

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y  
AGROINDUSTRIA**

**PROPUESTA DE MEDIDAS DE CONTROL PARA EL RIESGO DE  
INHALACIÓN DE POLVO DE MADERA EN LA CARPINTERÍA DE  
LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DE GRADO DE MAGÍSTER (M.Sc.) EN  
SEGURIDAD INDUSTRIAL CON MENCIÓN EN PREVENCIÓN DE RIESGOS  
LABORALES**

**MARIO FERNANDO CHILLA PRIETO**

**DIRECTOR: ING. WILLIAM ESTUARDO VILLACIS OÑATE, M.Sc.**

**Quito, febrero 2022**

© Escuela Politécnica Nacional (2022)  
Reservados todos los derechos de reproducción

## **DECLARACIÓN**

Yo, Mario Fernando Chilla Prieto, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Mario Fernando Chilla Prieto

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Mario Fernando Chilla Prieto, bajo mi supervisión.

---

Ing. William Estuardo Villacis Oñate, M.Sc.

DIRECTOR DE TESIS

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme fortaleza para alcanzar mis metas, a mis padres por forjar mi camino con sabiduría y siempre creer en mí.

A mis hermanos por apoyarme y confiar en mí.

Al Ing. William Villacis por su apoyo y acertada dirección en el presente proyecto de titulación.

Al personal de la carpintería de la Escuela Politécnica Nacional por su valiosa colaboración y apertura a la realización del presente proyecto.

A mis amigos Juan, Sebastián y Mayra que de una u otra forma me han apoyado en el transcurso del desarrollo del proyecto.

Mario Fernando Chilla Prieto

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>GLOSARIO</b>	ix
<b>RESUMEN</b>	xi
<b>INTRODUCCIÓN</b>	xii
<b>1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>1</b>
1.1. Marco legal	1
1.2. Teoría de material particulado	1
1.2.1. Material particulado	1
1.2.2. Polvo de madera	2
1.2.3. Tipos de madera	2
1.2.4. Fracción de polvo de madera	3
1.2.5. Proceso de carpintería en madera	4
1.2.6. Lesiones y enfermedades en la industria de la madera	6
1.2.6.1. Lesiones en la industria de la madera	6
1.2.6.2. Enfermedades no malignas	6
1.2.6.3. Cáncer	7
1.2.7. Medición y evaluación de la exposición laboral de agentes químicos	7
1.2.8. Medidas de control para riesgo de inhalación de polvo de madera	9
1.2.8.1. Ventilación general por dilución.	9
1.2.8.2. Ventilación por extracción localizada	10
1.2.8.2.1 Diseño de campanas de extracción	11
1.2.8.2.2 Diseño de red de conductos y accesorios	12
1.2.8.2.3 Simulación del sistema de extracción	16
1.2.8.3. Control de procesos	16
1.2.8.4. Protección respiratoria	17
1.2.8.5. Limpieza	17
<b>2. METODOLOGÍA</b>	<b>18</b>
2.1. Análisis de los factores del riesgo de inhalación de polvo de madera	18
2.2. Determinación cuantitativa del riesgo de inhalación de polvo madera	19
2.2.1. Estimación de la exposición	19
2.2.2. Constitución de los grupos de exposición similar (GES)	21
2.2.3. Especificación del procedimiento de medición	22
2.2.4. Validación de resultados y GES	24
2.2.5. Comparación de los resultados con los VLA	24
2.2.5.1. Prueba estadística	25
2.3. Propuestas de medidas de control con un programa de actuación en el medio y receptor	25

<b>3.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>26</b>
3.1.	Análisis de los factores del riesgo de inhalación de polvo de madera	26
3.1.1.	Resultados del cuestionario de ventilación y climatización	26
3.1.2.	Identificación de los agentes químicos y otra información necesaria	27
3.1.3.	Revisión de los factores de exposición del lugar de trabajo	28
3.1.4.	Estimación de la exposición	31
3.2.	Estrategia de muestreo	35
3.2.1.	Constitución de los grupos de exposición similar (GES)	35
3.2.2.	Especificación del procedimiento de medición	36
3.2.3.	Mediciones de la exposición	37
3.3.	Validación de resultados y GES	38
3.4.	Comparación de los resultados con los VLA	39
3.4.1.1.	Prueba preliminar	39
3.4.1.2.	Prueba estadística	40
3.5.	Medidas de control del riesgo de inhalación de polvo de madera	42
3.5.1.	Medidas de control en el medio	42
3.5.1.1.	Diseño del sistema de extracción localizada	42
3.5.1.1.1.	Diseño de campanas de extracción	43
3.5.1.1.2.	Diseño de red de conductos y accesorios	49
3.5.1.2.	Simulación del sistema de extracción	56
3.5.1.3.	Ventilación por dilución	64
3.5.2.	Medidas de control en el receptor	65
3.5.2.1.	Equipo de protección individual para la vía respiratoria	65
3.5.2.2.	Equipo de protección individual para la vía conjuntiva	66
3.5.3.	Medidas administrativas	67
3.5.3.1.	Señalización	67
3.5.3.2.	Limpieza de la carpintería	67
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>69</b>
4.1.	Conclusiones	69
4.2.	Recomendaciones	71
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>72</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>77</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

		PÁGINA
<b>Tabla 1.1.</b>	Clasificación botánica de las maderas	3
<b>Tabla 1.2.</b>	Capacidad de penetración pulmonar de las partículas	3
<b>Tabla 3.1.</b>	Criterios de valoración del cuestionario de ventilación y climatización	26
<b>Tabla 3.2.</b>	Tareas realizadas por el carpintero y el ayudante	29
<b>Tabla 3.3.</b>	Resultados de mediciones puntuales de concentración de material particulado de polvo de madera en el área de canteado	33
<b>Tabla 3.4.</b>	Resultados de mediciones puntuales de concentración de material particulado de polvo de madera en el área de corte	34
<b>Tabla 3.5.</b>	Resultados de mediciones puntuales de concentración de material particulado de polvo de madera en el área de lijado	35
<b>Tabla 3.6.</b>	Resultados de las mediciones de concentración de material particulado de polvo de madera en la carpintería de la EPN	37
<b>Tabla 3.7.</b>	Valores de $U_T$ dependiendo del número de resultados de mediciones de la exposición	41
<b>Tabla 3.8.</b>	Valores de media geométrica, desviación estándar geométrica y variable de comparación para las áreas de canteado, corte y lijado	42
<b>Tabla 3.9.</b>	Dimensiones de la campana tipo abertura plana para la sierra	48
<b>Tabla 3.10.</b>	Dimensiones de la campana de extracción tipo techo para la mesa de lijado de madera	48
<b>Tabla 3.11.</b>	Características de los ciclones tipo convencionales	50
<b>Tabla 3.12.</b>	Dimensiones calculadas del ciclón convencional tipo Peterson-Whitby	51
<b>Tabla 3.13.</b>	Cálculos de presiones estáticas, dinámicas en el sistema de extracción	54
<b>Tabla AI.1.</b>	Aplicación del cuestionario de ventilación y climatización	78
<b>Tabla AIII.1.</b>	Aplicación del cuestionario de carga física	80
<b>Tabla AIII.2.</b>	Aplicación del cuestionario de carga mental	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>PÁGINA</b>
<b>Figura 1.1.</b> Órganos del cuerpo humano que pueden ser penetrados por las fracciones del polvo de madera	4
<b>Figura 1.2.</b> Mecanismo de ingreso de aire en la ventilación general por dilución	9
<b>Figura 1.3.</b> Elementos de un sistema de extracción localizada	10
<b>Figura 1.4.</b> Fórmulas para el cálculo del caudal de extracción de las campanas	12
<b>Figura 2.1.</b> Visión esquemática de los procedimientos de evaluación de las exposiciones laborales	20
<b>Figura 2.2.</b> Equipo de medición puntual de concentración de material particulado 3M serie EVM	21
<b>Figura 2.3.</b> Bomba de aspiración Gilian BDXII y manguera de conexión	23
<b>Figura 2.4.</b> Cassette cerrado PVC 37mm de poliestireno y filtro de retención	23
<b>Figura 3.1.</b> Máquina canteadora Dafigo de la carpintería	29
<b>Figura 3.2.</b> Sierra circular de la carpintería	29
<b>Figura 3.3.</b> Mesa de trabajo y lijadora para el lijado de las piezas de madera	30
<b>Figura 3.4.</b> Trabajador con equipo de medición de material particulado sujeto a su ropa	36
<b>Figura 3.5.</b> Diagrama de probabilidad logarítmica de las concentraciones de exposición diaria en la carpintería.	39
<b>Figura 3.6.</b> Campana de extracción tipo abertura plana	43
<b>Figura 3.7.</b> Vista frontal del esquema de la sección piramidal de la campana tipo techo	47
<b>Figura 3.8.</b> Vista lateral y frontal de las campanas diseñadas para la sierra y mesa de lijado	49
<b>Figura 3.9.</b> Nomenclatura de las dimensiones del ciclón tipo convencional	50
<b>Figura 3.10.</b> Plano isométrico del sistema de extracción diseñado	53

<b>Figura 3.11.</b> Curva característica del ventilador centrífugo de media presión modelo MTGR 900	55
<b>Figura 3.12.</b> Condiciones de frontera de la simulación del sistema de extracción	56
<b>Figura 3.13.</b> Variación de la velocidad en función de la longitud para el tramo BC	57
<b>Figura 3.14.</b> Variación de la velocidad en función de la longitud para los tramos AC y CD	58
<b>Figura 3.15.</b> Variación de la velocidad en función de la longitud para el tramo EF	59
<b>Figura 3.16.</b> Comparación de la velocidad promedio entre los valores teóricos y simulados	60
<b>Figura 3.17.</b> Perfil de velocidades de las líneas de flujo	61
<b>Figura 3.18.</b> Variación de la presión en función de la longitud para el tramo final EF	61
<b>Figura 3.19.</b> Extracción del polvo de madera mediante el sistema diseñado	62
<b>Figura 3.20.</b> Vista superior de la extracción del polvo de madera mediante el sistema diseñado	63
<b>Figura 3.21.</b> Coeficientes de seguridad para cálculo de caudal necesario de dilución	64
<b>Figura 3.22.</b> Semimáscara 3M serie 7500	66
<b>Figura 3.23.</b> Boca de aspiración para la limpieza de la carpintería	68
<b>Figura AII. 1.</b> Vista superior de la carpintería de la Escuela Politécnica Nacional	79
<b>Figura AIV. 1.</b> Datos generales de la medición y equipos usados	81
<b>Figura AIV. 2.</b> Resultados de los ensayos realizados	82
<b>Figura AVI. 1.</b> Coeficientes $n$ de pérdida de carga en la entrada a campanas de captación referidos a la velocidad del aire en $D$	88
<b>Figura AVI. 2.</b> Coeficientes $n$ de pérdida de carga de codos en ángulo recto sección circular referidos a la velocidad del aire en $D$	89
<b>Figura AVI. 3.</b> Factor de pérdida de carga en uniones	89
<b>Figura AVI. 4.</b> Coeficientes $n$ de pérdida de carga en cambios graduales de sección referidos a la velocidad del aire en $D$	90
<b>Figura AVII. 1.</b> Vista frontal del sistema de extracción en el taller de la carpintería	91

<b>Figura AVII. 2.</b> Vista lateral del sistema de extracción en el taller de la carpintería	92
<b>Figura AVII. 3.</b> Vista superior del sistema de extracción en el taller de la carpintería	92
<b>Figura AVIII. 1.</b> Tipo de análisis realizado en la simulación del sistema de extracción diseñado	93
<b>Figura AVIII. 2.</b> Propiedades del fluido en la simulación del sistema de extracción diseñado	93
<b>Figura AVIII. 3.</b> Propiedades de la pared que contiene el fluido en la simulación del sistema de extracción diseñado	94
<b>Figura AVIII. 4.</b> Configuración de las condiciones iniciales en la simulación del sistema de extracción diseñado	94
<b>Figura AVIII. 5.</b> Planos principales del mallado en la simulación del sistema de extracción diseñado	95
<b>Figura AVIII. 6.</b> Configuración del mallado en la simulación del sistema de extracción diseñado	95
<b>Figura AVIII. 7.</b> Condiciones iniciales para partículas de un diámetro de 100 micras en la mesa de lijado	96
<b>Figura AVIII. 8.</b> Condiciones iniciales para partículas de un diámetro de 100 micras en la sierra	96
<b>Figura AIX. 1.</b> Extracción de partículas en la campana de la mesa de lijado	97
<b>Figura AIX. 2.</b> Extracción de partículas en la campana de la sierra	98
<b>Figura AIX. 3.</b> Separación de partículas en el ciclón del sistema	99
<b>Figura AX. 1.</b> Señalética de seguridad del EPI usado en la carpintería	100

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>ANEXO I</b>	
Datos obtenidos en el cuestionario ventilación y climatización	78
<b>ANEXO II</b>	
Distribución y configuración del lugar de trabajo	79
<b>ANEXO III</b>	
Datos obtenidos en el cuestionario ventilación y climatización	80
<b>ANEXO IV</b>	
Mediciones de la concentración de polvo de madera en la carpintería	81
<b>ANEXO V</b>	
Ejemplos de cálculos realizados para el diseño de las campanas de succión	83
<b>ANEXO VI</b>	
Coefficiente de pérdida de carga en puntos singulares	88
<b>ANEXO VII</b>	
Disposición del sistema de extracción en el taller de la carpintería	91
<b>ANEXO VIII</b>	
Condiciones de la simulación del sistema de extracción de la carpintería	93
<b>ANEXO IX</b>	
Resultados de la extracción de partículas y de la separación en el ciclón	97
<b>ANEXO X</b>	
Señalización de seguridad del EPI de la carpintería	100

## GLOSARIO

**Agente químico:** Es todo elemento o compuesto químico, solo o mezclado, en estado natural o producido, usado o vertido en una actividad laboral. Desarrollado o no de modo intencional, y comercializado o no (INSHT, 2001, p. 12).

**Depurador:** Es aquel que permite la separación del contaminante del aire, reteniéndolo de forma adecuada e inocua (Centro Tecnológico del Mármol y la Piedra, 2010, p. 94).

**Distribución logarítmica normal:** Es aquella que se obtiene cuando los logaritmos de una variable se describen por una distribución normal, se usa generalmente cuando las desviaciones a partir del valor del modelo están formadas por factores, proporciones o porcentajes en vez de valores absolutos (Tamborero y Cejalvo, 2004, p. 2).

**Equipo de protección personal:** Es un equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que lo proteja de los riesgos que puedan amenazar la seguridad o salud (INSHT, 1997, p. 9).

**Factor de riesgo:** Elemento o elementos que están presentes en las condiciones de trabajo y pueden desatar una disminución en la salud del trabajador (Solórzano, 2014, p. 3).

**Grupos de exposición similar:** “Grupo de trabajadores que tienen el mismo perfil general de exposición para el agente químico de estudio, debido a la similitud y frecuencia de las tareas desarrolladas por los materiales y procesos con los cuales trabajan” (Asociación Española de Normalización, 2019, p. 9).

**Riesgo:** “La posibilidad de que un trabajador sufra un determinado daño derivado de la exposición a agentes químicos” (INSHT, 2001, p. 12).

**Valor límite ambiental (VLA):** “Son valores límite de referencia para las concentraciones de agentes químicos en la zona de respiración de un trabajador” (INSHT, 2001, p. 14).

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo consistió en analizar los factores del riesgo de inhalación del polvo de madera de la Carpintería de la Escuela Politécnica Nacional, luego determinar la concentración del contaminante para establecer el nivel del riesgo y por último proponer medidas de control para disminuir el nivel de riesgo. El análisis de los factores de riesgo y las mediciones puntuales, permitieron determinar que las áreas de corte y lijado son las que generaron la mayor cantidad de polvo de madera. Las mediciones realizadas con el muestreador personal permitieron encontrar la concentración del contaminante, así como la exposición diaria, posterior a esto, se realizó la comparación con los valores límites de exposición ambiental para el contaminante y se concluyó que existe una “no conformidad”, además de tener un nivel de riesgo alto. La norma UNE-EN 689:2019+AC 2019, delimitó los lineamientos principales para poder realizar el análisis de los factores de riesgo y la medición de la exposición del agente químico en estudio. Entre las propuestas de las medidas de control se diseñó un sistema de ventilación por extracción localizada, además se realizó su respectiva simulación. La simulación del sistema de extracción proporcionó resultados satisfactorios respecto a los cálculos del diseño, así como la extracción de las partículas que asegura la disminución del polvo de madera generado en la Carpintería. Para el uso del EPI se analizó los equipos de protección respiratorio y ocular. Las medidas administrativas, por su parte se enfocaron en la señalización y la limpieza del taller.

## INTRODUCCIÓN

La Carpintería de la Escuela Politécnica Nacional, por la materia prima usada y las actividades realizadas, genera contaminantes como el polvo de madera. El polvo de madera es un agente químico que se dispersa en el aire y contamina el lugar de trabajo. La inhalación del polvo de madera no solo causa malestar en el ambiente laboral, sino también puede generar daños y enfermedades relacionadas con el sistema respiratorio del trabajador. El sistema de extracción que se encuentra instalado en la carpintería, no permite la extracción correcta del material particulado generado. En la actualidad existen varias medidas de control que permiten disminuir el nivel de riesgo generado por el polvo de madera, se considera la ventilación como la más adecuada.

