial Medicine*, 30(2), 171-179.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0274\(199608\)30:2<171::AID-AJIM8>3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0274(199608)30:2<171::AID-AJIM8>3.0.CO;2-3)

IX. APÉNDICES



Apéndice 1. Organigrama de TERRAMIX.

Apéndice 2. Niveles de peligro y sus categorías para cálculo del riesgo.

Nivel de peligro	Categoría
Poco peligroso	1
Peligroso	2
Muy peligroso	3
Altamente peligroso	4

Apéndice 3. Niveles de frecuencia de uso y sus categorías para cálculo del riesgo.

Nivel de frecuencia de uso	Categoría
Poco frecuente	1
Frecuente	2
Muy frecuente	3
Altamente frecuente	4

Apéndice 4. Matriz de riesgos obtenida al multiplicar el peligro por la frecuencia de uso, los colores representan a) verde: riesgo bajo, b) amarillo: riesgo medio, c) naranja: riesgo alto, d) rojo: riesgo muy alto.

Frecuencia \ Peligro	1	2	3	4
1	1	2	3	4
2	2	4	6	8
3	3	6	9	12
4	4	8	12	16

Apéndice 5. Matriz de niveles de riesgo obtenidos por factor determinante y puesto de trabajo. Los números representan la multiplicación del valor asignado para nivel de peligro y nivel de frecuencia de uso, respectivamente. NA=No Aplica.

Factor determinante de exposición	TS-a	TS-b	TS-c	TS-d	TR-a
Cercanía a la fuente	2x3	4x3	4x4	4x4	4x4
Manipulación de baldes para refuerzos	4x1	3x2	3x2	3x2	2x2
Cercanía con herramientas contaminadas	1x3	3x3	4x4	4x4	4x2
Cercanía con máquinas contaminadas	4x1	4x4	NA	NA	4x4
Cercanía con superficies contaminadas	3x3	4x3	4x4	4x4	4x4
Suelo contaminado	2x1	3x2	3x2	3x4	1x3
Paredes contaminadas	3x4	4x4	4x4	NA	2x4
Emisión de vapores/polvos desde la fuente	4x3	4x4	4x4	4x4	4x4
Cercanía a fuentes de calor	4x4	2x2	4x1	4x4	2x1
Movimientos bruscos	3x1	4x2	4x1	4x4	4x1
Tareas de limpieza	4x1	4x4	4x4	4x4	4x4
Influencia de otras fuentes cerca	2x3	2x3	3x1	4x4	2x1

Apéndice 6. Proceso detallado de medición.

El primer día de medición correspondió al 13 de junio de 2023, donde se realizó el muestreo de MP, apoyándose de la lista de chequeo mostrada en el Apéndice 5. Para ello, se colocó el tren de muestreo al trabajador identificado como TR-a1 a las 6:24 am y se le retiró a las 8:22 am, para un total de 118 min de muestreo. Posteriormente, se retiró el filtro y se le colocó otro utilizando la misma bomba, para comenzar la segunda muestra denominada como TR-a2 a las 8:24 am y finalizar a las 10:24 am, para un total de 121 min. Se utilizó una tabla para registrar los datos de flujo de aire con un anemómetro, los cuales se muestran en el Apéndice 21.

En el muestreo de MP al ser las 6:43 am se recogió la muestra de arena propiamente desde la máquina #1, para la cual, el trabajador, en ese momento portando la muestra TR-a1, abrió la compuerta de la máquina y salió una nube de polvo provocada por el ventilador que se encuentra en dirección a la máquina (esto ocurre cada vez que se abre una de estas máquinas). Él usó una pala larga y pequeña para tomar la muestra de arena. A las 6:47 am se observó que los trabajadores utilizan pistolas de aire comprimido para tirar las piezas de la mesa de trabajo a la canasta que las contiene hasta que se empacan. Además, se observó que también la utilizan para soplar la ropa, las herramientas y las superficies de trabajo; sin embargo, el trabajador que portaba el equipo de muestreo no realizó esta práctica laboral el día del muestreo.

Durante la medición, TR-a1 salió varias veces del recinto a verificar producto al recinto en frente y a traer más producto para arenar. A las 6:56 am TR-a1 abre la máquina #1 para verificar que todo esté bien y la cierra a las 6:58 am. A las 7:00 am TR-a1 se desplazó a merendar lejos del recinto regresando a las 7:17 am y se verificó que la bomba estuviera funcionando correctamente. TR-a1 no acciona la máquina #1, si no, que se encarga de alistar las piezas en la mesa de trabajo #1. A las 7:31 am se observa que es

una práctica común soplar el riel que contiene las piezas metálicas con la pistola de aire, operación en la cual se levanta mucho polvo.

Al ser las 7:38 am se abre la máquina #2 para verificar que la arena no tenga partículas grandes, ya que si esto ocurre la arena no lija bien las piezas metálicas. Para realizar esto, el compañero de TR-a1 se postró en el suelo escarbando la arena mientras TR-a1 le ayudaba visualmente a verificar la materia prima. La arena es devuelta a la máquina #2 por medio de un cartón en el que se recolecta, y se cierra la máquina #2 a las 7:43 am.