El objetivo del presente trabajo es proponer medidas de control para disminuir el nivel de riesgo de inhalación de polvo de madera en la carpintería.

El análisis de los factores del riesgo de inhalación de polvo de madera, es de importancia en el reconocimiento de las características del lugar de trabajo. Esto permite identificar las fuentes que generan el polvo de madera en la Carpintería.

La determinación de la concentración del polvo de madera, es necesaria para la comparación con los valores establecidos por instituciones internacionales y la posterior determinación de la conformidad o no conformidad. Con la determinación del nivel de riesgo se considera las medidas de control más adecuadas para este tipo de riesgo. La ventilación por extracción localizada es una medida de control eficiente para disminuir la cantidad del contaminante, y su simulación es imperante en el proceso de verificación del diseño realizado.

Es importante realizar el estudio del nivel de riesgo generado por el polvo de madera en la Carpintería de la Escuela Politécnica Nacional, para proponer medidas de control que permitan disminuir la concentración de polvo de madera, y de esta manera mejorar las condiciones de trabajo para que los trabajadores.

# **1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

## **1.1. MARCO LEGAL**

La norma ecuatoriana no establece límites permisibles para la exposición laboral a los agentes químicos tales como el polvo de madera, por lo que el análisis se realiza en base a los límites permisibles establecidos por la INSST (valores límites ambientales - VLA). Los límites propuestos por la INSST son valores de referencia, usados especialmente para la evaluación y control del riesgo generado por la inhalación de agentes químicos en los puestos de trabajo (INSST, 2019, p. 11).

Para la evaluación del riesgo se usa la norma UNE-EN 689:2019+AC:2019, esta norma trata acerca de la medición de la exposición a los agentes químicos en los puestos de trabajo. La comparación por la exposición a los agentes químicos por inhalación se la realiza con los valores límites de exposición profesional VLA (Asociación Española de Normalización, 2019, p. 7).

## **1.2. TEORÍA DE MATERIAL PARTICULADO**

### **1.2.1. MATERIAL PARTICULADO**

El material particulado se refiere al “constituido por material sólido o líquido en forma de partículas, con excepción del agua no combinada, emitido por la fuente fija hacia la atmósfera” (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015, p. 39).

El material particulado PM10 es aquel en donde sus partículas poseen un diámetro entre 2,5 y 10 micras. El material particulado fino (PM2.5) tiene un diámetro menor a 2,5 micras (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015, p. 39).

Las partículas sólidas generadas de forma mecánica se las conoce con el término de polvo (Prado, 2008, p. 1). Los tamaños de las partículas de polvo de madera están entre 1 y 100 micras de diámetro y se depositan lentamente por influencia de la gravedad (Ruiz, 2016, p. 9).

### **1.2.2. POLVO DE MADERA**

El polvo de madera es el grupo de partículas sólidas generadas en las operaciones de la industria de la madera, desde las operaciones realizadas en las serrerías hasta las operaciones de transformación. La exposición laboral al polvo de madera se relaciona con varios efectos perjudiciales al sistema respiratorio. Las partículas gruesas, es decir cuando su diámetro es mayor a 0,01 mm permanecen retenidas en la nariz, y producen problemas como: sinusitis, rinitis, bronquitis, obstrucción nasal, entre otros. Las partículas pequeñas por su parte pueden llegar a los pulmones, y causan complicaciones en la salud como: asma, bronquitis crónica, obstrucciones respiratorias, entre otras (INSHT, 2011a, p. 2).

### **1.2.3. TIPOS DE MADERA**

Las maderas según su botánica pueden ser clasificadas como maderas duras o blandas. Las maderas duras son obtenidas de árboles de hoja caduca y de ciertas especies tropicales, mientras que las blandas habitualmente de coníferas. Las maderas duras necesitan adoptar medidas de prevención más exigentes que las blandas, ya que estas son cancerígenas. En la Tabla 1.1 se tiene algunos ejemplos de este tipo de madera (INSHT, 2011a, p. 3).

**Tabla 1.1.** Clasificación botánica de las maderas

<b>Duras</b>		<b>Duras tropicales</b>		<b>Blandas</b>
Abedul	Haya	Afara	Mansonia	Abeto
Aliso	Nogal	Afromosia	Meranti	Alerce
Arce	Olmo	Balsa	Nyatoh	Cedro
Castaño	Roble	Caoba africana	Palisandro	Ciprés
Cerezo	Sauce	Ebano de Asia	Palisandro de Brasil	Picea
Chopo	Sicomoro	Iroko	Rimu	Pino
Fresno	Tilo	Kauri	Teca	Secuoya

(INSHT, 2011a, p. 3)

#### 1.2.4. FRACCIÓN DE POLVO DE MADERA

El polvo generado por la disgregación de la madera posee diferentes tamaños de partículas, estas partículas frecuentemente se las conoce como fracciones de polvo. Estas fracciones de polvo que existen son: fracciones inhalables, torácicas y respirables (Centro Tecnológico del Mármol y la Piedra, 2010, p. 35).

La fracción inhalable compone aquella que se inhala a través de la nariz y la boca, la torácica las que son inhaladas y penetran más allá de la laringe, y la respirable las inhaladas que penetran en las vías respiratorias no ciliadas (INSHT, 2008, p. 2).

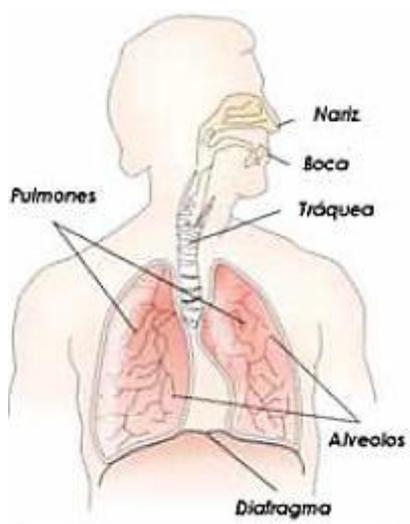
En la Tabla 1.2 se puede observar la capacidad de penetración pulmonar de las partículas.

**Tabla 1.2.** Capacidad de penetración pulmonar de las partículas

<b>Tamaño de las partículas</b>	<b>Capacidad de penetración pulmonar</b>
>100 micras	No pueden inhalarse
100-50 micras	Se suelen retener en la nariz y garganta
<50 micras	Penetran en los pulmones
<5 micras	Penetran hasta el alveolo pulmonar

(Centro Tecnológico del Mármol y la Piedra, 2010, p. 37)

La Figura 1.1 muestra los órganos que pueden ser penetrados por las partículas de polvo de madera.



**Figura 1.1.** Órganos del cuerpo humano que pueden ser penetrados por las fracciones del polvo de madera

(Centro Tecnológico del Mármol y la Piedra, 2010, p. 37)

Las partículas con tamaño menor a 100 micras constituyen la fracción inhalable, las que tienen un tamaño menor a 5 micras se considera como la fracción respirable (Centro Tecnológico del Mármol y la Piedra, 2010, p. 37).

### 1.2.5. PROCESO DE CARPINTERÍA EN MADERA

El proceso de carpintería en madera son las operaciones en las que el trabajador con ayuda de equipos e instrumentos transforma la madera en un producto terminado. Las operaciones básicas son: secado, habilitado, maquinado, ensamble y acabado. El habilitado inicia en el predimensionamiento (cortado) y termina en el encolado de piezas. El maquinado inicia en el corte de formas (curvas) y finaliza en los cortes de ensamble (juntas y uniones). El ensamble, por su parte comprende el prearmado, lijado y ensamble de partes y piezas (CITEmadera, 2008, p. 8).

El secado es la operación en la cual se estabiliza la madera de acuerdo a la humedad del destino final (CITEmadera, 2008, p. 11).

En la operación de habilitado se realiza el enderezado y el corte para dar el dimensionamiento de las tablas que se usan en la fabricación. El enderezado se realiza en la canteadora y el objetivo de esta actividad es nivelar la superficie de los tablones. El corte de la madera se lo realiza en la sierra circular (CITEmadera, 2008, p. 15).

La canteadora es una máquina que tiene una plataforma de entrada, una plataforma de salida, una guía y el árbol portacuchillas. El tablón ingresa por la plataforma de entrada y es pasado a través de las cuchillas hacia la plataforma de salida, al existir una diferencia en la altura de los niveles de las plataformas de entrada y salida, las cuchillas permiten el corte de la cantidad suficiente del canto y el nivelado de la superficie del tablón de madera. La máquina que permite el corte del tablón de madera es la sierra, la cual contiene un disco de corte, una guía o tope longitudinal y una guía escuadradora para graduar la medida de corte. La guía longitudinal y escuadradora permiten precisar el corte que se realizará, luego el corte es realizado cuando el tablón pasa por el disco que girará a gran velocidad. Cuando el tablón entra en contacto con el disco, se produce polvo de madera y aserrín (CITEmadera, 2008, p. 20).

En la operación de maquinado se da forma y distintivos determinados a las piezas para el posterior ensamble, para ello se realizan trazos para realizar huecos, espigas y cortes de ensambles. Estos trabajos son realizados en la sierra y la canteadora, ya que estas máquinas también permiten realizar este tipo de operaciones (CITEmadera, 2008, p. 27).

En la operación de ensamble se unen las piezas habilitadas y maquinadas, de esta manera se realiza el acople de las partes creadas en los anteriores procesos. Se realiza el pre-armado, lijado y ensamble. En el pre-armado se debe garantizar la concordancia y ensamble de las piezas, si existe algún defecto se deberá realizar correcciones.

El lijado se realiza para poder eliminar rugosidades y rayados en todas las superficies, el lijado se lo realiza mediante una lijadora excéntrica y es realizado en una mesa de trabajo para apoyar a la superficie a ser lijada. El ensamble consiste en armar el objeto de madera, se unen entre sí los componentes de madera (CITEmadera, 2008, pp. 35-36).

En la operación de acabado se realiza el lacado de las superficies de madera lo que permite tener una mejor presentación, ya que la superficie será brillante y duradera.

## **1.2.6. LESIONES Y ENFERMEDADES EN LA INDUSTRIA DE LA MADERA**

### **1.2.6.1. Lesiones en la industria de la madera**

El entorno de los diferentes procesos de la industria de la madera, está relacionado con actividades que generan movimientos y cortes de madera a velocidades relativamente altas. Entre los accidentes que pueden producir heridas muy graves o mortales, se puede mencionar los golpes y cortes por equipos móviles como sierras, canteadoras y cepilladoras; caídas de pasos elevados; el no bloquear equipos mientras se realiza mantenimientos. Los accidentes que provocan lesiones no mortales están relacionados con las proyecciones de pequeños trozos de madera, estas pueden provocar lesiones oculares, pinchazos, cortes y astillas clavadas. También se debe considerar torceduras, esguinces y lesiones músculo esqueléticas (OIT, 2012, p. 71.10)

### **1.2.6.2. Enfermedades no malignas**

El polvo de madera, los mohos y bacterias pueden generar riesgos para el sistema respiratorio. Las partículas generadas por el polvo de madera provocan efectos como: rinitis, sinusitis, asma, bronquitis crónica, alergias, pérdida auditiva, obstrucción respiratoria crónica.

Los mohos pueden causar neumonitis por hipersensibilidad, síndrome tóxico del polvo orgánico. Los productos químicos ocasionan inflamación de nariz y garganta, efectos en los pulmones, asma y bronquitis crónica (OIT, 2012, p. 71.11).

### **1.2.6.3. Cáncer**

El polvo de madera, según la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer, ha sido clasificado como cancerígeno para las personas. El caso más importante es el cáncer sinonasal causado por la alta exposición al polvo de maderas duras (OIT, 2012, p. 71.11).

### **1.2.7. MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN LABORAL DE AGENTES QUÍMICOS**

La norma UNE-EN 689:2019+AC:2019 trata acerca de la medición de la exposición a los agentes químicos en los lugares de trabajo. Esta norma permite también comparar la exposición de los trabajadores por inhalación con los valores límites de exposición profesional (VLA). Para la norma, “conformidad” expresa que la exposición laboral media ponderada en el tiempo es menor al VLA. Esta norma establece un procedimiento para resolver la variabilidad y el uso de un número relativamente pequeño de mediciones para demostrar con un buen nivel de confianza la “conformidad” o “no conformidad” (Asociación Española de Normalización, 2019, p. 7).

La evaluación de la exposición laboral de los agentes químicos requiere de varios procedimientos llevados a cabo por el evaluador. Esto empieza con una evaluación inicial de la exposición, seguida de reevaluaciones periódicas. La evaluación inicial tiene las siguientes fases:

- Caracterización básica del lugar de trabajo.
- Constitución de grupos de exposición similar.
- Selección de un procedimiento de medida adecuado.
- Realización de mediciones de la exposición.

- Validación de los resultados de las mediciones de la exposición y GES.
- Comparación de los resultados con los VLA
- Informe de resultados (Asociación Española de Normalización, 2019, p. 10).

Las fases mencionadas se describen en el siguiente capítulo.

Ciertas pautas también son de ayuda para tener una referencia del nivel de riesgo, para esto se define el índice de exposición como la división de la exposición diaria y el valor límite, como indica la Ecuación 1.1.

$$I = \frac{ED}{VLA} \quad [1.1]$$

Donde:

I: índice de exposición

ED: exposición diaria (mg/m<sup>3</sup>)

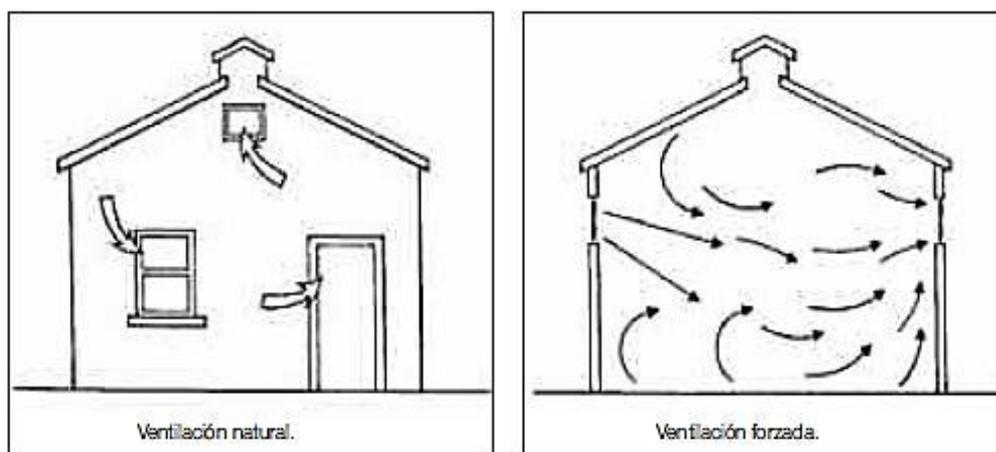
VLA: valor límite ambiental profesional (mg/m<sup>3</sup>)

Con una primera medición se considera “riesgo de exposición a priori bajo”, si el índice de exposición es menor o igual que 0,1. Si el índice es mayor que 1 se considera un “riesgo muy elevado de superar el valor límite de exposición”. Si el valor del índice está en el intervalo  $0,1 < I \leq 1,0$  se toma como una “indecisión” por lo que se debe realizar más mediciones y un análisis con ayuda de la media geométrica de todas las mediciones. Si la media geométrica es menor o igual que 0,5 se considera como un “riesgo de exposición moderado”, si es mayor que 0,5 se considera “riesgo muy elevado de superar el valor límite de exposición” (Fundación Laboral de la Construcción, 2019, p. 53).

## 1.2.8. MEDIDAS DE CONTROL PARA RIESGO DE INHALACIÓN DE POLVO DE MADERA

### 1.2.8.1. Ventilación general por dilución

La ventilación general por dilución consiste en la renovación de aire en un local. El ingreso de aire exterior limpio se lo puede hacer de forma natural o forzada, para posteriormente extraer una cantidad de aire contaminado. En la Figura 1.2 se muestra cómo se da el ingreso del aire por los mecanismos mencionados (INSHT, 2011b, p. 140).



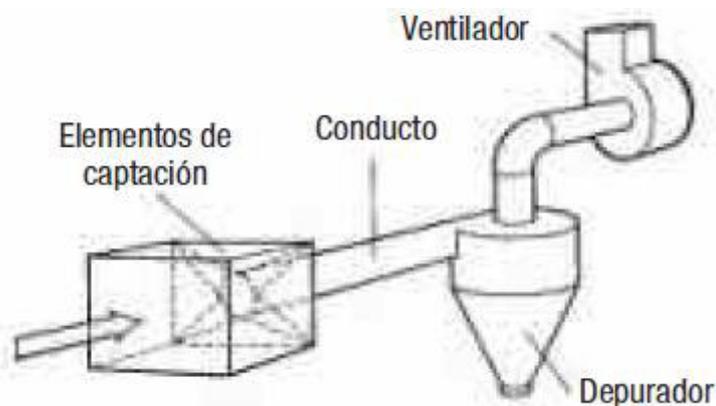
**Figura 1.2.** Mecanismo de ingreso de aire en la ventilación general por dilución  
(INSHT, 2011b, p. 141)

Su aplicación se enfoca en casos de sustancias de toxicidad baja o media por vía inhalatoria, así como en el control de olores y sustancias, para disminuir los niveles a límites aceptables. La ventilación por dilución es recomendada en lugares como oficinas, locales e instalaciones de uso industrial como talleres de transformación de metales, entre otros. Su limitante principal es para el control del riesgo de incendio y explosión en locales, aunque puede ser una medida complementaria de control (INSHT, 2011b, pp. 140, 141).

### 1.2.8.2. Ventilación por extracción localizada

La ventilación por extracción localizada tiene como objetivo captar los contaminantes químicos en el lugar de emisión o donde son generados. La captación de los contaminantes no permite la propagación del contaminante en el ambiente laboral, de esta manera evita la inhalación del contaminante por parte de los trabajadores (Pérez, 2008, p. 1).

Los elementos indispensables de un sistema de extracción localizada son: elemento de captación (campanas), elementos de conducción (tubería y accesorios), depuradores y ventilador. En la Figura 1.3 se puede encontrar la ubicación de estos elementos del sistema de extracción localizada. Esta extracción se puede aplicar para: cualquier rango de toxicidad del contaminante, cantidades altas de contaminante, dispersión del contaminante no uniforme, cuando los trabajadores están cerca de los focos de emisión (INSHT, 2011b, p. 143).



**Figura 1.3.** Elementos de un sistema de extracción localizada

(INSHT, 2011b, p. 143)

Para el diseño del sistema de extracción se considera el uso de las campanas de extracción, los conductos y accesorios hasta llegar al ventilador. El diseño del sistema de extracción se comienza por la campana que se encuentra más alejada del ventilador y los aspectos a considerar son:

- Diseño de las campanas de extracción ajustándose a la operación y caudal de diseño.

- Establecer la velocidad mínima en los conductos.
- Cálculos de la sección del conducto.
- Esquema de red de conductos con sus longitudes y accesorios.

El método para el diseño se basa en:

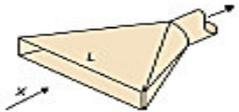
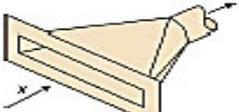
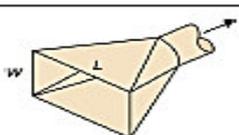
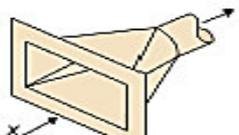
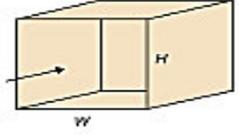
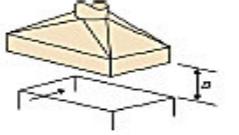
- Calcular la pérdida de carga del sistema de extracción (método de presión dinámica).
- Comprobar el equilibrio en puntos de unión de conductos, ajuste de caudal, diámetro del conducto o diseño de la campana.
- Seleccionar el depurador y ventilador según el caudal final y la pérdida de carga del sistema (Goberna, 1992, p. 5-2).

#### ***1.2.8.2.1 Diseño de campanas de extracción***

Para el diseño de las campanas de extracción es importante considerar tres aspectos fundamentales:

- La geometría y ubicación de la campana.
- El caudal necesario que hay que aspirar.
- La pérdida de carga que se produce.

La primera condición de una campana es no interferir con el proceso de producción, también es imperante encerrar al máximo el proceso contaminante en su interior. La Figura 1.4 muestra las fórmulas para determinar el caudal de extracción de cada campana según su tipo (Castejón, 2006, p. 37).

Tipo de campana	Descripción	Razón W/L	Caudal
	Rendija	0,2 o menos	$Q = 3,7LVX$
	Rendija rebordeada <sup>(1)</sup>	0,2 o menos	$Q = 2,8LVX$
	Abertura plana	0,2 o más y redonda	$Q = V(10x^2 + A)$ A = Superficie de la cara
	Abertura plana <sup>(1)</sup>	0,2 o más y redonda	$Q = 0,75V(10x^2 + A)$
	Cabina	Según trabajo	$Q = VA = VWH$
	Campana de techo	Según trabajo	$Q = 1,4 PDV$ P = Perímetro D = Altura

**Figura 1.4.** Fórmulas para el cálculo del caudal de extracción de las campanas

(Castejón, 2006, p. 39)

#### 1.2.8.2.2 Diseño de red de conductos y accesorios

El diseño de conductos se realiza mediante el método de presión dinámica, este método calcula las pérdidas de carga por rozamiento en conductos y resistencia por accesorios en función de la presión dinámica. Estas pérdidas se calculan mediante el producto de la presión dinámica y un factor de pérdida. Los pasos a seguir son los siguientes (Goberna, 1992, p. 5-2):

- Calcular la velocidad real, se divide el caudal y el área de la sección del conducto disponible comercialmente, para posteriormente hacer el cálculo de presión dinámica mediante la Ecuación 1.2.

$$PD = \frac{d \times v^2}{2} \quad [1.2]$$

Donde:

PD: presión dinámica (Pa)

d: densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>)

v: velocidad en el conducto (m/s)

- Calcular la succión de la campana (PE<sub>C</sub>), para ello se hace uso de los factores de pérdida de la entrada a la campana y la Ecuación 1.3.

$$PE_C = PD \times f_C \quad [1.3]$$

Donde:

PE<sub>C</sub>: presión estática después de la campana (Pa)

PD: presión dinámica (Pa)

f<sub>C</sub>: factor de pérdida en la campana

- Encontrar la multiplicación de la longitud del conducto con el factor de pérdida por unidad de longitud, mediante la Ecuación 1.4.

$$PC_L = \frac{27,8}{Q^{0,079} \times D^{1,066}} \times L \quad [1.4]$$

Donde:

PC<sub>L</sub>: pérdida de carga en una conducción recta y circular

L: longitud de conducto (m)

Q: caudal (m<sup>3</sup>/s)

D: diámetro de la conducción (mm)

- Determinar el factor de pérdida en accesorios y sumarlos como muestra la Ecuación 1.5.

$$f_{AC} = \sum_{i=1}^{i=n} f_{AC_i} \quad [1.5]$$

Donde:

$f_{AC}$ : factor de pérdidas totales de accesorios

$f_{AC_i}$ : factor de pérdida en cada accesorio

- Sumar los resultados de los dos anteriores pasos y multiplicarlos por la presión dinámica en el conducto, como muestra la Ecuación 1.6.

$$PC_{TR} = (PC_L + f_{AC}) \times PD \quad [1.6]$$

Donde:

$PC_{TR}$ : pérdida de carga en el tramo (Pa)

$PC_L$ : pérdida de carga en una conducción recta y circular

$f_{AC}$ : factor de pérdidas totales de accesorios

$PD$ : presión dinámica (Pa)

- Sumar el resultado del anterior paso, a la succión de la campana ( $PE_C$ ) y las otras pérdidas generadas como muestra la Ecuación 1.7. El resultado es la energía requerida, en términos de presión estática para que el caudal circule a través del tramo.

$$PE_T = PE_C + PC_{TR} \quad [1.7]$$

Donde:

$PE_T$ : pérdida de carga total en el tramo (Pa)

$PE_C$ : presión estática después de la campana (Pa)

$PC_{TR}$ : pérdida de carga en el tramo (Pa)

Es importante considerar que es difícil tener una igualdad exacta entre las presiones estáticas en los puntos de uniones por una u otra rama. Los criterios para establecer si un sistema está equilibrado o si se tiene que modificar el diseño se

basa en la relación entre la presión estática más baja y la más alta. Si la relación está comprendida entre 0,95 y 1,00, la situación se considera equilibrada, si esta relación está entre 0,95 y 0,80 se tiene que incrementar el caudal en la rama con menor pérdida de carga mediante la Ecuación 1.8. Finalmente si la relación es menor que 0,80 se tiene que rediseñar el conducto con la presión más baja (Castejón, 2006, p. 58).

$$Q_C = Q_D \sqrt{\frac{PE_{Un}}{PE_{CT}}} \quad [1.8]$$

Donde:

$Q_C$ : caudal corregido ( $m^3/s$ )

$Q_D$ : caudal de diseño ( $m^3/s$ )

$PE_{Un}$ : presión estática en la unión (Pa)

$PE_{CT}$ : presión estática calculada en el tramo (Pa)

La velocidad en un conducto principal después de una unión, en ocasiones es superior a la mayor de las velocidades en los conductos que confluyen en la unión. Se debe realizar correcciones si la diferencia entre la presión dinámica después de la unión y la presión dinámica media en los conductos que se unen es mayor a 25 Pa. La presión estática corregida se calcula mediante la Ecuación 1.9 (Castejón, 2006, p. 59).

$$PE_3 = PE_1 - (PD_3 - PD_r) \quad [1.9]$$

Donde:

$PE_3$ : presión estática en el conducto principal después de la unión (Pa)

$PE_1$ : presión estática en el conducto principal antes de la unión (Pa)

$PD_3$ : presión dinámica en el conducto principal después de la unión (Pa)

$PD_r$ : presión dinámica media antes de la unión (Pa)

### ***1.2.8.2.3 Simulación del sistema de extracción***

Para la simulación del sistema de extracción se usa el software “Solidworks”. El enfoque de “Solidworks” para la simulación de fluidos se basa en dos principios:

- El uso directo de CAD nativo como fuente de información geométrica.
- La combinación de modelado 3D CFD con métodos de ingeniería más simples, en casos donde la resolución de la malla es insuficiente para la simulación 3D completa.

El enfoque de malla utilizado en “Solidworks” permite realizar cálculos multifásicos conjugados, con el uso de una malla de cálculo que tiene celdas de fluidos, sólidas y parciales. Para las regiones de fluidos “Solidworks” resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes, que son formulaciones de las leyes de conservación de masa, momento y energía, entre otras que las complementan. El programa puede considerar un flujo laminar y turbulento. Para las regiones sólidas calcula dos fenómenos físicos: la conducción de calor y corriente eléctrica directa (Sobachkin, Dumnov y Sobachkin, 2014, pp. 7,8).

Las condiciones de frontera para la simulación son la presión ambiental la cual es establecida en la entrada del taller y la presión relativa en el ventilador del sistema de extracción.

### **1.2.8.3. Control de procesos**

El control de procesos permite optimizar la exposición al riesgo de los trabajadores, esto mediante la planificación de la distribución de los puestos de trabajo y las tareas que son ejecutadas. Algunas medidas de control de procesos sugeridas son: reducción del tiempo de exposición, separación de puestos de trabajo que generan polvo, automatización de las operaciones, selección e instalación de equipos adecuados (Castillo, Pinto, Cubero y Medina, 2010, pp. 47-49).

#### **1.2.8.4. PROTECCIÓN RESPIRATORIA**

La protección respiratoria debe estar en función de la concentración en el puesto de trabajo. Es recomendado el uso de máscara completa o una semi-máscara con filtro como mínimo de clase P2 o mascarilla filtrante por lo menos de FP2. El uso de la protección respiratoria es necesario también en operaciones como la limpieza o trabajos de mantenimiento de máquinas (Castillo et al., 2010, p. 51).

#### **1.2.8.5. LIMPIEZA**

La limpieza de las instalaciones y equipos de trabajo permiten la disminución del riesgo, para ello es importante realizar una programación de las tareas de limpieza. La limpieza profunda y periódica de las estructuras de las instalaciones no solo disminuye el polvo suspendido, además reduce el riesgo de incendio. En lo posible la limpieza debe realizarse por aspiración, es decir, con bocas de aspiración (Castillo et al., p. 50).

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1. ANÁLISIS DE LOS FACTORES DEL RIESGO DE INHALACIÓN DE POLVO DE MADERA**

El análisis de los factores del riesgo fue realizado con uno de los cuestionarios de la “Evaluación de las condiciones de trabajo en pequeñas y medianas empresas” sugerido por la INSHT. El cuestionario que se utilizó fue referente a la ventilación y climatización, y se encuentra en el Anexo I.

El cuestionario de ventilación y climatización fue un instrumento adecuado a la actividad realizada en la carpintería, ya que se realizan actividades donde se genera polvo. Además, ayudó con el análisis de las deficiencias que generaron los riesgos más relevantes (INSHT, 2000, pp. 3, 4).

La identificación de los agentes químicos y la revisión de los factores de exposición del lugar de trabajo, se la realizó según la caracterización básica para la evaluación de la exposición laboral sugerida por la norma UNE-EN 689:2019+AC:2019 (Asociación Española de Normalización, 2019, pp. 12, 13).

Los parámetros que fueron tomados en cuenta, por sugerencia de la norma UNE-EN 689:2019+AC:2019 para la identificación de los agentes químicos son:

- Materia prima.
- Productos primarios, intermedios y finales, subproductos.
- Agente químico, sus propiedades peligrosas y VLA apropiado.
- Cantidad de polvo generado.

Los factores de exposición del lugar de trabajo a ser considerados fueron:

- Organización del trabajo.
- Procesos y técnicas.
- Distribución y configuración del lugar de trabajo.
- Medidas y procedimientos de seguridad.

- Limpieza y orden del lugar de trabajo.
- Instalaciones de ventilación.
- Fuentes de emisión.
- Periodos, frecuencia y duración de la exposición.
- Carga de trabajo.

## **2.2. DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DEL RIESGO DE INHALACIÓN DE POLVO MADERA**

La evaluación del riesgo identificado en la Carpintería de la EPN, se la realizó mediante la comparación de la exposición de los trabajadores por inhalación con los valores límites de exposición profesional VLA. Para ello se basó en la norma UNE-EN 689:2019+AC:2019.

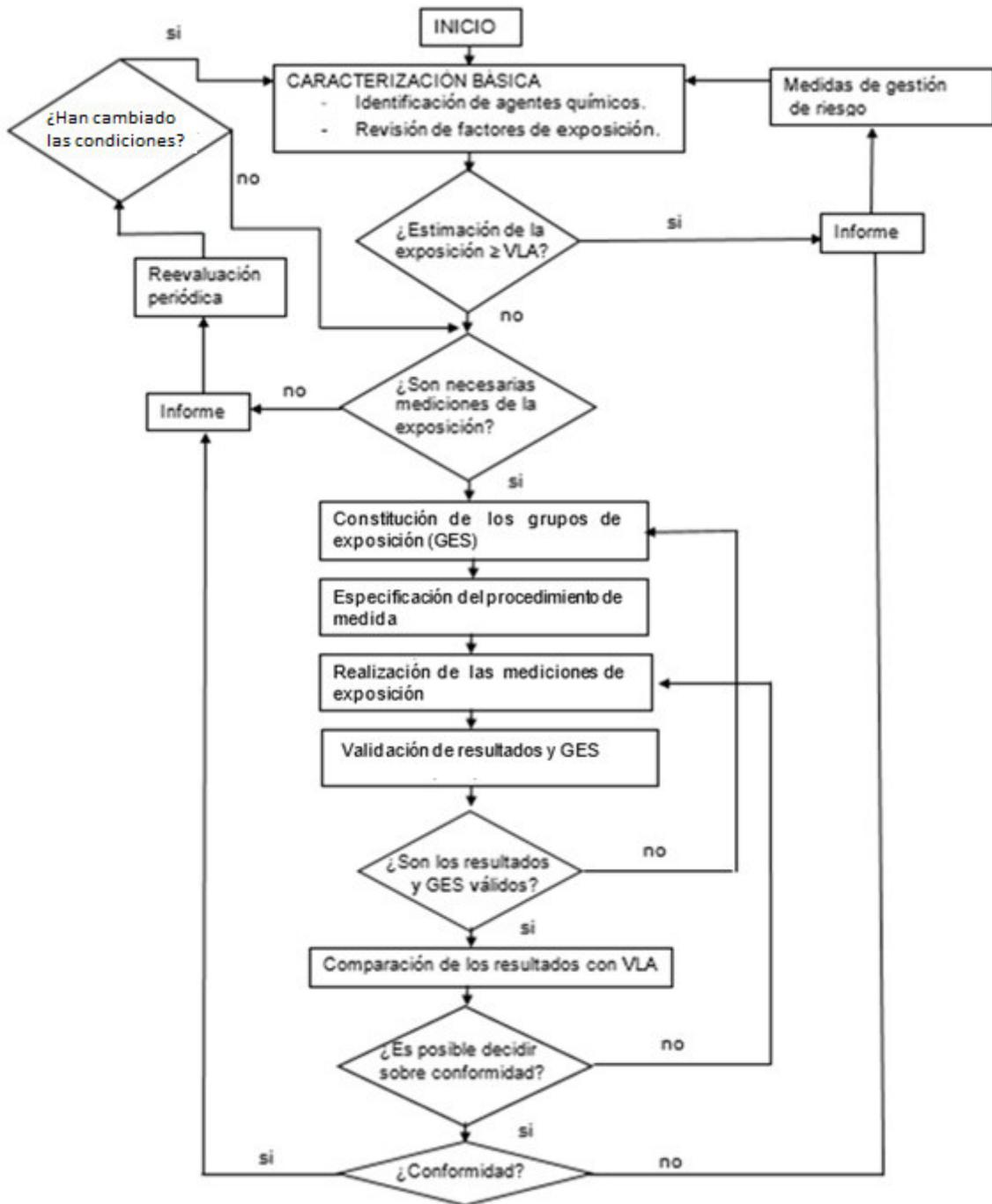
La primera parte de la caracterización básica se realizó en el análisis de los factores de riesgo, y se consideraron la identificación de los agentes químicos, así como la revisión de los factores de exposición del lugar de trabajo.