Al ser las 8:14 am TR-a1 pasa a accionar la máquina #1, función en la cual debe accionar la máquina y utilizar la pistola de aire. A las 8:23 am se realiza el cambio de filtro de la bomba, volviendo el trabajador a su labor a las 8:24 am con un nuevo filtro, muestra a la que se denominó TR-a2. Ahora, TR-a2 continúa colocando las piezas en el riel, accionando la máquina #1 y soplándolas con pistola de aire. A las 8:35 am abre la máquina #1 y la cierra en menos de 1 min. A las 8:45 am se observa a TR-a2 retirarse el respirador para soplarlo con la pistola de aire. A las 8:55 am vuelve a abrir la máquina #1 para remover la arena del fondo y la cierra; sin embargo, esto provoca mucha emisión de polvo. A las 9:12 am TR-a2 sale a traer producto nuevo, y a las 9:23 am retoma labores, para las cuales, pasa a alistar las piezas al frente de la mesa de trabajo #1.

A las 9:27 am TR-a2 abre la máquina #1 para ajustar algunas piezas de la máquina y la cierra. De 9:34 a 9:38 am TR-a2 realiza algunas pruebas de mantenimiento de las válvulas de presión de las pistolas de las máquinas. TR-a2 sale varias veces del recinto al recinto contiguo para traer rieles de diferentes formas y tamaños de acuerdo con las piezas que se deben arenar. A las 9:53 am TR-a2 retoma su labor acomodando piezas para su compañero. A las 10:18 am sale del recinto para traer producto nuevo, lo que significa que comenzará toda una nueva corrida de producto, por lo que

se aprovecha para retirar el equipo de muestreo al colaborador a las 10:24 am.

El segundo día de mediciones correspondió al 23 de septiembre de 2023, donde se realizó el muestreo de tolueno, xileno y MIBK, apoyándose de la lista de chequeo mostrada en el Apéndice 4. Para ello, se colocó el tren de muestreo al trabajador identificado como TS-b4 a las 6:13 am y se le retiró a las 10:57 am, para un total de 284 min de muestreo. A TS-b1 se le colocó el equipo a las 6:20 am y se le retiró a 10:57 am, para un total de 277 min de muestra. Al trabajador denominado como TS-b2 se le colocó el tren de muestreo a las 6:30 am para retirarlo hasta las 10:57 am, siendo un total de 267 min de muestreo; mientras que la muestra del tren de muestreo TS-b3 comenzó como un blanco ambiental ya que no había llegado el cuarto trabajador de la línea de pintura por una cita médica, entonces esta última se colocó a las 6:46 am en un lugar estratégico de la planta donde estaba lo suficientemente lejos como para no estorbar a los trabajadores, pero lo suficientemente cerca como para estar expuesto a los agentes en estudio. La muestra TS-b3 se colocó a un colaborador al ser las 9:26 am y se le retiró a las 10:57 am, abarcando un total de 251 min de muestra. Se realizaron 3 blancos que se abrieron a las 6:00 am y se cerraron a las 06:37 am.

Durante el muestreo de tolueno, xileno y MIBK, se observó a los trabajadores realizar sus tareas cotidianas mientras se colectaban muestras de flujo de aire con un anemómetro (ver Apéndice 20). Como puntos importantes de la observación no participativa, todos los trabajadores muestreados realizaban el puesto de Operario de línea de pintura, realizando tareas varias.

Entre ellas, TS-b4 se encargó de colocar aros y mover las perchas donde se colocan las varillas de trabajo, TS-b1 estuvo pintando con pistola manual, TS-b2 ayudó a colocar aros en la máquina. En algún momento TS-b1 y TS-

b2 se quedaron de pie conversando frente a la cabina de pintura al final de la línea automática.

Hasta las 7:09 am todo continuaba normal y a las 7:11 am TS-b2 sale a tomar aire por unos 30 s. A las 7:19 am no había algún colaborador soplando la gota. A las 7:29 otro colaborador abre las puertas de la máquina que contienen MIBK dejando el agente expuesto al ambiente de trabajo. A las 7:37 am TS-b2 sale a desayunar y regresa a las 8:05 am, mientras que TS-b1 y TS-b4 salen a las 7:55 am a tomar café y regresan a las 8:20 am. Al regreso del desayuno, TS-b2 pasa al proceso de pintura manual, mientras que TS-b4 coloca aros y TS-b1 ayuda con la pintura manual de aros.

A las 8:42 am todos operan con regularidad y esto continúa hasta las 9:16 am. A las 9:26 am ingresa el colaborador al que se le coloca la muestra ambiental TS-b3 y a las 9:30 am TS-b4 pasa a soplar la gota. A las 10:04 am TS-b4 coloca aros cambiando con TS-b3 a las 10:18 am. La jornada de muestreo finaliza con TS-b3 colocando aros, TS-b4 soplando la gota, TS-b1 y TS-b2 en pintura manual.

Apéndice 7. Tabla utilizada para la recolección de datos de muestreo.