### **2.2.1. ESTIMACIÓN DE LA EXPOSICIÓN**

La tercera parte de la caracterización fue la estimación de la exposición, en esta parte se recogió información acerca de la exposición de los trabajadores. Algunas fuentes de información para la estimación fueron:

- Mediciones anteriores, mediciones realizadas con instrumentos de lectura directa.
- Mediciones en instalaciones o procesos similares.
- Cálculos relevantes.
- Modelos de exposición.

La Figura 2.1 muestra un esquema de los procedimientos para la evaluación de la exposición laboral por inhalación de agentes químicos.



**Figura 2.1.** Visión esquemática de los procedimientos de evaluación de las exposiciones laborales

(Asociación Española de Normalización, 2019, p. 11)

Las mediciones de la exposición realizadas con instrumentos de lectura directa proporcionaron información válida acerca del nivel de exposición. El equipo de lectura directa que se utilizó para la estimación fue el monitor ambiental 3M serie EVM. Este modelo fue adecuado para mediciones de las concentraciones en tiempo real (3M División de Salud Ocupacional y Seguridad Ambiental, 2012, p. 4).

La Figura 2.2 muestra el equipo de medición puntual.



**Figura 2.2.** Equipo de medición puntual de concentración de material particulado 3M serie EVM

Las tres partes de la caracterización básica permitieron concluir con la conformidad, no conformidad o la continuación de la evaluación.

### **2.2.2. CONSTITUCIÓN DE LOS GRUPOS DE EXPOSICIÓN SIMILAR (GES)**

Para continuar con la evaluación se realizó la estrategia de muestreo, para ello se realizó la constitución de los grupos de exposición similar (GES) y la especificación del procedimiento de medición.

La constitución de los grupos de exposición similar (GES) permitió la medición de la exposición de un número determinado de trabajadores, que representó una aproximación confiable y eficiente de todo el grupo de trabajadores. Para el desarrollo de este grupo se utilizó información como:

- Tipo de trabajo.
- Tareas realizadas en el puesto de trabajo.
- Perfil de exposición de cada tarea.
- Condiciones de operación y medidas de gestión del riesgo.
- Duración de la exposición en la jornada laboral.
- Experiencia de trabajadores.

### **2.2.3. ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN**

El procedimiento de ensayo utilizado fue el NIOSH 0500, el cual permitió obtener la concentración del material particulado fracción total, la técnica usada fue el método gravimétrico. El filtro que se utilizó fue un filtro de tres cuerpos PVC de poro 5  $\mu\text{m}$ , y 37 mm de diámetro, pre-pesado. El caudal de muestreo fue de 2 L/min como sugiere el procedimiento (NIOSH, 1994, pp. 1, 2). El equipo para el pesaje fue una balanza semianalítica BOECO BBX-22 con su respectivo certificado de calibración.

El equipo que se utilizó en la medición cumplió con los procedimientos de medida según la norma UNE-EN 482 (Asociación Española de Normalización, 2019, p. 15). La bomba de muestreo personal recomendada para este tipo de material particulado fue la de tipo P y el rango de caudales es de 1 L/min a 5 L/min (Centro tecnológico de mármol y la piedra, 2010, p. 67).

El equipo de muestreo estaba compuesto de los siguientes componentes principales:

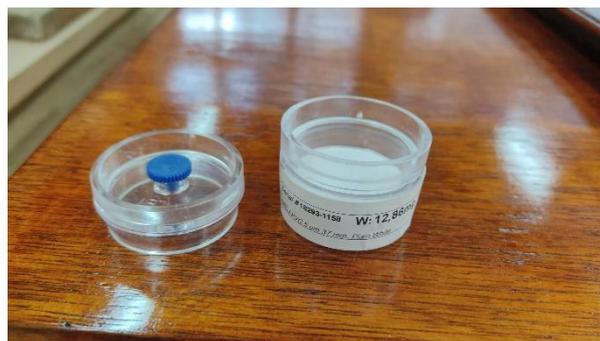
- Bomba de aspiración Gilian BDXII.
- Muestreador cassette cerrado PVC 37mm de poliestireno.
- Elemento de retención filtro de PVC.

La Figura 2.3 muestra la bomba de aspiración Gilian BDXII y la manguera de conexión.



**Figura 2.3.** Bomba de aspiración Gilian BDXII y manguera de conexión

En la Figura 2.4 se puede observar el muestreador cassette cerrado PVC 37mm de poliestireno y el filtro de retención.



**Figura 2.4.** Cassette cerrado PVC 37mm de poliestireno y filtro de retención

La especificación del procedimiento de medición ayudó a conseguir mediciones válidas de la exposición para la respectiva comparación con los VLA. El procedimiento de muestreo se realizó de la siguiente manera:

- Se colocó la bomba de aspiración calibrada en la cintura del trabajador y se aseguró en su ropa.
- Se acopló la manguera que conecta la bomba con el cassette por la espalda y hombro del trabajador, de tal forma que el extremo del tubo quedó a la altura de la clavícula del trabajador.
- Se retiraron los tapones del cassette y se conectó el orificio de salida al tubo de conducción del aire con ayuda de un adaptador.

- Se encendió la bomba dando inicio la captación de la muestra, durante la captación se vigiló periódicamente el funcionamiento de la bomba y el filtro que retiene el contaminante.
- Al terminar la captación se retiró el cassette y se ponen los tapones, estos cassettes fueron enviados al laboratorio para el respectivo análisis (Centro Tecnológico del Mármol y la Piedra, 2010, pp. 71-75).

Entre los parámetros a tomarse en cuenta estaban:

- Tiempo de muestreo.
- Número de mediciones.
- Trabajadores seleccionados para la medición.

Las mediciones fueron realizadas en función de los factores revisados en la estrategia de muestreo, así como la información de la caracterización básica revisada en la identificación de los factores de riesgo.

#### **2.2.4. VALIDACIÓN DE RESULTADOS Y GES**

Posterior a las mediciones, se realizó la validación de resultados y GES. Para esto se analizó si existen resultados erróneos, debido a irregularidades. Para la validación del GES se examinó la distribución de los resultados, de acuerdo al método planteado en la norma UNE-EN 689:2019+AC:2019. El método gráfico sugerido por la norma estableció dibujar los valores medidos de la exposición diaria en orden ascendente sobre un gráfico de probabilidad logarítmica (Asociación Española de Normalización, 2019, p. 42).

#### **2.2.5. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LOS VLA**

Finalmente, se realizó la comparación de los resultados con los VLA estipulados por la INSST, para ello como primer paso se tomó en cuenta la prueba preliminar para determinar la conformidad, no conformidad o no decisión.

### **2.2.5.1. Prueba estadística**

La prueba estadística permitió encontrar la probabilidad de que la exposición de los grupos GES cumplan con el VLA; se siguió la guía recomendada por la norma UNE-EN 689:2019+AC:2019. Esto permitió comprobar la conformidad o no conformidad con un número limitado de mediciones. La prueba de conformidad que sugiere la norma para este apartado se la puede utilizar para distribuciones log-normal o normal.

## **2.3. PROPUESTAS DE MEDIDAS DE CONTROL CON UN PROGRAMA DE ACTUACIÓN EN EL MEDIO Y RECEPTOR**

Las medidas de control planteadas para reducir el nivel del riesgo y obtener el cumplimiento con el valor límite ambiental de exposición profesional VLA, fueron aplicadas en el medio y en el receptor.

En la identificación y evaluación se determinó que las fuentes significativas de generación de polvo de madera fueron:

- Lijadora eléctrica y moladora con diferentes números de lijas según el tipo de mueble y madera.
- Sierra circular de banco.

Para poder controlar el riesgo se planteó medidas en el medio la cual hace referencia a la ventilación, ya que es la medida de control que por excelencia ayuda a controlar el riesgo causado por los contaminantes químicos. Las medidas que se tomaron en cuenta son la ventilación por la extracción localizada y por dilución. Además, se consideró medidas en el receptor tales como el uso adecuado de EPI y medidas administrativas.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. ANÁLISIS DE LOS FACTORES DEL RIESGO DE INHALACIÓN DE POLVO DE MADERA

##### 3.1.1. RESULTADOS DEL CUESTIONARIO DE VENTILACIÓN Y CLIMATIZACIÓN

Las respuestas del cuestionario de ventilación y climatización fueron presentadas en el Anexo I. Los criterios de valoración del cuestionario son mostrados en la Tabla 3.1, donde se indica el número de pregunta con su respectiva categoría.

**Tabla 3.1.** Criterios de valoración del cuestionario de ventilación y climatización

Criterios de valoración		
Muy deficiente	Deficiente	Mejorable
Más de tres deficientes	2, 3, 6, 11, 12.	4, 5, 7, 8, 9, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20.

(INSHT, 2000, p. 4)

La valoración global puede ser:

- Muy deficiente: si tres o más preguntas deficientes son respondidas de forma negativa.
- Deficiente: si al menos una de las preguntas del criterio deficiente es respondida de forma negativa.
- Mejorable: si no existe un factor de riesgo considerado deficiente, pero si mejorable.
- Correcto: si no existe deficiencia alguna (INSHT, 2000, p.17)

Los resultados del cuestionario manifestaron que la situación del lugar de trabajo es “deficiente”, además se puntualizó las siguientes observaciones:

- El sistema de extracción localizada implementado, actualmente no está en funcionamiento.

- El sistema de extracción localizada no dispone de campanas de captación para encerrar los focos de contaminación.
- El caudal del sistema no es el adecuado para captar los contaminantes.
- El sistema de ventilación general está compuesto por la puerta (entrada) y dos ventiladores de extracción (salida), el cual no es suficiente para disminuir la concentración del contaminante de forma rápida.

Se observó así la falta de medidas de control en la fuente y en el medio, también se evidenció la no renovación continua del EPI usado por los trabajadores.

### **3.1.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS AGENTES QUÍMICOS Y OTRA INFORMACIÓN NECESARIA**

La materia prima utilizada en la carpintería es el tablón de madera de laurel, sin embargo, el tablón de madera seike y las tablas tríples son también materias usadas en varias ocasiones. Los productos suplementarios que se utilizan en el proceso de fabricación son: laca catalizada, selladores, removedores. Los productos que se obtienen son estanterías, taburetes, divisiones de oficinas, muebles, puertas, entre otros objetos de oficina. En el taller también se realizan reparaciones y relacados de muebles que pertenecen a la universidad.

Los agentes químicos principales que se encontraron en la carpintería son: polvo de madera, laca catalizada, selladores para juntas de madera y removedor de pintura.

La madera del laurel y del seike no se encontraron en la clasificación botánica que sugiere la INSHT, por su parte la Organización Iberoamericana de Seguridad Social (OISS) sugiere que en los casos donde no es posible conocer si la madera es dura o blanda, se deberá considerar que la madera es dura, por lo que el polvo de este tipo de maderas podría ser cancerígeno. Además, la OISS establece como peligros principales del polvo de madera: toxicidad crónica, irritación, aerosol y sólido inflamable (OISS, 2019, p. 1).

Para la evaluación respecto al polvo de madera se utilizó el VLA-ED respectivo, el cual tiene un valor de  $5 \text{ mg/m}^3$  (INSST, 2019, p. 85). Los trabajadores de la carpintería no presentaron molestias por la exposición vía dérmica.

Los tablones de madera utilizados en los diferentes procesos tienen dimensiones 22 cm de ancho, 4 cm de altura y 240 cm de largo. La cantidad de material que es consumido en la carpintería para los productos principales elaborados es:

- Siete tablones para puertas.
- Diez tablones y cuatro planchas de trípex gruesa de 18mm para estanterías.
- Seis tablones y ocho tablas de trípex para divisiones de oficinas.
- Dos tablones para taburetes.

La temperatura a la que se realizan las diferentes actividades es la ambiental.

### **3.1.3. REVISIÓN DE LOS FACTORES DE EXPOSICIÓN DEL LUGAR DE TRABAJO**

Las funciones desempeñadas en la Carpintería son la construcción y arreglo de mobiliario de oficina para las instalaciones de la universidad. Las actividades realizadas en la carpintería son: gestión de la materia prima, preparación de material, fabricación de material y acabados. En la Carpintería actualmente laboran dos personas: el carpintero y su ayudante. En la Tabla 3.2 se muestran las tareas realizadas por los trabajadores de la Carpintería, la jornada laboral es de 08:00-17:00, el horario de 12:00-13:00 es destinado para el almuerzo de los trabajadores.

En la carpintería de la Escuela Politécnica Nacional las operaciones realizadas en el proceso de carpintería en madera son: habilitado, maquinado, ensamble y acabado.

**Tabla 3.2.** Tareas realizadas por el carpintero y el ayudante

	<b>Carpintero</b>	<b>Ayudante</b>
Tareas realizadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pedido de materia prima.</li> <li>- Cantado de la madera.</li> <li>- Corte de la madera.</li> <li>- Trazos y creación de agujeros y espigas.</li> <li>- Armado del mueble.</li> <li>- Lijado de madera.</li> <li>- Lacado de madera.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cambios de serraduras.</li> <li>- Instalación de muebles.</li> <li>- Actividades de apoyo en todas las operaciones.</li> <li>- Arreglos de los muebles.</li> </ul>

El habilitado es realizado con ayuda de la canteadora y la sierra circular. La canteadora, al reducir la cantidad de madera, generó polvo en cada proceso de canteo del tablón. En la Figura 3.1 se presenta la máquina canteadora de marca Dafigo, utilizada en la carpintería. En la Figura 3.2 se puede observar la sierra circular utilizada para el corte de madera, la cual también generó polvo en cada corte del tablón.

**Figura 3.1.** Máquina canteadora Dafigo de la carpintería**Figura 3.2.** Sierra circular de la carpintería

En la operación de ensamble, cuando el lijado de las piezas es realizado, debido al corte generado por el disco en esta operación también se genera polvo de madera. En la Figura 3.3 se puede observar la mesa de trabajo para el lijado junto con la lijadora utilizada.



**Figura 3.3.** Mesa de trabajo y lijadora para el lijado de las piezas de madera

La distribución y configuración del lugar de trabajo se pueden observar en el Anexo II.

Las medidas de seguridad usadas en la carpintería es el uso de EPI: mascarillas, guantes, tapones de los oídos y gafas. La mascarilla se usa para las operaciones que generan polvo de madera y para el proceso de lacado. También se han adecuado dos ventiladores que ayudan con la renovación de aire y extracción del material particulado.

La limpieza y orden de toda la instalación generalmente es realizada cada viernes, además los sobrantes y retazos son retirados cada día para que no exista material que dificulte la movilización.

En la actualidad, el sistema de extracción localizada no se encuentra en funcionamiento y, por su parte, la ventilación general consta de una entrada natural (puerta) y dos salidas (ventiladores).

Las fuentes de emisión en la carpintería que tienen mayor exposición son: la canteadora con una frecuencia de uso de tres veces al día en un periodo que está entre 10-30 min. La sierra se usa de 6 a 10 veces al día en un periodo de 10-60 min. La lijadora se usa dos veces al día con un periodo de 10 -180 min. En el lacado de piezas no se realizan operaciones donde se involucre el polvo de madera. Los trabajadores manifiestan que la estación del año no influye en la concentración.

Para el análisis de la carga de trabajo se realizó dos cuestionarios al trabajador, estos cuestionarios están relacionados con preguntas respecto a la carga física y mental. Las respuestas de estos cuestionarios están en el Anexo III y los resultados en ambos casos manifiestan que la carga de trabajo respecto a la carga física y mental son “deficiente”.

Las operaciones realizadas en la carpintería permitieron observar factores o condiciones de seguridad por la existencia de máquinas, herramientas e instalaciones eléctricas. También se observó factores de origen físico como el ruido y vibraciones. En todos los procesos se observó la presencia de agentes químicos como el polvo de madera. Los factores derivados de las características del trabajo fueron analizados mediante los cuestionarios de carga física y mental, donde se evidenció que estos factores están presentes en el trabajo desempeñado.

#### **3.1.4. ESTIMACIÓN DE LA EXPOSICIÓN**

En la carpintería no se realizaron anteriormente mediciones de la concentración de polvo de madera. Existe información de concentraciones en procesos similares a los realizados en la carpintería, algunos de estos se detallan a continuación.

Un estudio realizado en un aserradero tipo Pymes “Santa Lucía”, mostró que la concentración de la exposición diaria del polvo de madera es de 12,92 mg/m<sup>3</sup>, lo que permitió concluir que la exposición es inaceptable (Medina, 2015, p. 84).

En la empresa “MADECA” se realizó un estudio del material particulado generado por el polvo de madera donde se evidenció el nivel de concentración diario equivalente es:

- Área de lijado 8,61 mg/m<sup>3</sup>.
- Área de cepillado: 0,54 mg/m<sup>3</sup>.
- Área de canteado: 1,08 mg/m<sup>3</sup>.
- Área de almacenaje: 0,36 mg/m<sup>3</sup>.
- Área de corte: 2,15 mg/m<sup>3</sup>.

Información con la que concluyeron que en el área de pulido se debe tomar acciones inmediatas, y en el área de corte existe riesgo latente (Pazmiño, 2015, p. 80).

En el taller de carpintería “PACES” se realizó la medición de la concentración de material particulado en donde se determinó que la concentración máxima era de 27,8 mg/m<sup>3</sup> (Márquez y Ulloa, 2018, p. 11).

Las mediciones de las concentraciones de polvo de madera realizadas en las carpinterías “Santa Lucía”, “MADECA” y “PACES” generaron concentraciones que superaron el valor de 5 mg/m<sup>3</sup> es decir existe no conformidad, además las concentraciones más altas se generaron en las áreas de corte y lijado.

Se realizó mediciones de la concentración del material particulado de polvo de madera con un equipo de lectura directa, con el fin de analizar que fuentes generaron más polvo de madera y tener una idea a priori del riesgo existente en la carpintería. La medición de la exposición del trabajador, se la realizó con el equipo “3M-EVM”, la ubicación de este equipo se encontraba próxima a la zona de respiración del trabajador mientras realizaba sus tareas.

Las mediciones fueron realizadas en las actividades: canteado de madera, corte de madera y lijado de madera. La elección de estas actividades fue debido a que tienen la mayor frecuencia y tiempos de exposición al polvo de madera.

Las mediciones que se obtuvieron para el área de canteado se encuentran en la Tabla 3.3, en estas mediciones se observaron que las concentraciones no superaron el valor límite de  $5 \text{ mg/m}^3$  en ninguna de las seis mediciones, las concentraciones se encuentran cercanas al 10% del valor límite, esto permitió concluir que la máquina de canteado es una fuente que no genera una cantidad considerable de material particulado. El promedio de las seis mediciones de la concentración promedio fue de  $0,34 \text{ mg/m}^3$ .

**Tabla 3.3.** Resultados de mediciones puntuales de concentración de material particulado de polvo de madera en el área de canteado

<b>Dato de la medición</b>	<b>Resultado</b>					
Identificación del GES	Carpintero y ayudante					
Máquina usada en el lugar de trabajo	Máquina de canteado marca Dafigo					
Agente químico	Polvo de madera					
Tarea realizada	Nivelado de la superficie del tablón de madera típicamente laurel.					
Duración de la medición	5 min					
Medidas de gestión de riesgo	Uso de EPI, ventilación general.					
Equipo utilizado	3M-EVM					
Caudal de muestreo	1,7 L/min					
<b>Valores de concentraciones medidas</b>						
Número de medición	1	2	3	4	5	6
Concentración mínima PM 10 ( $\text{mg/m}^3$ )	0,20	0,16	0,13	0,30	0,34	0,16
Concentración máxima PM 10 ( $\text{mg/m}^3$ )	0,73	0,31	0,30	0,64	0,52	0,50
Concentración promedio PM 10 ( $\text{mg/m}^3$ )	0,34	0,24	0,20	0,53	0,44	0,31

Las mediciones que se obtuvieron para el área de corte se encuentran en la Tabla 3.4, en estas mediciones se observaron que las medidas de concentración máxima número cuatro y seis correspondieron a concentraciones que superaron el valor límite de  $5 \text{ mg/m}^3$ , esto permitió concluir que la máquina de corte es una fuente que generó cantidad de material particulado considerable para provocar riesgo. El promedio de las seis mediciones de la concentración promedio fue de  $1,84 \text{ mg/m}^3$ .

**Tabla 3.4.** Resultados de mediciones puntuales de concentración de material particulado de polvo de madera en el área de corte

<b>Dato de la medición</b>	<b>Resultado</b>					
Identificación del GES	Carpintero y ayudante					
Máquina usada en el lugar de trabajo	Sierra circular					
Agente químico	Polvo de madera					
Tarea realizada	Corte de tablas de madera					
Duración de la medición	5 min					
Medidas de gestión de riesgo	Uso de EPI, ventilación general.					
Equipo utilizado	3M-EVM					
Caudal de muestreo	1,7 L/min					
<b>Valores de concentraciones medidas</b>						
Número de medición	1	2	3	4	5	6
Concentración mínima PM 10 (mg/m <sup>3</sup> )	0,13	0,28	0,62	0,15	0,34	0,34
Concentración máxima PM 10 (mg/m <sup>3</sup> )	1,74	2,01	2,54	5,23	3,93	7,17
Concentración promedio PM 10 (mg/m <sup>3</sup> )	0,58	0,64	2,37	1,81	1,97	3,69

Las mediciones que se obtuvieron para el área de lijado se encuentran en la Tabla 3.5. En estas mediciones se observó que las medidas de concentración máxima número uno, dos y tres correspondieron a concentraciones que se acercaron o superaron el 50 % del valor límite de 5 mg/m<sup>3</sup>; esto permitió concluir que la máquina de corte es una fuente que si generó cantidad de material particulado a considerar para la evaluación del riesgo. El promedio de las seis mediciones de la concentración promedio fue de 1,36 mg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 3.5.** Resultados de mediciones puntuales de concentración de material particulado de polvo de madera en el área de lijado

<b>Dato de la medición</b>	<b>Resultado</b>					
Identificación del GES	Carpintero y ayudante					
Máquina usada en el lugar de trabajo	Lijadora excéntrica					
Agente químico	Polvo de madera					
Tarea realizada	Eliminación de superficies rugosas y rayados de las superficies					
Duración de la medición	5 min					
Medidas de gestión de riesgo	Uso de EPI, ventilación general.					
Equipo utilizado	3M-EVM					
Caudal de muestreo	1,7 L/min					
<b>Valores de concentraciones medidas</b>						
Número de medición	1	2	3	4	5	6
Concentración mínima PM 10 (mg/m <sup>3</sup> )	0,94	0,31	0,95	0,45	0,39	0,39
Concentración máxima PM 10 (mg/m <sup>3</sup> )	3,25	2,37	2,53	2,19	1,58	0,97
Concentración promedio PM 10 (mg/m <sup>3</sup> )	1,93	1,80	1,95	0,92	0,95	0,61

Las concentraciones que fueron medidas con el equipo de lectura directa permitió concluir la existencia de ciertos valores que superan o están cercanos al valor límite del polvo de madera, es decir, 5 mg/m<sup>3</sup>. Estos valores se generaron en las áreas de corte y lijado.

## **3.2. ESTRATEGIA DE MUESTREO**

### **3.2.1. CONSTITUCIÓN DE LOS GRUPOS DE EXPOSICIÓN SIMILAR (GES)**

En la carpintería actualmente laboran un carpintero y su ayudante, los dos trabajadores realizan todos los procesos que permiten la construcción de los muebles y objetos de madera. Con estas condiciones el grupo GES estaría

compuesto por estos dos trabajadores, pues el nivel de exposición es similar en los dos casos.

### 3.2.2. ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

La medición de la exposición del trabajador, se la realizó con un equipo de muestreo personal como sugiere la norma. La ubicación del muestreador se encontraba próxima a la zona de respiración del trabajador mientras realizaba sus tareas, el equipo se encontraba sujeto a la ropa del trabajador. La Figura 3.4 muestra el equipo de medición sujeto a la ropa del trabajador. El trabajador fue informado del objetivo de las mediciones y se recomendó que realice con normalidad las actividades desarrolladas en la carpintería mientras se realizaban las mediciones (Asociación Española de Normalización, 2019, p. 15).



**Figura 3.4.** Trabajador con equipo de medición de material particulado sujeto a su ropa

La duración del muestreo para comprobar la conformidad con el VLA-ED correspondió a la jornada laboral completa, como sugiere la norma UNE-EN 689:2019+AC:2019 (Asociación Española de Normalización, 2019, p. 34).

Las mediciones fueron realizadas en las actividades: canteado de madera, corte de madera y lijado de madera. La elección de estas actividades fue debido a que tienen la mayor frecuencia y tiempos de exposición al polvo de madera.

El número de mediciones realizadas para la evaluación fue de seis; se tomó en cuenta que la prueba preliminar necesita de tres a cinco mediciones, sin embargo, en el caso de no poder decidir la conformidad, se realizan seis mediciones (Asociación Española de Normalización, 2019, p. 19).

### 3.2.3. MEDICIONES DE LA EXPOSICIÓN

Las mediciones fueron realizadas en las actividades relacionadas con la generación de polvo de madera desarrolladas en toda el área del taller de la carpintería, se tomaron en cuenta las especificaciones del procedimiento de mediciones. Los resultados de las mediciones se indican en la Tabla 3.6, las mediciones a detalle se encuentran en el Anexo IV.

**Tabla 3.6.** Resultados de las mediciones de concentración de material particulado de polvo de madera en la carpintería de la EPN

<b>Dato de la medición</b>	<b>Resultado</b>					
<b>Identificación del GES</b>	Carpintero y ayudante					
<b>Máquina usada en el lugar de trabajo</b>	Sierra circular, lijadora, canteadora					
<b>Agente químico</b>	Polvo de madera					
<b>Tarea realizada</b>	Corte, lijado, canteado de tablas de madera y limpieza del lugar de trabajo.					
<b>Duración de la medición</b>	420 min					
<b>Medidas de gestión de riesgo</b>	Uso de EPI, ventilación general.					
<b>Equipo utilizado</b>	Equipo de muestreo personal con bomba Gilian BDXII					
<b>Caudal de muestreo</b>	2 L/min					
<b>Valores de concentraciones medidas</b>						
<b>Número de medición</b>	1	2	3	4	5	6
<b>Concentración de particulado (mg/m<sup>3</sup>)</b>	9,54	25,88	7,67	8,83	7,85	6,53
<b>Exposición diaria (mg/m<sup>3</sup>)</b>	8,34	22,64	6,71	7,72	6,86	5,71
<b>Índice de exposición</b>	1,66	4,52	1,34	1,54	1,37	1,14

Los resultados de la exposición diaria mostrados en la Tabla 3.6 indican que todas las mediciones de exposiciones diarias superan el valor límite para el polvo de madera de  $5 \text{ mg/m}^3$ . La exposición diaria de la medición número dos estableció un valor desproporcionado respecto a las otras mediciones, este valor correspondió a la limpieza profunda que realizó un trabajador de la carpintería, por lo tanto, se generó una cantidad de polvo fuera de lo normal. Este tipo de limpieza a profundidad es realizado una vez al mes.

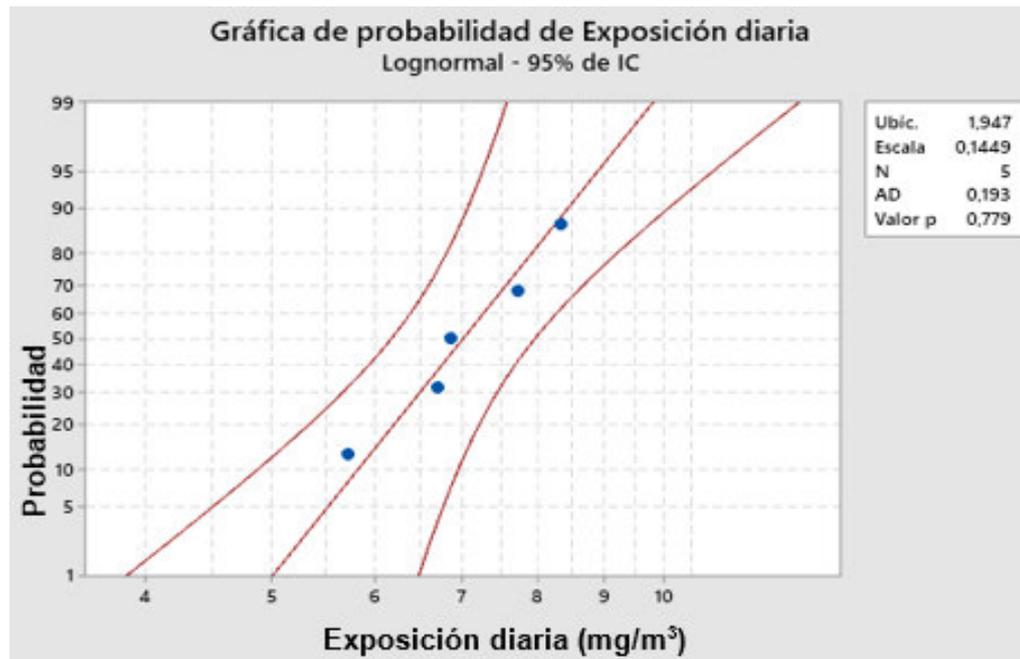
Los índices de exposición fueron encontrados mediante la división de la exposición diaria y el VLA-ED. En los resultados se puede evidenciar que todos los índices son mayores que 1, por lo cual existe riesgo alto de superar el valor límite de exposición. El promedio de los índices de exposición sin tomar en cuenta la segunda medición fue de 1,41.

### **3.3. VALIDACIÓN DE RESULTADOS Y GES**

El análisis se realizará con cinco de las seis mediciones, ya que se excluyó la medición número dos al ser una medición atípica (Asociación Española de Normalización, 2019, pp. 42, 43).

El diagrama de probabilidad logarítmica mostrado en la Figura 3.5 se obtiene como resultado de graficar en el eje de las abscisas los valores de las exposiciones diarias del material particulado en la carpintería, mientras que en el eje de las ordenadas corresponden a las probabilidades acumuladas expresadas como porcentaje, el software usado para el gráfico es Minitab.

El adecuado ajuste de los datos en una recta muestra que se distribuyen de manera logarítmico-normal. Además, el valor  $p$  es mayor que el nivel de significancia de 0.05. Por lo tanto, no se puede rechazar la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución logarítmico-normal (Minitab, 2019, p. 1).



**Figura 3.5.** Diagrama de probabilidad logarítmica de las concentraciones de exposición diaria en la carpintería

La distribución logarítmica normal que siguieron los datos de las exposiciones diarias permitió seleccionar las ecuaciones que fueron usadas para la prueba de conformidad con los VLA.

### 3.4. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LOS VLA

#### 3.4.1.1. Prueba preliminar

La norma UNE-EN 689:2019+AC:2019 (2019) indica que se necesita de tres a cinco mediciones válidas de la exposición diaria para establecer la conformidad, no conformidad o no decisión. La segunda condición de la prueba preliminar establece que, si uno de los resultados es mayor que el VLA-ED, se establece que el VLA-ED se supera, es decir existe no conformidad (p. 19).

Estos resultados obtenidos de las exposiciones diarias y mediante su comparación con el VLA-ED del polvo de madera, se concluye que existe “no conformidad”.

### 3.4.1.2. PRUEBA ESTADÍSTICA

Para la distribución log-normal de los resultados se tiene (Asociación Española de Normalización, 2019, pp. 50, 51):

La media geométrica puede ser encontrada mediante la siguiente Ecuación 3.1:

$$MG = e^{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} x_i}{n}} \quad [3.1]$$

Donde:

MG: media geométrica

$x_i$ : concentración de material particulado

n: número total de mediciones

La desviación estándar geométrica por su parte es encontrada mediante la siguiente Ecuación 3.2:

$$DSG = e^{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (\ln(x_i) - \ln(MG))^2}{n-1}}} \quad [3.2]$$

Donde:

DSG: desviación estándar geométrica

$x_i$ : concentración de material particulado

MG: media geométrica

n: número total de mediciones

La variable  $U_R$  que será comparada con el valor tabulado  $U_T$  se lo puede encontrar mediante la Ecuación 3.3:

$$U_R = \frac{\ln(VLA) - \ln(MG)}{\ln(DSG)}$$

[3.3]

Donde:

$U_R$ : variable de comparación

VLA: valor límite de exposición ambiental

MG: media geométrica

DSG: desviación estándar geométrica

El valor de  $U_R$  se compara con el valor tabulado  $U_T$  que se muestra en la Tabla 3.7. De acuerdo a la norma, si el valor de  $U_R$  es mayor o igual a  $U_T$ , la conclusión es “conformidad con el VLA”, de lo contrario la conclusión es “no conformidad con el VLA” (Asociación Española de Normalización, 2019, p. 50).

**Tabla 3.7.** Valores de  $U_T$  dependiendo del número de resultados de mediciones de la exposición

Número de mediciones de la exposición $n$	$U_T$	Número de mediciones de la exposición $n$	$U_T$	Número de mediciones de la exposición $n$	$U_T$
6	2,187	15	1,917	24	1,846
7	2,120	16	1,905	25	1,841
8	2,072	17	1,895	26	1,836
9	2,035	18	1,886	27	1,832
10	2,005	19	1,878	28	1,828
11	1,981	20	1,870	29	1,824
12	1,961	21	1,863	30	1,820
13	1,944	22	1,857	-	
14	1,929	23	1,851		

(Asociación Española de Normalización, 2019, p. 51)

La Tabla 3.8 muestra los resultados del cálculo de la media geométrica, desviación estándar geométrica, variable de comparación y decisión para las concentraciones de las exposiciones diarias determinadas.

**Tabla 3.8.** Valores de media geométrica, desviación estándar geométrica y variable de comparación para las áreas de canteado, corte y lijado

<b>Área de medición</b>	Carpintería
<b>Media geométrica de mediciones (mg/m<sup>3</sup>)</b>	8,34
<b>Desviación estándar geométrica de mediciones (mg/m<sup>3</sup>)</b>	1,64
<b>Variable de comparación (U<sub>R</sub>)</b>	-1,08
<b>Valor tabulado (U<sub>T</sub>)</b>	2,18
<b>Decisión</b>	No conformidad

Con los valores obtenidos y mediante la comparación se concluye que  $U_R < U_T$  por lo tanto existe no conformidad.