Puesto	#bomba	Tiempo inicial	Tiempo final	Flujo inicial de la bomba (L/min)	Flujo final de la bomba (L/min)	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Presión inicial (mbar)	Presión final (mbar)
TS-b1									
TS-b2									
TS-b3									
TS-b4									
Blanco									
Blanco	NA			NA	NA	NA	NA	NA	NA
Blanco	NA			NA	NA	NA	NA	NA	NA
TR-a1									
TR-a2									
Blanco	NA			NA	NA	NA	NA	NA	NA
Blanco	NA			NA	NA	NA	NA	NA	NA

Apéndice 8. Tabla utilizada como lista de chequeo para método NIOSH 1501 y 2555.

	Sacar blancos y dejar descubiertos mientras coloco trenes de muestreo
	Verificar y anotar flujo inicial de la bomba
	Colocar tren de muestreo a TS-b1
	Anotar tiempo de inicio de bomba
	Verificar y anotar flujo inicial de la bomba
	Colocar tren de muestreo a TS-b2
	Anotar tiempo de inicio de bomba
	Verificar y anotar flujo inicial de la bomba
	Colocar tren de muestreo a TS-b3
	Anotar tiempo de inicio de bomba
	Verificar y anotar flujo inicial de la bomba
	Colocar tren de muestreo a TS-b4
	Anotar tiempo de inicio de bomba
	Cerrar blancos (colocar los 2 tapones) y almacenar en hielera
	Retirar el tren de muestreo a TS-b1 (no apagar)
	Conectar la bomba al rotámetro y anotar flujo final
	Apagar la bomba, retirar el filtro y almacenar en hielera
	Retirar el tren de muestreo a TS-b2 (no apagar)
	Conectar la bomba al rotámetro y anotar flujo final
	Apagar la bomba, retirar el filtro y almacenar en hielera
	Retirar el tren de muestreo a TS-b3 (no apagar)
	Conectar la bomba al rotámetro y anotar flujo final
	Apagar la bomba, retirar el filtro y almacenar en hielera
	Retirar el tren de muestreo a TS-b4 (no apagar)
	Conectar la bomba al rotámetro y anotar flujo final
	Apagar la bomba, retirar el filtro y almacenar en hielera

Apéndice 9. Tabla utilizada como lista de chequeo para el método MDHS 14/4.

	Sacar blancos y dejar descubiertos mientras coloco el tren de muestreo
	Verificar y anotar flujo inicial de la bomba
	Colocar tren de muestreo a TR-a
	Anotar tiempo de inicio de bomba
	Cerrar blanco 14/4 (colocar los 2 tapones)
	Retirar el tren de muestreo a TR-a (no apagar)
	Conectar la bomba al rotámetro y anotar flujo final
	Apagar la bomba, retirar el filtro y almacenar con tapa



Apéndice 11. Productos primarios de Tratamiento de Superficies (bandas).



Apéndice 12. Productos intermedios de Tratamiento de Superficies.



Apéndice 13. Productos finales de Tratamiento de Superficies.



Apéndice 14. Productos primarios del departamento de Sandblasting de Trimming.



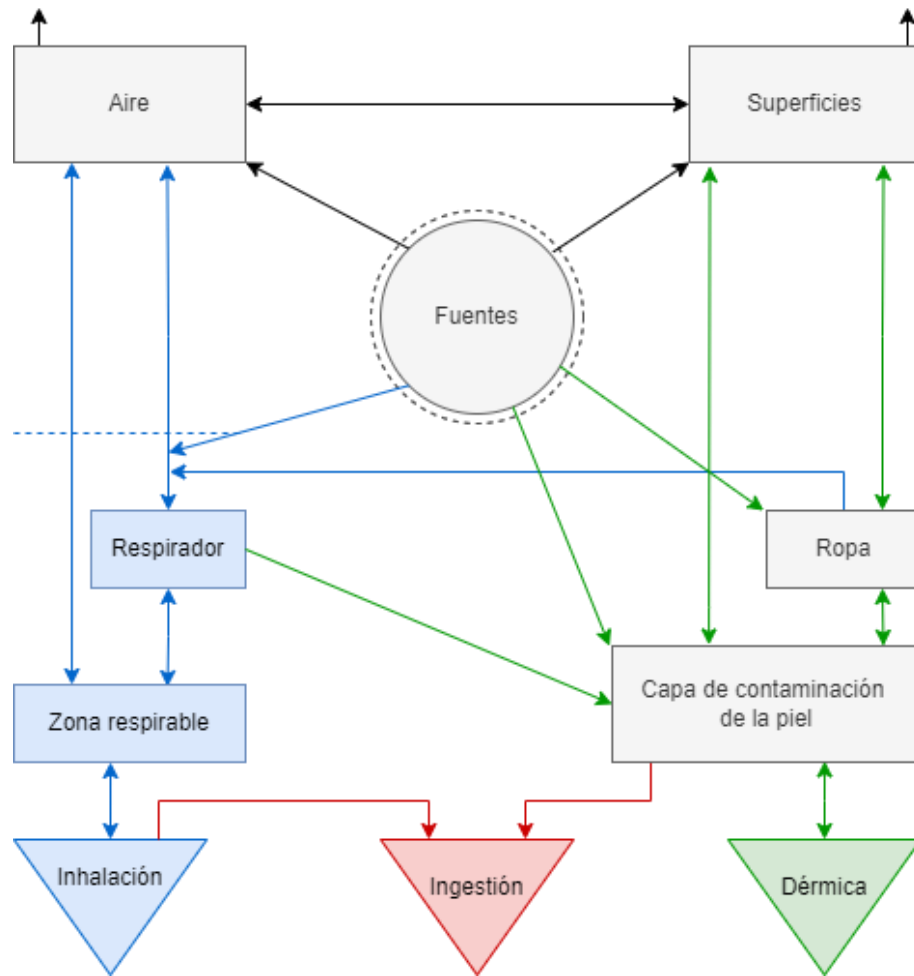
Apéndice 15. Productos finales del departamento de Sandblasting de Trimming.

Hora	Magnitud del viento (m/s)	Temperatura (°C)	Lugar de la planta
07:01	0,05	23,1	Arriba en las escaleras
07:02	0,08	24,7	Abajo de escaleras
07:03	0,02	25,6	Frente a tolueno
07:04	0,02	26,0	Frente a MIBK
07:05	0,00	26,4	Salida
07:06	0,85	26,7	Abanico de pintura manual
07:34	0,00	24,3	Arriba en las escaleras
07:35	0,00	25,5	Abajo de escaleras
07:36	0,00	26,0	Frente a tolueno
07:38	0,14	26,6	Frente a MIBK
07:39	0,00	27,2	Salida
08:28	0,02	28,8	Abajo de escaleras
08:29	0,74	29,0	Frente a tolueno
08:30	0,05	29,0	Frente a MIBK
08:31	0,25	29,1	Salida
09:38	0,00	30,3	Arriba en las escaleras
09:39	0,02	30,6	Abajo de escaleras
09:40	0,11	30,5	Frente a tolueno
09:41	0,11	30,5	Frente a MIBK
09:42	0,19	30,9	Salida
10:30	0,57	29,4	Arriba en las escaleras
10:32	0,00	30,0	Abajo de escaleras
10:34	0,00	30,6	Frente a tolueno
10:36	0,05	30,8	Frente a MIBK
10:38	0,00	31,2	Salida

Apéndice 16. Datos de viento y temperatura anotados en la planta de TS (originales).

Hora	Magnitud del viento (m/s)	Temperatura (°C)	Lugar de la planta
6:36	0,39	25,1	Entrada
6:37	0,05	25	Frente a máq. 1 (flujo entrante)
6:38	1,04	25	Frente máq 1 (flujo saliente)
6:39	0,02	25	Entre máqs pasillo
6:40	0,64	25	Frente máq 2 (flujo saliente)
6:54	0,02	25,2	Entre máquinas pasillo
7:01	4,66	25,2	Ventilador máquina 2
7:02	5,14 / 4,46	24,9	Ventilador giratorio máq 1
7:03	4,86	24,8	Mesa de trabajo máq 1 (cerca de la ventana)
7:05	2,21	24,8	En medio de las máquinas
7:19	0,48	25,8	Entrada
7:21	0,68	26	Frente a máquina 1 (flujo entrante)
7:28	0,05	26,8	Entre máquinas (pasillo)
7:29	0,28	26,9	Frente a máquina 2
8:04	0,02	26,4	Entrada
8:05	0,54	26,8	Frente a máquina 1
8:06	0,14	27,8	Entre máquinas (pasillo)
8:07	0,28	28,3	Frente a máquina 2
8:37	0,05	28,2	Entre máquinas (pasillo)
9:02	0,14	28,4	Entrada
9:03	0,65	28,8	Frente a máquina 1
9:06	0,05	30,3	Entre máquinas (pasillo)
9:08	0,55	29,9	Frente a máquina 2
9:30	0,05	29,5	Entre máquinas (pasillo)
10:03	0,02	30,5	Entre máquinas (pasillo)
10:07	0,48	30,9	Frente a máquina 1
10:08	0,06	31	Entrada

Apéndice 17. Datos de viento y temperatura anotados en la planta de TR (originales).



Apéndice 18. Modelo conceptual de exposición a compuestos orgánicos volátiles y material particulado: la ruta de inhalación se muestra en color azul, la vía por ingestión en color rojo y la dérmica en color verde. Los polígonos en color gris aplican a varias rutas de exposición. Se explica en el texto cómo aplica a cada agente químico.

Date of assessment	17/04/2023 04:11:29	
Process name	Línea de fosfatizado	
Task	Mixing	
Date of assessment	17/04/2023 04:25:12	
Process name	Linea de pintura	
Task	Mixing	
Date of assessment	17/04/2023 04:34:21	
Process name	Limpieza de varillas	
Task	Dipping	
Date of assessment	17/04/2023 04:36:38	
Process name	Sandblasting	
Task	Pelletising	
Based on the information given above the recommended control approach is Special, and the following guidance sheets are relevant to your situation.		
Recommended Control Approach: Special		
Task Name	Guidance Sheet Title	Number
General tasks	General principles	G400

Apéndice 19. Resultados de la aplicación de la herramienta COSHH Essentials.