### **3.5. MEDIDAS DE CONTROL DEL RIESGO DE INHALACIÓN DE POLVO DE MADERA**

#### **3.5.1. MEDIDAS DE CONTROL EN EL MEDIO**

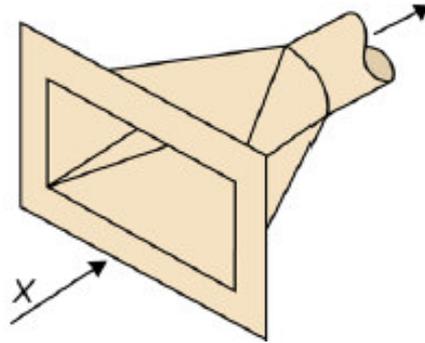
La ventilación es una medida eficaz utilizada por la higiene industrial, ya que elimina el aire contaminado de un puesto de trabajo. Existen dos tipos de ventilación: extracción localizada y ventilación por dilución. La ventilación por extracción localizada capta el contaminante y lo transporta hacia una campana, que después de filtrarlo se lo expulsa a la atmósfera. La ventilación por dilución reduce la concentración del contaminante en el lugar de trabajo (Cortés, 2012, p. 435).

##### **3.5.1.1. Diseño del sistema de extracción localizada**

Los ejemplos de cálculo del presente capítulo son mostrados en el Anexo V.

### 3.5.1.1.1 Diseño de campanas de extracción

El tipo de campana adecuado para las operaciones realizadas en la carpintería es la campana tipo abertura plana, ya que esta campana permite mayor versatilidad en los diferentes movimientos que deben realizarse con las tablas de madera. El tipo de campana seleccionada se muestra en la Figura 3.6.



**Figura 3.6.** Campana de extracción tipo abertura plana

(Castejón, 2006, p. 39)

Para el área de corte, el diseño de la campana en la sierra se realizó como se muestra a continuación:

El caudal de extracción de una campana tipo abertura plana se calculó mediante la Ecuación 3.4 (Castejón, 2006, p. 39).

$$Q=0,75v_c(10X^2+A) \quad [3.4]$$

Donde:

Q: caudal de extracción (m<sup>3</sup>/s)

v<sub>c</sub>: velocidad de captación (m/s)

X: distancia entre el contaminante y la boca de la campana (m)

A: área de la boca de la campana (m<sup>2</sup>)

Para el diseño de este tipo de campana se consideró que la relación entre el ancho y el largo de la boca de la campana debe ser mayor o igual a 0,2 (ACGIH, 2010, p. 6-24). Así mismo, el ancho de la boca de la campana debe ser al menos 50 % más

ancha que el ancho de la nube que genera el contaminante (ACGIH, 2010, p. 6-20). El ancho que genera la nube del contaminante es de 0,70 m, por lo tanto, el ancho de la campana es de 1,05 m. El largo de la boca de la campana se planteó de la misma longitud que la del ancho, con el fin de mantener la relación establecida entre el ancho y el largo. El área de la boca se encontró mediante la Ecuación 3.5.

$$A=W \times L \quad [3.5]$$

Donde:

A: área de la boca de la campana (m<sup>2</sup>)

W: ancho de la boca de la campana (m)

L: Largo de la boca de la campana (m)

Por la Ecuación 3.5 y lo expuesto en el anterior párrafo se tiene entonces:

$$A=1,10 \text{ m}^2$$

La velocidad de captación en contaminantes que son liberados con alta velocidad inicial en aire con movimiento está entre 2,5 m/s y 10 m/s. En este caso se ha tomado el valor de 2,5 m/s (Castejón, 2006, p. 36). La distancia entre el contaminante y la boca de la campana se consideró de 0,1 m con el objetivo de captar el contaminante de manera más efectiva.

De acuerdo con la Ecuación 3.4, entonces se tiene:

$$Q=2,25 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

El diámetro del ducto de la campana se calculó con la ecuación del caudal volumétrico y la superficie de la sección circular del ducto. También se consideró la velocidad mínima de diseño del ducto para el material de madera está en el rango de 20,3 m/s - 22,8 m/s (ACGIH, 2010, p. 5-10), se consideró una velocidad de 22,8 m/s con el objetivo de tener un ducto de menor diámetro, ya que la velocidad es inversamente proporcional a el área del ducto.

La ecuación del caudal volumétrico y la velocidad mínima de diseño del ducto permitieron encontrar la superficie de la sección circular del ducto como se muestra en la Ecuación 3.6.

$$Q=S \times v_D \quad [3.6]$$

Donde:

Q: caudal de extracción (m<sup>3</sup>/s)

S: superficie de la sección circular del ducto (m<sup>2</sup>)

v<sub>D</sub>: velocidad mínima del diseño del ducto (m/s)

La superficie de la sección circular por lo tanto tiene el valor de:

$$S=0,10 \text{ m}^2$$

La superficie de la sección circular del ducto es encontrada mediante la Ecuación 3.7.

$$S=\frac{\pi}{4} \times D^2 \quad [3.7]$$

Donde:

S: superficie de la sección circular del ducto (m<sup>2</sup>)

D: diámetro del ducto (m)

El diámetro del ducto que se tiene es:

$$D=0,35 \text{ m}$$

La campana tipo abertura plana que se seleccionó posee una pantalla deflectora la cual puede tener un ancho de 10 a 12 cm, en este caso se tomará la longitud de 10 cm (Castejón, 2006, p. 39).

El largo de la campana de extracción tipo techo se encontró mediante la Ecuación 3.8.

$$L_c = L + 2 \times W_p \quad [3.8]$$

Donde:

$L_c$ : largo de la campana (m)

$L$ : largo de la boca de la campana (m)

$W_p$ : ancho de la pantalla deflectora (m)

$$L_c = 1,25 \text{ m}$$

El ancho de la campana de extracción tipo techo se encontró mediante la Ecuación 3.9.

$$W_c = W + 2 \times W_p \quad [3.9]$$

Donde:

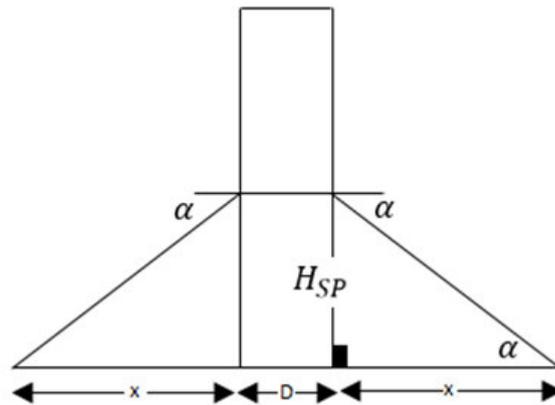
$W_c$ : ancho de la campana (m)

$W$ : ancho de la boca de la campana (m)

$W_p$ : ancho de la pantalla deflectora (m)

$$W_c = 1,25 \text{ m}$$

Para encontrar la altura de la sección piramidal se tomó como referencia la Figura 3.7, en donde se considera el ángulo “ $\alpha$ ” para su diseño. No existe un valor mínimo recomendado para este tipo de campanas, sin embargo para otro tipo de campanas con formas similares se encuentra que el valor mínimo recomendado es de  $45^\circ$  (ACGIH, 2010, p. 13-197).



**Figura 3.7.** Vista frontal del esquema de la sección piramidal de la campana tipo techo

Previo a encontrar la altura de la sección piramidal, se encontró el valor de  $x$  mediante la Ecuación 3.10.

$$L=2x+D \quad [3.10]$$

Donde:

- L: largo de la boca de la campana (m)
- x: distancia entre el ducto y borde de la campana (m)
- D: diámetro del ducto (m)

Por lo tanto se encontró que el valor de  $x$  es:

$$x=0,35 \text{ m}$$

La altura de la sección piramidal se calculó mediante la Ecuación 3.11.

$$H_{SP}=x \times \tan(\alpha) \quad [3.11]$$

Donde:

- $H_{SP}$ : altura de la sección piramidal (m)
- x: distancia entre el ducto y borde de la campana tipo techo (m)
- $\alpha$ : ángulo formado en la base de la sección piramidal ( $^{\circ}$ )

$$H_{sp}=0,35 \text{ m}$$

Los resultados del dimensionamiento de la campana tipo abertura plana para la sierra se pueden observar en la Tabla 3.9.

**Tabla 3.9.** Dimensiones de la campana tipo abertura plana para la sierra

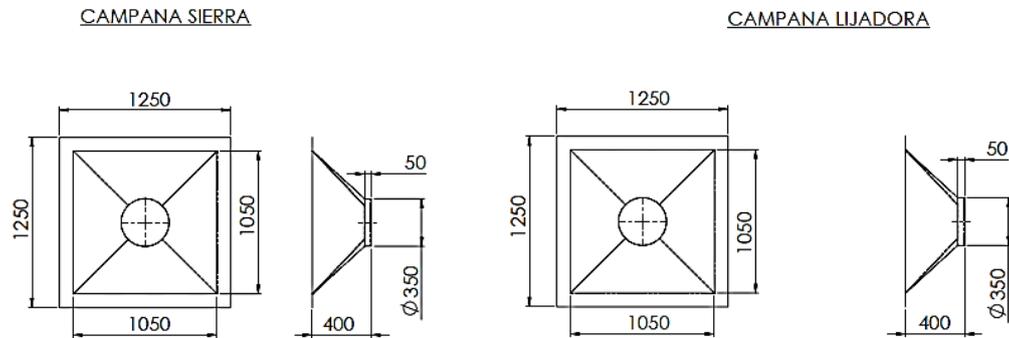
<b>DIMENSIONES DE LA CAMPANA DE EXTRACCIÓN</b>			
<b>Boca de la campana</b>		<b>Campana</b>	
Ancho (W)	1,05 m	Ancho (W <sub>C</sub> )	1,25 m
Largo (L)	1,05 m	Largo (L <sub>C</sub> )	1,25 m
Relación W/L	1	Altura (H <sub>SP</sub> )	0,35 m
<b>Pantalla deflectora</b>		<b>Ducto</b>	
Ancho (W <sub>p</sub> )	0,1 m	Diámetro (D)	0,35 m

Para la mesa de lijado de madera de la carpintería se llevó a cabo el mismo procedimiento del dimensionamiento realizado para la sierra, la nube que genera el contaminante en este proceso de lijado es de 0,7 m, por lo tanto, el ancho de la boca de la campana es de 1,05 m. El largo de la boca de la campana se planteó de la misma longitud que la del ancho, con el fin de mantener la relación establecida entre el ancho y el largo, la Tabla 3.10 muestra los resultados de las dimensiones de la campana de lijado de madera. El caudal de extracción para esta campana es también de 2,25 m<sup>3</sup>/s.

**Tabla 3.10.** Dimensiones de la campana de extracción tipo techo para la mesa de lijado de madera

<b>DIMENSIONES DE LA CAMPANA DE EXTRACCIÓN</b>			
<b>Boca de la campana</b>		<b>Campana</b>	
Ancho (W)	1,05 m	Ancho (W <sub>C</sub> )	1,25 m
Largo (L)	1,05 m	Largo (L <sub>C</sub> )	1,25 m
Relación W/L	1	Altura (H <sub>SP</sub> )	0,35 m
<b>Pantalla deflectora</b>		<b>Ducto</b>	
Ancho (W <sub>p</sub> )	0,1 m	Diámetro (D)	0,35 m

La Figura 3.8 muestra las vistas frontales y laterales de las campanas con las dimensiones calculadas.



**Figura 3.8.** Vista lateral y frontal de las campanas diseñadas para la sierra y mesa de lijado

### 3.5.1.1.2 Diseño de red de conductos y accesorios

Para el diseño de conductos se siguió el procedimiento mostrado en el capítulo uno, correspondiente al método de presión dinámica. Estas pérdidas se calcularon mediante el producto de la presión dinámica y un factor de pérdida. Los factores de pérdidas de la entrada de la campana y los accesorios se encuentran en las gráficas del Anexo VI.

La geometría del sistema de extracción se realizó según las limitaciones establecidas en el lugar de trabajo.

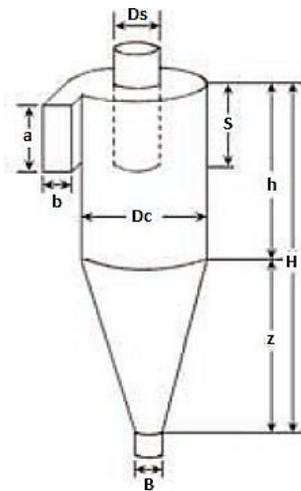
El tipo de depurador para trabajo de madera que se usa frecuentemente es el ciclón (Goberna, 1992, p. 4-26). El ciclón que se diseñó fue el tipo convencional, el cual tiene una buena eficiencia para partículas con diámetros grandes, pero mala eficiencia para partículas con diámetros pequeños (Echeverri, 2006, p. 125). Las características para el diseño del ciclón se muestran en la Tabla 3.11.

**Tabla 3.11.** Características de los ciclones tipo convencionales

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de ciclón			
		Lapple	Swift	Peterson-Whitby	Zenz
Diámetro del ciclón	$D_c/D_c$	1.0	1.0	1.0	1.0
Altura de entrada	$a/D_c$	0.5	0.5	0.583	0.5
Ancho de entrada	$b/D_c$	0.25	0.25	0.208	0.25
Altura de salida	$S/D_c$	0.625	0.6	0.583	0.75
Diámetro de salida	$D_s/D_c$	0.5	0.5	0.5	0.5
Altura parte cilíndrica	$h/D_c$	2.0	1.75	1.333	2.0
Altura parte cónica	$z/D_c$	2.0	2.0	1.837	2.0
Altura total del ciclón	$H/D_c$	4.0	3.75	3.17	4.0
Diámetro salida partículas	$B/D_c$	0.25	0.4	0.5	0.25
Factor de configuración	G	402.88	381.79	342.29	425.41
Número cabezas de velocidad	NH	8.0	8.0	7.76	8.0
Número de vórtices	N	6.0	5.5	3.9	6.0

(Echeverri, 2006, p. 126)

Las dimensiones referidas del ciclón se muestran en la Figura 3.9 y el tipo de ciclón convencional que se diseñó es el Peterson-Whitby debido a que permitió tener una altura total menor que los otros ciclones.

**Figura 3.9.** Nomenclatura de las dimensiones del ciclón tipo convencional

(Echeverri, 2006, p. 127)

El primer parámetro que se calculó para el dimensionamiento es el diámetro del ciclón y posteriormente con la Tabla 3.11 que muestra las características del ciclón se procedió a encontrar las dimensiones restantes.

El área de entrada del ciclón al ser un rectángulo se lo encontró mediante la Ecuación 3.12.

$$A_{EC}=a \times b$$

[3.12]

Donde:

$A_{EC}$ : área en la entrada al ciclón ( $m^2$ )

a: altura de entrada del ciclón (m)

b: ancho de entrada del ciclón (m)

El área en la entrada del ciclón calculada es de  $0,17 m^2$  ya que la velocidad de entrada recomendada para el ingreso al ciclón está en un rango de  $15,2$  a  $27,4 m/s$ , en este caso se tomó una velocidad de  $27 m/s$  (Echeverri, 2006, p. 131). Los valores de a y b por su parte fueron tomados de la Tabla 3.11 que mostró las características del ciclón tipo Peterson-Whitby. Con esta información se calculó el diámetro del ciclón ( $D_c$ ).

$$D_c=1,19 m$$

Con el valor calculado  $D_c$  y la Tabla 3.11 de las características del ciclón, se calcularon todas las otras dimensiones del ciclón que se muestran en la Tabla 3.12.