Puesto	#bomba	Tiempo inicial	Tiempo final	Flujo inicial de la bomba (L/min)	Flujo final de la bomba (L/min)	Temperatura inicial (�C)	Temperatura final (�C)	Presión inicial (mbar)	Presión final (mbar)
TS-b1	1	06:20	10:57	0,0500	0,0446	23,1	31,2	915	915
TS-b2	2	06:30	10:57	0,0556	0,0575	23,1	31,2	915	915
TS-b3	3	06:46	10:57	0,0515	0,0526	23,1	31,2	915	915
TS-b4	4	06:13	10:57	0,0556	0,0625	23,1	31,2	915	915
Blanco	NA	06:00	06:37	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Blanco	NA	06:00	06:37	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Blanco	NA	06:00	06:37	NA	NA	NA	NA	NA	NA
TR-a1	9	6:24	8:22	2,0	2,1	24,6	27,8	913,9	913,9
TR-a2	9	8:23	10:24	2,0	2,1	27,8	32,4	913,9	913,9
Blanco	NA	6:23	6:28	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Blanco	NA	6:23	6:29	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Ap ndice 20. Datos de muestreo anotados (originales).

✓	Sacar blancos y dejar descubiertos mientras coloco trenes de muestreo
✓	Verificar y anotar flujo inicial de la bomba
✓	Colocar tren de muestreo a TS-b1
✓	Anotar tiempo de inicio de bomba
✓	Verificar y anotar flujo inicial de la bomba
✓	Colocar tren de muestreo a TS-b2
✓	Anotar tiempo de inicio de bomba
✓	Verificar y anotar flujo inicial de la bomba
✓	Colocar tren de muestreo a TS-b3
✓	Anotar tiempo de inicio de bomba
✓	Verificar y anotar flujo inicial de la bomba
✓	Colocar tren de muestreo a TS-b4
✓	Anotar tiempo de inicio de bomba
✓	Cerrar blancos (colocar los 2 tapones) y almacenar en hielera
✓	Retirar el tren de muestreo a TS-b1 (no apagar)
✓	Conectar la bomba al rotámetro y anotar flujo final
✓	Apagar la bomba, retirar el filtro y almacenar en hielera
✓	Retirar el tren de muestreo a TS-b2 (no apagar)
✓	Conectar la bomba al rotámetro y anotar flujo final
✓	Apagar la bomba, retirar el filtro y almacenar en hielera
✓	Retirar el tren de muestreo a TS-b3 (no apagar)
✓	Conectar la bomba al rotámetro y anotar flujo final
✓	Apagar la bomba, retirar el filtro y almacenar en hielera
✓	Retirar el tren de muestreo a TS-b4 (no apagar)
✓	Conectar la bomba al rotámetro y anotar flujo final
✓	Apagar la bomba, retirar el filtro y almacenar en hielera
✓	Sacar blancos y dejar descubiertos mientras coloco el tren de muestreo
✓	Verificar y anotar flujo inicial de la bomba
✓	Colocar tren de muestreo a TR-a
✓	Anotar tiempo de inicio de bomba
✓	Cerrar blanco 14/4 (colocar los 2 tapones)
✓	Retirar el tren de muestreo a TR-a (no apagar)
✓	Conectar la bomba al rotámetro y anotar flujo final
✓	Apagar la bomba, retirar el filtro y almacenar con tapa

Apéndice 21. Listas de chequeo usadas (originales).

Entrevista a Jefes de Área

Fecha: viernes 10 de marzo de 2023

Lugar: Oficina del Departamento de Salud Ocupacional y Protección Ambiental, empresa TERRAMIX SA


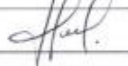
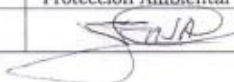
Favor explicar el proceso completo del área (Tratamiento de Superficies o Trimming) incluyendo:

- Agentes químicos
- Procesos laborales
- Prácticas laborales
- Entorno laboral

Preguntas a responder:

¿Cuántos turnos hay actualmente? ¿De cuántas personas? ¿Cómo están rotando? ¿Cuál es el proceso completo del área? ¿Qué agentes se utilizan? ¿Cuándo se utilizan? ¿Cómo se utilizan? ¿Por qué se utilizan así? ¿Cuántas veces? ¿Por cuánto tiempo? ¿Cuáles son las concentraciones? ¿Qué controles de riesgos existentes hay? ¿Qué equipo de protección personal se utiliza? ¿Cómo limpian? ¿Se hacen tareas diferentes en los turnos de trabajo? ¿Ha visto diferencias en el modo de trabajo de las personas de mayor edad a las personas de menor edad? ¿Cómo toman en cuenta las personas externas al proceso (Mantenimiento, Salud Ocupacional, externos en general)?

Observaciones:

Realizada por	Respondida por	Con la presencia de
Tiffany Paola Suárez Arce	Gréinn Francisco Pizarra Pérez	Juan Rafael Suárez Alfaro
Estudiante Maestría en Salud Ocupacional e Higiene ambiental	Técnico de Producción.	Encargado de Departamento de Salud Ocupacional y Protección Ambiental
		

Entrevista a Jefes de Área

Fecha: viernes 10 de marzo de 2023

Lugar: Oficina del Departamento de Salud Ocupacional y Protección Ambiental, empresa TERRAMIX SA




Favor explicar el proceso completo del área (Tratamiento de Superficies o Trimming) incluyendo:

- Agentes químicos
- Procesos laborales
- Prácticas laborales
- Entorno laboral

Preguntas a responder:

¿Cuántos turnos hay actualmente? ¿De cuántas personas? ¿Cómo están rotando? ¿Cuál es el proceso completo del área? ¿Qué agentes se utilizan? ¿Cuándo se utilizan? ¿Cómo se utilizan? ¿Por qué se utilizan así? ¿Cuántas veces? ¿Por cuánto tiempo? ¿Cuáles son las concentraciones? ¿Qué controles de riesgos existentes hay? ¿Qué equipo de protección personal se utiliza? ¿Cómo limpian? ¿Se hacen tareas diferentes en los turnos de trabajo? ¿Ha visto diferencias en el modo de trabajo de las personas de mayor edad a las personas de menor edad? ¿Cómo toman en cuenta las personas externas al proceso (Mantenimiento, Salud Ocupacional, externos en general)?

Observaciones:

Realizada por	Respondida por	Con la presencia de
Tiffany Paola Suárez Arce	Carlos Eduardo Arauz Díaz	Juan Rafael Suárez Alfaro
Estudiante Maestría en Salud Ocupacional e Higiene ambiental	Jefe de Área	Encargado de Departamento de Salud Ocupacional y Protección Ambiental
		

Apéndice 22. Entrevista aplicada a los jefes de área.

Consentimiento informado

El presente documento corresponde al acuerdo de participación voluntaria en el proyecto:

Propuestas de control para mejorar las condiciones de salud ocupacional asociadas a la exposición a compuestos orgánicos volátiles y material particulado en la empresa TERRAMIX SA por medio de los métodos NIOSH 1501/2555 y MDHS 14/4

Para evaluar la exposición a compuestos orgánicos volátiles en la planta de Tratamiento de Superficies, y el material particulado en la planta de Trimming, se colocará en el trabajador una bomba personal que toma una muestra del aire al que está expuesto el colaborador durante su jornada laboral. La muestra recolectada se analizará en un laboratorio con el fin de conocer el nivel de exposición a las sustancias.

Con el fin de complementar el estudio se tomarán mediciones de la magnitud del viento con anemómetro en el interior de la planta, para conocer cómo está el flujo de aire. Además, se realizará una observación del trabajador durante la jornada laboral con el fin de anotar cuáles son las tareas que realiza y cómo las realiza.

Los resultados serán utilizados para elaborar una propuesta de controles que sea capaz de mejorar las condiciones de salud ocupacional asociadas con estos dos temas.

Una vez finalizada la investigación, los resultados serán comunicados y presentados al E del Encargado del Departamento de Salud Ocupacional y Protección Ambiental, así como a la junta de tomadores de decisiones y a los trabajadores que hayan participado en la investigación.

Yo, [REDACTED], documento de identidad número [REDACTED], declaro que:

- Se me han explicado los objetivos, procedimientos y alcances de la investigación de forma clara.
- He podido formular las preguntas e inquietudes que me han surgido durante el proceso y he obtenido una respuesta satisfactoria.
- Mi participación es voluntaria y soy consciente de que puedo revocar mi consentimiento en cualquier momento.

Tomando lo anterior en consideración, otorgo mi consentimiento para participar en la presente investigación.

Fecha: 08 junio 23

Firma: [REDACTED]

Encargada del proyecto

Tiffany Suárez Arce – Estudiante de la Maestría en Salud Ocupacional con Énfasis en Higiene Ambiental

Cédula: 207430898

Fecha: 08-06-2023

Firma: [REDACTED]

Apéndice 23. Consentimiento informado entregado para firma de los cinco colaboradores que participaron en el estudio.

Apéndice 24. Información adicional para cada agente químico.

Agente	Frases H	SGA	Punto de ebullición (°C)	Presión de vapor (Pa)	EPP recomendado
1	H302, H314		1324	133.32 (25°C)	
2	H314, H318		290	<0.1 (25°C)	
3	H300, H310, H314, H318, H330		19.5	20000 (25°C)	
4	H302, H314, H318		213	3.8 (20°C)	
5	H314, H318, H330		86	8410 (25°C)	
6	H314, H318, H335		37.7	48300	
7	H304, H312, H315, H319, H332, H335, H373		139	800 (20°C)	
8	H304, H332, H373		136	979 (20°C)	
9	H319, H332, H336, H351		116	1880 (20°C)	
10	H304, H315, H336, H361d, H373		111	2910 (20°C)	
11	H302, H318, H332		106.2 (30%)	3110 (30°C)	
12	H319, H336		82	7770	
13	H317, H318, H335		NA	NA	

Nota: se hace la salvedad de que para el manejo de todos los agentes químicos se recomienda el uso de zapatos de seguridad.

Apéndice 25. Matriz de factores de reducción y justificación por puesto de trabajo y medida de control.