**Tabla 3.12.** Dimensiones calculadas del ciclón convencional tipo Peterson-Whitby

<b>Diámetro del ciclón</b>	$D_c=$	1,19 m
<b>Altura entrada ciclón</b>	$a=$	0,70 m
<b>Ancho entrada ciclón</b>	$b=$	0,25 m
<b>Altura salida ciclón</b>	$S=$	0,70 m
<b>Diámetro salida ciclón</b>	$D_s=$	0,60 m
<b>Altura parte cilíndrica</b>	$h=$	1,59 m
<b>Altura parte cónica</b>	$z=$	2,19 m
<b>Altura total</b>	$s$	3,78 m
<b>Diámetro salida partículas</b>	$B$	0,60 m
<b>Facto de configuración</b>	$G$	342,29
<b>Número cabezas de velocidad</b>	$N_H$	7,76
<b>Número de vórtices</b>	$N$	3,90

La pérdida de presión en el ciclón se calculó mediante la Ecuación 3.13.

$$P_{CI} = \frac{1}{2} \times p \times V_i^2 \times N_H \quad [3.13]$$

Donde:

$P_{CI}$ : caída de presión en el ciclón (Pa)

$p$ : densidad del gas portador ( $\text{kg/m}^3$ )

$V_i$ : velocidad de entrada del gas en el ciclón (m/s)

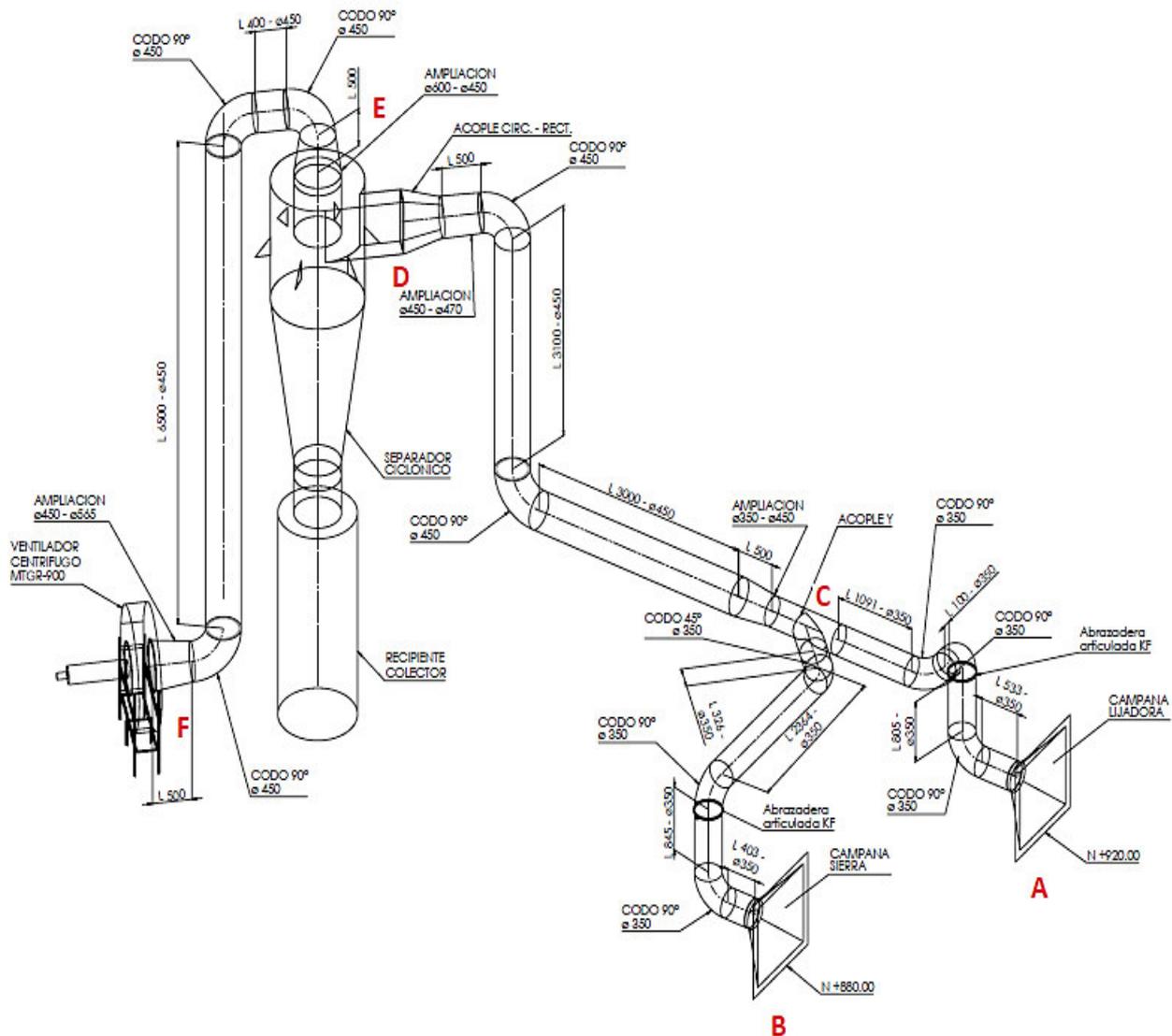
$N_H$ : número de cabezas de velocidad a la entrada del ciclón

El gas portador es el aire por lo cual la densidad es de  $1,2 \text{ kg/m}^3$ , la velocidad de entrada del gas al ciclón es de  $27 \text{ m/s}$ , y el número de cabezas de velocidad a la entrada del ciclón es de  $7,76$  como lo muestra la tabla 3.12, por lo tanto se calculó que la caída de presión es:

$$P_{CI} = 3394,2 \text{ Pa}$$

La geometría del sistema de extracción fue realizada en el software "Solidworks", el plano isométrico del sistema se muestra en la Figura 3.10. Las disposiciones del sistema de extracción en el taller de la carpintería se muestran en el Anexo VII.

Los accesorios y longitudes fueron seleccionados según las necesidades y condiciones del taller de la carpintería, las abrazaderas articuladas KF fueron seleccionadas con el objetivo de poder mover las campanas en el caso de que alguna operación implique mayor espacio.



**Figura 3.10.** Plano isométrico del sistema de extracción diseñado

Para este tipo de diseños, es recomendado el uso de hojas de cálculo en las cuales se muestren los resultados de las caídas de presión, tal como se indica en la Tabla 3.13.

**Tabla 3.13.** Cálculos de presiones estáticas, dinámicas en el sistema de extracción

1	<b>Identificación del tramo</b>	AC	BC	CF
2	Caudal, m <sup>3</sup> /s	2,25	2,25	4,66
3	Velocidad mínima, m/s	22,80	22,80	22,80
4	Diámetro del conducto, mm	350	350	450
5	Velocidad real en el conducto, m/s	23,39	23,39	29,30
6	Presión dinámica, Pa	328,14	328,14	515,11
7	<b>Campana</b>			
8	Área de la rendija, m <sup>2</sup>	0	0	0
9	Velocidad en la rendija, m/s	0	0	0
10	Presión dinámica en la rendija, Pa	0	0	0
11	Factor de pérdidas en la rendija	0	0	0
12	Factor de aceleración (0 o 1)	1	1	0
13	Factor de pérdidas en la entrada al conducto	0,25	0,25	0
14	Otras pérdidas	0	0	0
15	Presión estática después de la campana, Pa	410,18	410,18	0,00
16	<b>Conducto</b>			
17	Longitud, m	2,53	3,94	13
18	Factor de pérdidas n en PD	0,13	0,20	0,48
19	N° de codos	3	3	5
20	Factor de pérdidas n en codos	0,20	0,20	0,20
21	Pérdidas en PD en codos	0,60	0,54	1
22	N° de uniones	0	1	0
23	Factor de pérdidas en uniones	0	0,28	0
24	Pérdidas en PD en uniones	0	0,28	0
25	Pérdidas en tramo PD (18+21+24)	0,73	1,02	1,48
26	Pérdidas en tramo (6x25), Pa	238,90	334,51	759,88
27	Otras pérdidas	0	0	4 028,20
28	Pérdida total (26+27)	238,90	334,51	4 788,07
29	<b>Campana + Conducto</b>			
30	Pérdida de PE en tramo (15+28), Pa	649,08	744,69	4 788,07
31	Pérdida por corrección de velocidad			173,17
32	Presión estática acumulada, Pa	-649,08	-744,69	-5 610,33
33	Presión estática de control, Pa		-649,08	
34	Relaciones de presiones estáticas	0,87		
35	Caudal corregido	2,41		
36	Presión estática a la entrada del ventilador, Pa			-5 610,33
37	Presión estática a la salida del ventilador, Pa			
38	Presión dinámica a la entrada del ventilador, Pa			515,11

El cálculo de la presión estática del ventilador fue realizado mediante la Ecuación 3.14 (Castejón, 2006, p. 64).

$$P_{EV} = -PE_e - PD_e \quad [3.14]$$

Donde:

$P_{EV}$ : presión estática del ventilador (Pa)

$PE_e$ : presión estática acumulada (Pa)

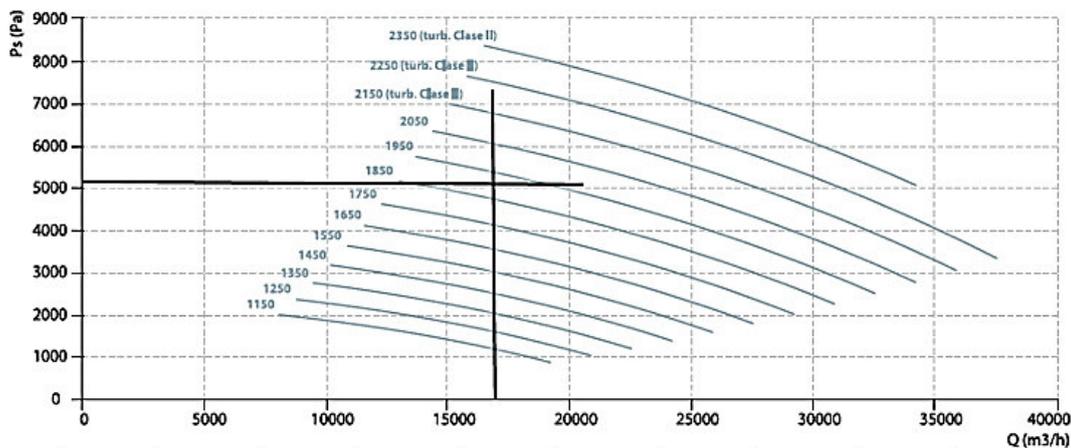
$PD_e$ : presión dinámica a la entrada del ventilador (Pa)

Con los valores calculados en la Tabla 3.13 se tiene entonces:

$$P_{EV} = 5095,22 \text{ Pa}$$

La selección del ventilador fue realizada con la presión estática calculada y el caudal que será manejado, es decir con los valores 5095,22 Pa y 4,66 m<sup>3</sup>/s (16776 m<sup>3</sup>/h), respectivamente. El ventilador que permitió satisfacer estas condiciones fue el MTGR 900 (Casals fans of innovation, 2019, p. 204).

La Figura 3.11 muestra la curva característica del ventilador MTGR 900, donde se observó que se tiene que trabajar aproximadamente a 1 950 rpm para cumplir con los parámetros calculados.

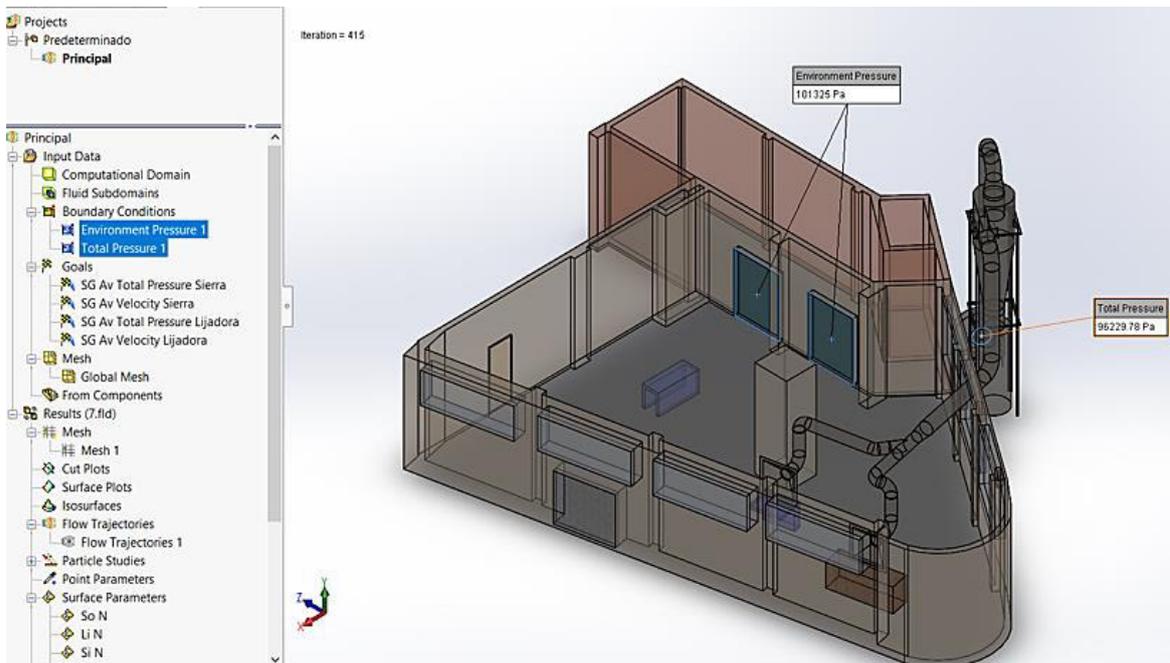


**Figura 3.11.** Curva característica del ventilador centrífugo de media presión modelo MTGR 900  
(Casals fans of innovation, 2019, p. 204)

### 3.5.1.2. SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN

La simulación del sistema de extracción permitió verificar la velocidad con la que viajan las partículas en el sistema, las pérdidas de presión calculadas y la extracción de las partículas. Esta simulación fue realizada en el software “Solidworks”. Con el objetivo de que no existan interferencias en los flujos, se consideró la simulación con los ventiladores apagados.

Las condiciones de frontera son la presión ambiental con un valor de 101 325 Pa y la presión relativa del ventilador es 5 095,22 Pa por lo que su presión absoluta es 96 229,78 Pa; estas condiciones pueden ser observadas en la Figura 3.12.

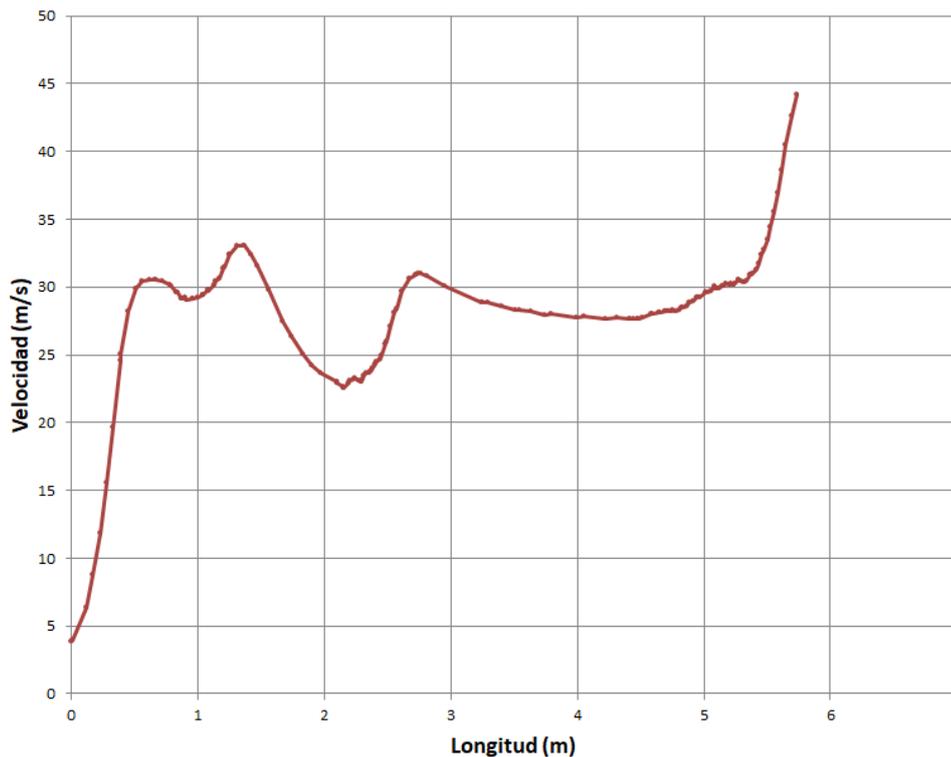


**Figura 3.12.** Condiciones de frontera de la simulación del sistema de extracción

El Anexo VIII muestra las condiciones con las cuales se realizó la simulación.

La Figura 3.13 muestra la variación de la velocidad a la que viajan las partículas del polvo de madera en el tramo de BC correspondiente al tramo “sierra –acople y”. Se pudo evidenciar que la velocidad inicial en la entrada de la campana tiene un valor alrededor de los 3,8 m/s, la cual se aproxima a la velocidad de diseño en la succión de la campana.

La velocidad promedio calculada para el tramo fue de 23,39 m/s, la Figura 3.13 muestra que la velocidad a la que viajan las partículas se encuentra en el rango de los 23 m/s y 33 m/s, además según la simulación se tiene un promedio de 28,07 m/s. Al final del tramo se evidenció un pico en el valor de la velocidad, esto se explica debido a que en el punto C se encuentra el “acople y”, accesorio donde convergen los ductos provenientes de la sierra y la mesa de lijado.



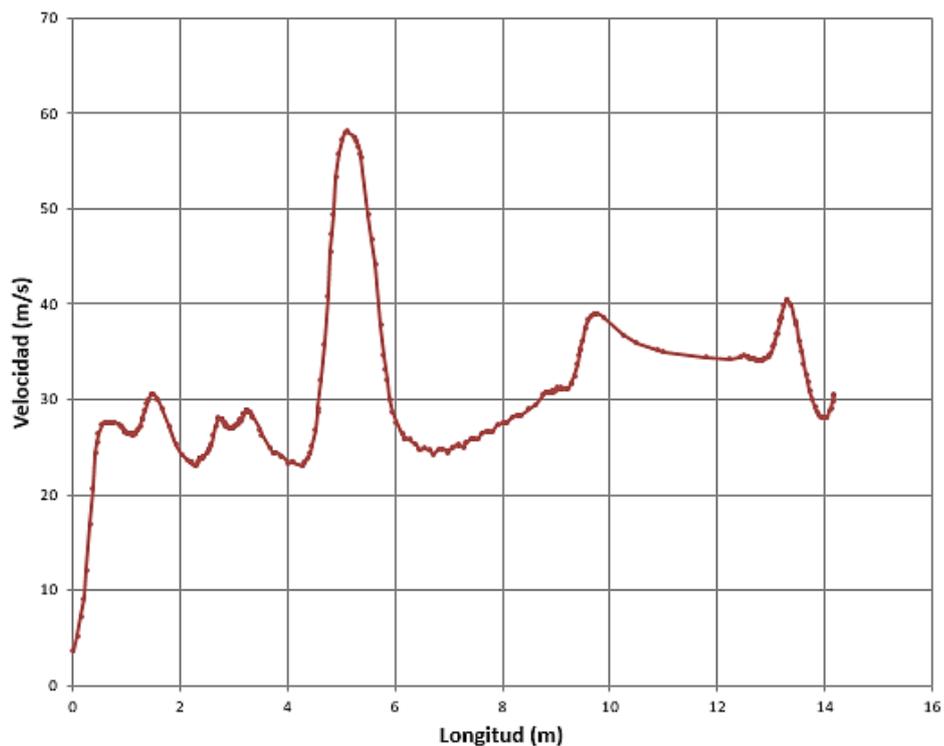
**Figura 3.13.** Variación de la velocidad en función de la longitud para el tramo BC

La Figura 3.14 muestra la variación de la velocidad a la que viajan las partículas de polvo de madera en los tramos AC y CD, correspondientes a los tramos “mesa de lijado – acople y” y “acople y – entrada ciclón”, respectivamente. Se pudo evidenciar que la velocidad inicial en la entrada de la campana tiene un valor alrededor de los 3,6 m/s, la cual es próxima a la velocidad de diseño en la succión de la campana.