Proceso	Medida de control	NP	NC	NR	Acceptabilidad del riesgo	Factor de reducción del riesgo (F)	Monto de la inversión (dólares)	Factor de costo (d)	Factor de Justificación (J)
Línea de fosfatizado	Situación actual	8	25	200	No aceptable o Aceptable con control específico	Situación actual			
	6	2	25	50	Aceptable, mejorar si es posible	75,0	4000	4	3750
	10	4	10	40	Aceptable, mejorar si es posible	80,0	1500	2	8000
	16	6	10	60	Aceptable, mejorar si es posible	70,0	6000	4	3500
	17	6	25	150	Aceptable, mejorar si es posible	25,0	3000	4	1250
	18	6	25	150	Aceptable, mejorar si es posible	25,0	1500	2	2500
	20	7	25	175	No aceptable o Aceptable con control específico	12,5	160	1	2500
	21	7	25	175	No aceptable o Aceptable con control específico	12,5	5000	4	625
Línea de pintura	Situación actual	20	25	500	No aceptable o Aceptable con control específico	Situación actual			
	1	15	25	375	No aceptable o Aceptable con control específico	25,0	0	0,5	25000
	3	4	10	40	Aceptable, mejorar si es posible	92,0	0	0,5	92000
	4	6	10	60	Aceptable, mejorar si es posible	88,0	1000	2	22000
	6	4	25	100	Aceptable, mejorar si es posible	80,0	4000	4	10000

Proceso	Medida de control	NP	NC	NR	Aceptabilidad del riesgo	Factor de reducción del riesgo (F)	Monto de la inversión (dólares)	Factor de costo (d)	Factor de Justificación (J)
	7	6	25	150	Aceptable, mejorar si es posible	70,0	0	0,5	70000
	8	2	10	20	Aceptable, mantener las medidas de control existentes	96,0	4000	4	12000
	10	6	10	60	Aceptable, mejorar si es posible	88,0	1500	2	22000
	11	10	10	100	Aceptable, mejorar si es posible	80,0	0	0,5	80000
	12	8	10	80	Aceptable, mejorar si es posible	84,0	0	0,5	84000
	14	8	10	80	Aceptable, mejorar si es posible	84,0	8000	4	10500
	15	10	10	100	Aceptable, mejorar si es posible	80,0	2000	4	10000
	16	7	25	175	No aceptable o Aceptable con control específico	65,0	6000	4	8125
	17	6	25	150	Aceptable, mejorar si es posible	70,0	3000	4	8750
	18	6	25	150	Aceptable, mejorar si es posible	70,0	1500	2	17500
	19	7	25	175	No aceptable o Aceptable con control específico	65,0	2000	4	8125
	20	7	25	175	No aceptable o Aceptable con control específico	65,0	160	1	32500
	21	7	25	175	No aceptable o Aceptable con control específico	65,0	7500	4	8125
	22	7	25	175	No aceptable o Aceptable con	65,0	0	0,5	65000

Proceso	Medida de control	NP	NC	NR	Aceptabilidad del riesgo	Factor de reducción del riesgo (F)	Monto de la inversión (dólares)	Factor de costo (d)	Factor de Justificación (J)
					control específico				
Recuperación y limpieza de varillas	Situación actual	24	25	600	No aceptable o Aceptable con control específico	Situación actual			
	1	15	25	375	No aceptable o Aceptable con control específico	37,50	0	0,5	45000
	3	4	10	40	Aceptable, mejorar si es posible	93,33	0	0,5	112000
	6	4	25	100	Aceptable, mejorar si es posible	83,33	4000	4	12500
	8	2	10	20	Aceptable, mantener las medidas de control existentes	96,67	4000	4	14500
	17	6	25	150	Aceptable, mejorar si es posible	75,00	3000	4	11250
	18	6	25	150	Aceptable, mejorar si es posible	75,00	1500	2	22500
	19	7	25	175	No aceptable o Aceptable con control específico	70,83	2000	4	10625
	20	7	25	175	No aceptable o Aceptable con control específico	70,83	160	1	42500
	21	7	25	175	No aceptable o Aceptable con control específico	70,83	2500	4	10625
	22	7	25	175	No aceptable o Aceptable con control específico	70,83	0	0,5	85000

Proceso	Medida de control	NP	NC	NR	Aceptabilidad del riesgo	Factor de reducción del riesgo (F)	Monto de la inversión (dólares)	Factor de costo (d)	Factor de Justificación (J)
Pintura de piezas fieldlock	Situación actual	40	25	1000	No aceptable: situación crítica	Situación actual			
	1	15	25	375	No aceptable o Aceptable con control específico	62,50	0	0,5	125000
	2	10	10	100	Aceptable, mejorar si es posible	90,00	0	0,5	180000
	3	4	10	40	Aceptable, mejorar si es posible	96,00	0	0,5	192000
	4	6	10	60	Aceptable, mejorar si es posible	94,00	1000	2	47000
	6	4	25	100	Aceptable, mejorar si es posible	90,00	4000	4	22500
	8	2	10	20	Aceptable, mantener las medidas de control existentes	98,00	4000	4	24500
	10	6	10	60	Aceptable, mejorar si es posible	94,00	1500	2	47000
	11	10	10	100	Aceptable, mejorar si es posible	90,00	0	0,5	180000
	14	8	10	80	Aceptable, mejorar si es posible	92,00	8000	4	23000
	15	10	10	100	Aceptable, mejorar si es posible	90,00	2000	4	22500
	16	7	25	175	No aceptable o Aceptable con control específico	82,50	6000	4	20625
	17	6	25	150	Aceptable, mejorar si es posible	85,00	3000	4	21250
	18	6	25	150	Aceptable, mejorar si es posible	85,00	1500	2	42500

Proceso	Medida de control	NP	NC	NR	Aceptabilidad del riesgo	Factor de reducción del riesgo (F)	Monto de la inversión (dólares)	Factor de costo (d)	Factor de Justificación (J)
	19	7	25	175	No aceptable o Aceptable con control específico	82,50	2000	4	20625
	20	7	25	175	No aceptable o Aceptable con control específico	82,50	160	1	82500
	21	7	25	175	No aceptable o Aceptable con control específico	82,50	5000	4	20625
	22	7	25	175	No aceptable o Aceptable con control específico	82,50	0	0,5	165000
Sandblasting	Situación actual	40	60	2400	No aceptable: situación crítica	Situación actual			
	1	20	25	500	No aceptable o Aceptable con control específico	79,17	0	0,5	380000
	2	2	10	20	Aceptable, mantener las medidas de control existentes	99,17	0	0,5	476000
	5	4	10	40	Aceptable, mejorar si es posible	98,33	5000	4	59000
	6	4	25	100	Aceptable, mejorar si es posible	95,83	4000	4	57500
	7	6	25	150	Aceptable, mejorar si es posible	93,75	0	0,5	450000
	9	4	10	40	Aceptable, mejorar si es posible	98,33	0	0,5	472000
	13	15	10	150	Aceptable, mejorar si es posible	93,75	4500	4	56250
	16	7	25	175	No aceptable o Aceptable con control específico	92,71	6000	4	55625

Proceso	Medida de control	NP	NC	NR	Aceptabilidad del riesgo	Factor de reducción del riesgo (F)	Monto de la inversión (dólares)	Factor de costo (d)	Factor de Justificación (J)
	17	6	25	150	Aceptable, mejorar si es posible	93,75	3000	4	56250
	18	6	25	150	Aceptable, mejorar si es posible	93,75	1500	2	112500
	19	7	25	175	No aceptable o Aceptable con control específico	92,71	2000	4	55625
	20	7	25	175	No aceptable o Aceptable con control específico	92,71	160	1	222500
	21	7	25	175	No aceptable o Aceptable con control específico	92,71	2500	4	55625
	22	7	25	175	No aceptable o Aceptable con control específico	92,71	0	0,5	445000

Nota: NP: Nivel de Probabilidad, NC: Nivel de Consecuencia, NR: Nivel de Riesgo.

X. ANEXOS

Anexo 1. Descripción de las funciones por puesto de trabajo.

Identificador	Puesto de trabajo	Funciones
TS-a	Operario de línea de fosfatizado	<p>a. Llena las canastas que se sumergen en los distintos baños de la línea, siguiendo los patrones de estibado establecidos.</p> <p>b. Opera adecuadamente las grúas aéreas del proceso de lavado.</p> <p>c. Realiza los refuerzos necesarios en las líneas de lavado.</p> <p>d. Reporta cualquier desperfecto mecánico en las líneas productivas.</p> <p>e. Cumple con el programa de producción de acuerdo con las necesidades.</p> <p>f. Mantiene el orden y el aseo de su zona de trabajo y planta en general.</p>
TS-b	Operario de línea de pintura	<p>a. Llena con aros o bandas, en forma adecuada, los colgadores que se introducen a la línea de pintura.</p> <p>b. Elimina con aire comprimido las gotas de pintura que se forman en las bandas.</p> <p>c. Realiza los ajustes a los tanques de la línea de pintura.</p> <p>d. Descarga en forma adecuada los aros o bandas de los colgadores que salen de la línea de pintura y luego colocarlos en cajones destinados a este propósito.</p> <p>e. Vela por el orden y el aseo de su zona de trabajo.</p>
TS-c	Recuperador de varilla	<p>a. Cambia cada semana o antes los tanques que se encuentran contaminados con residuos de pintura.</p> <p>b. Vela que las perchas de la línea estén los más limpios posibles (cambio de varillas).</p> <p>c. Mantiene la limpieza del área de varillas.</p> <p>d. Vela por la mejor disposición e identificación de los desechos del área, cascarillas, solvente contaminado, estañones y otros.</p> <p>e. Informa sobre el estado de las perchas y varillas en mal estado y separarlas.</p> <p>f. Prepara los tanques con la cantidad correcta de solvente para sumergir las varillas que se dejan en reposo.</p> <p>g. Cumple con el programa de manejo de los desechos.</p>
TS-d	Pintor de insertos fieldlock	<p>b. Realiza los ajustes a los tanques de limpieza de piezas.</p> <p>c. Limpia los insertos metálicos utilizando los productos suministrados.</p> <p>d. Pinta de forma manual por medio de pistolas de pintura las piezas.</p> <p>e. Carga en forma adecuada los insertos en cajones destinados a este propósito.</p> <p>f. Vela por el orden y el aseo de su zona de trabajo.</p>
TR-a	Operario de Sandblasting	<p>a. Revisa que el producto procesado esté con la calidad que se requiere.</p> <p>b. Opera la máquina Sand Blaster#2 y #3.</p> <p>c. Realiza el proceso de recuperación de insertos en la guillotina.</p> <p>d. Conoce los procedimientos e instrucciones de trabajo del departamento, así como la aplicación de la política de calidad.</p>