La velocidad promedio calculada para el tramo AC es de 23,39 m/s, la Figura 3.14 muestra que la velocidad a la que viajan las partículas se encuentra en el rango de los 23 m/s y 30 m/s, además según la simulación se tiene un promedio de 26,20 m/s. Al final de este primer tramo se evidenció un pico en el valor de la velocidad,

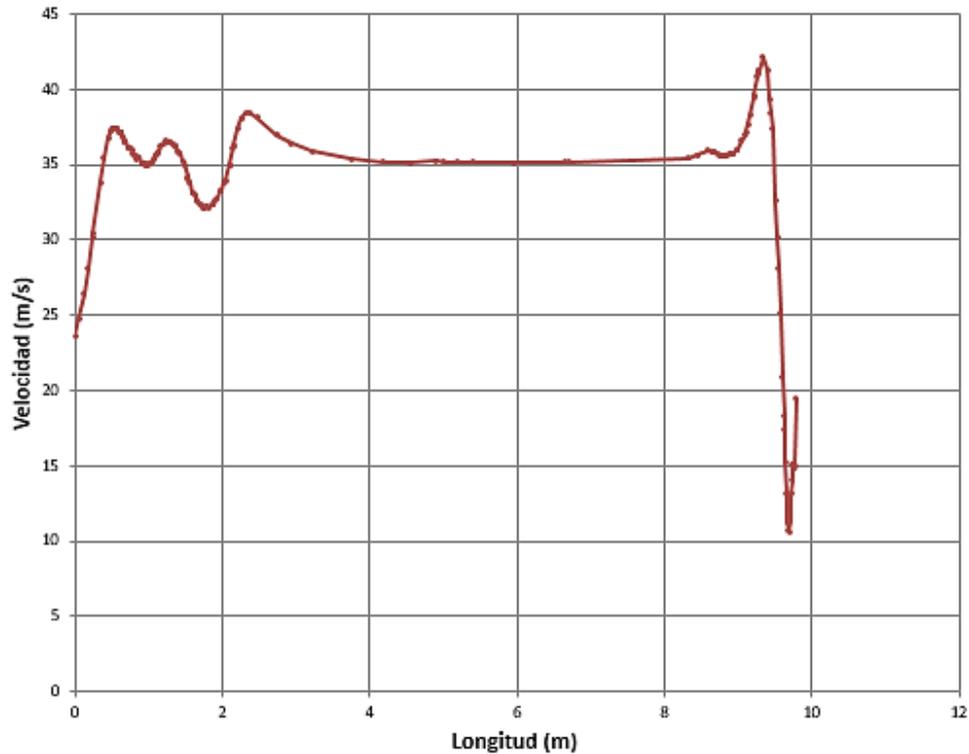
esto se explica debido a que en el punto C se encuentra el “acople y”, accesorio donde convergen los ductos provenientes de la sierra y la mesa de lijado.

Posterior al “acople y”, se tiene el tramo CD en donde la velocidad calculada es de 29,30 m/s, además según la simulación se tiene un promedio de 33,46 m/s, el tramo CD en la Figura 3.14 corresponde al tramo que se encuentra después del pico que se generó en el “acople y”. Al final de este segundo tramo la velocidad disminuye, esta variación se debe a la ampliación que se tiene en el ingreso del ciclón.



**Figura 3.14.** Variación de la velocidad en función de la longitud para los tramos AC y CD

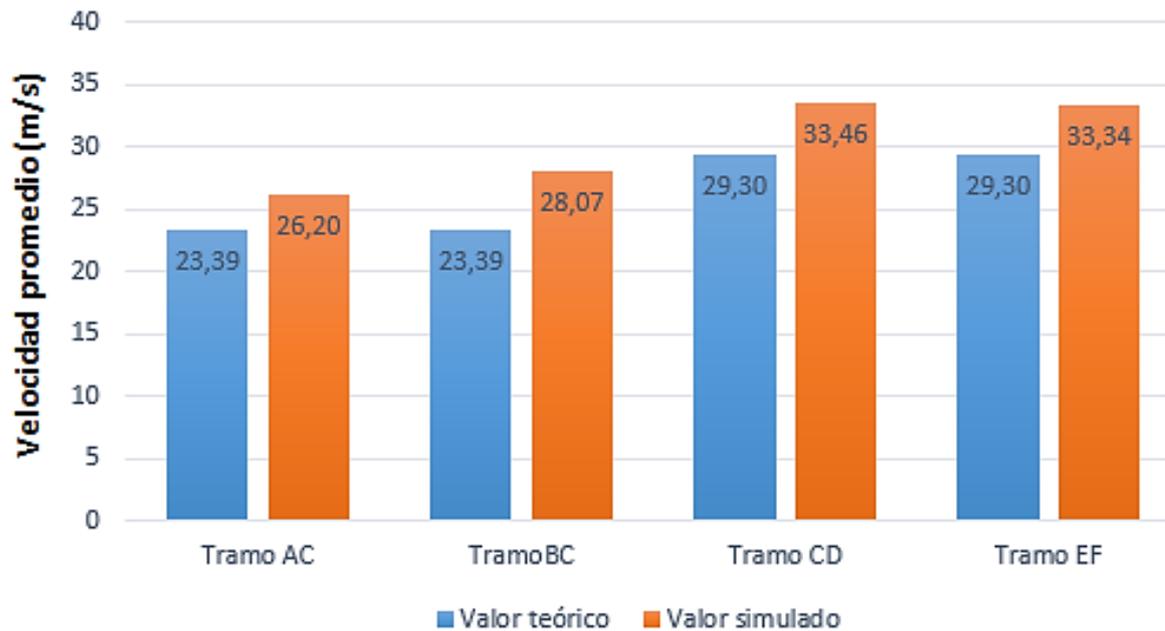
La Figura 3.15 muestra la variación de la velocidad a la que viajan las partículas del polvo de madera en el tramo EF correspondiente al tramo “salida del ciclón – ventilador”. La velocidad promedio calculada para el tramo es de 29,30 m/s, además según la simulación se tiene un promedio de 33,34 m/s. La disminución de la velocidad al final del tramo, se generó por el aumento del diámetro al ingreso del ventilador.



**Figura 3.15.** Variación de la velocidad en función de la longitud para el tramo EF

Simulaciones realizadas en otros estudios manifestaron que la velocidad promedio estaba por el valor de los 18 m/s, lo cual ya garantizaba la succión (Márquez y Ulloa, 2018, p. 43), en el presente estudio las velocidades tienen un valor mayor que también garantiza la extracción de las partículas y que fue generado por las condiciones de la geometría del taller.

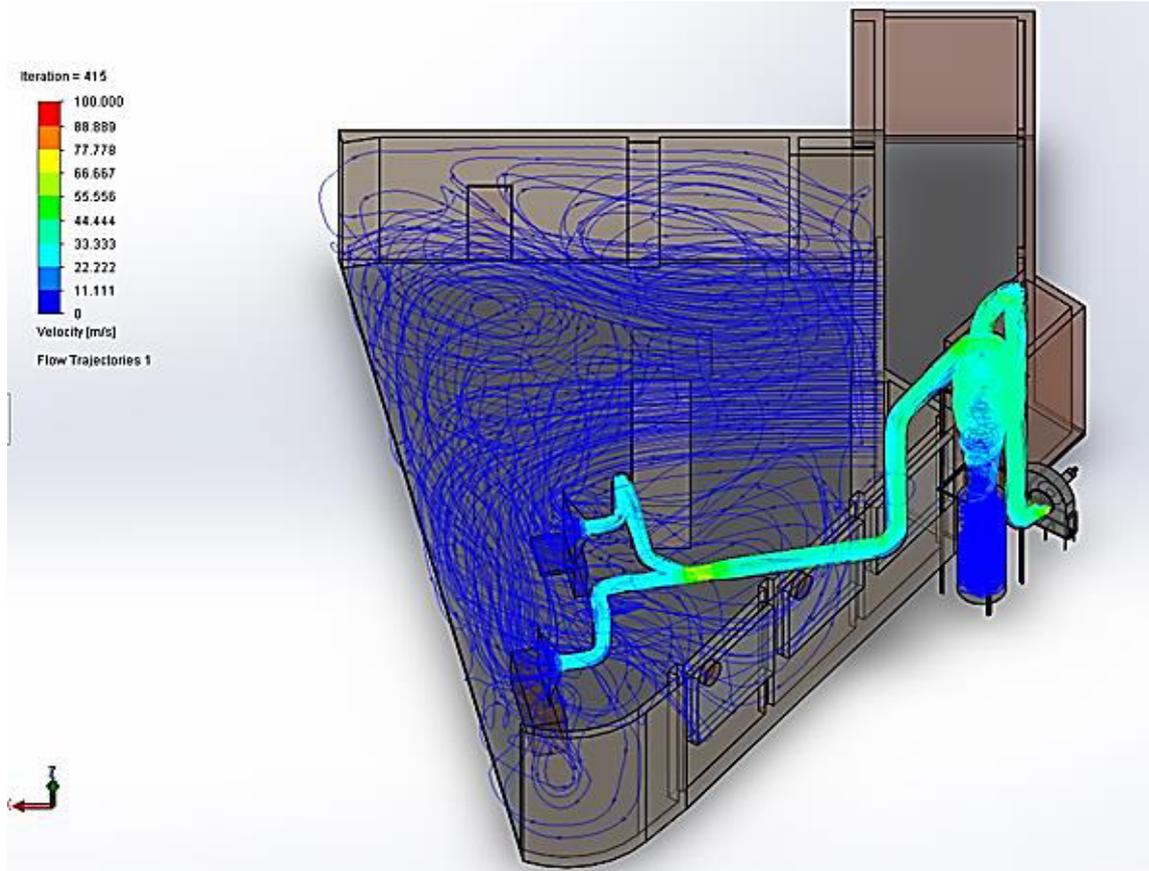
La Figura 3.16 muestra la comparación de la velocidad promedio de los valores teóricos y simulados en los tramos analizados. Se analizó que en todos los tramos los valores teóricos y simulados son muy aproximados. Además, en todos los tramos se cumplió con la velocidad mínima de diseño para la extracción del polvo de madera, lo que garantizó la succión del contaminante.



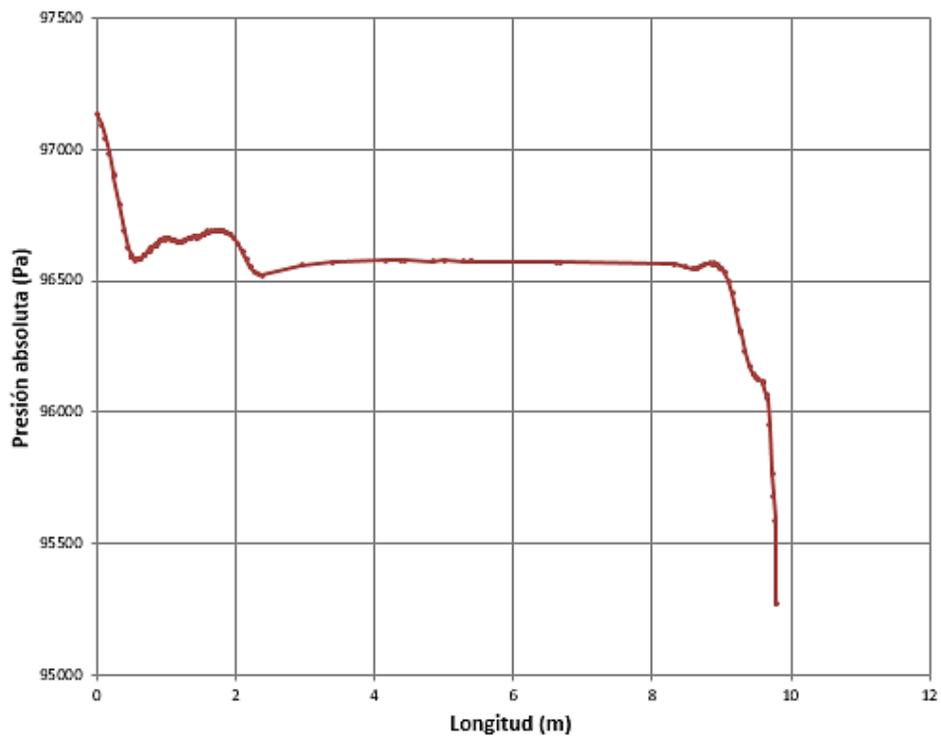
**Figura 3.16.** Comparación de la velocidad promedio entre los valores teóricos y simulados

La Figura 3.17 muestra el perfil de velocidades de las líneas de flujo durante el proceso de extracción. Como se analizó en las anteriores figuras, se generó una velocidad alta en el “acople y” donde existe la convergencia de los flujos provenientes de las campanas de la sierra y de la mesa lijado. También se mostró que el aire que ingresa por las puertas tiene una velocidad pequeña, lo cual permite que no se genere mucha turbulencia en el interior de la carpintería.

Para las caídas de presión el programa permitió determinar que la presión absoluta en el ventilador con las condiciones simuladas es de 95 270,33 Pa, mediante la comparación con la presión absoluta calculada de 96 229,78 Pa, se encuentra que el resultado es bastante aproximado. La Figura 3.18 muestra la variación de la presión absoluta en el último tramo del diseño.

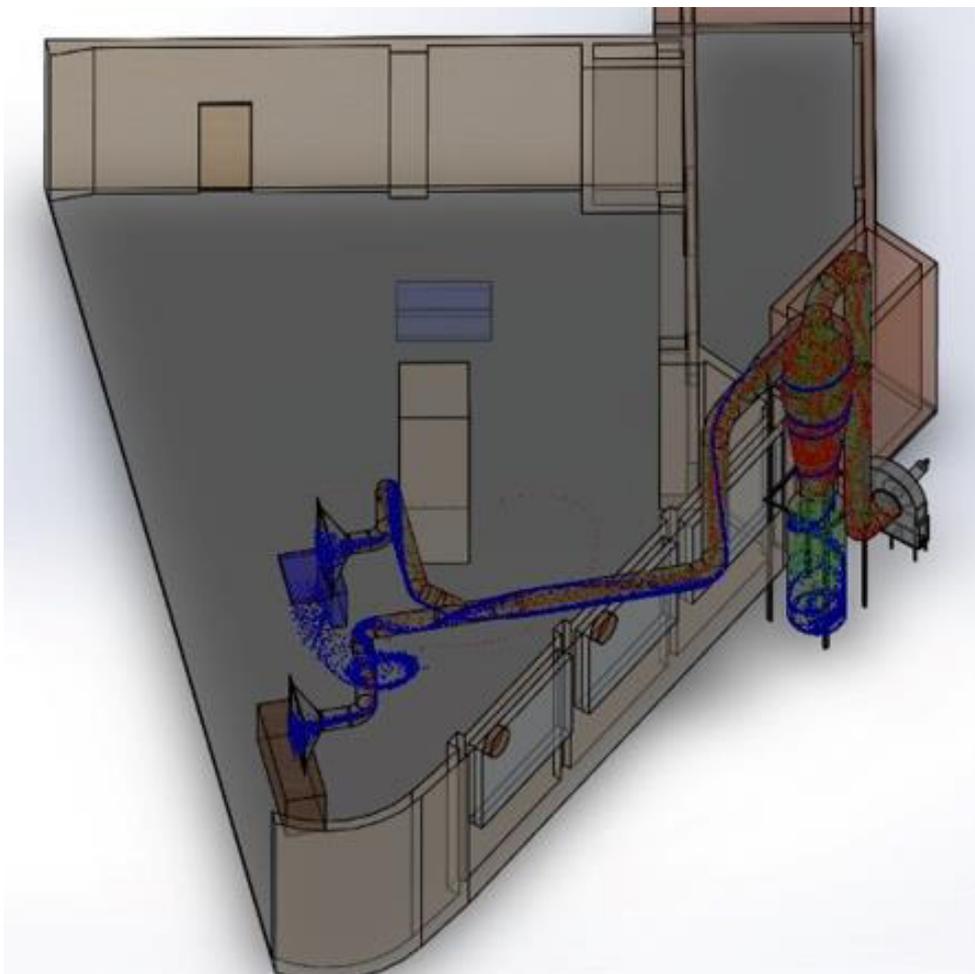


**Figura 3.17.** Perfil de velocidades de las líneas de flujo



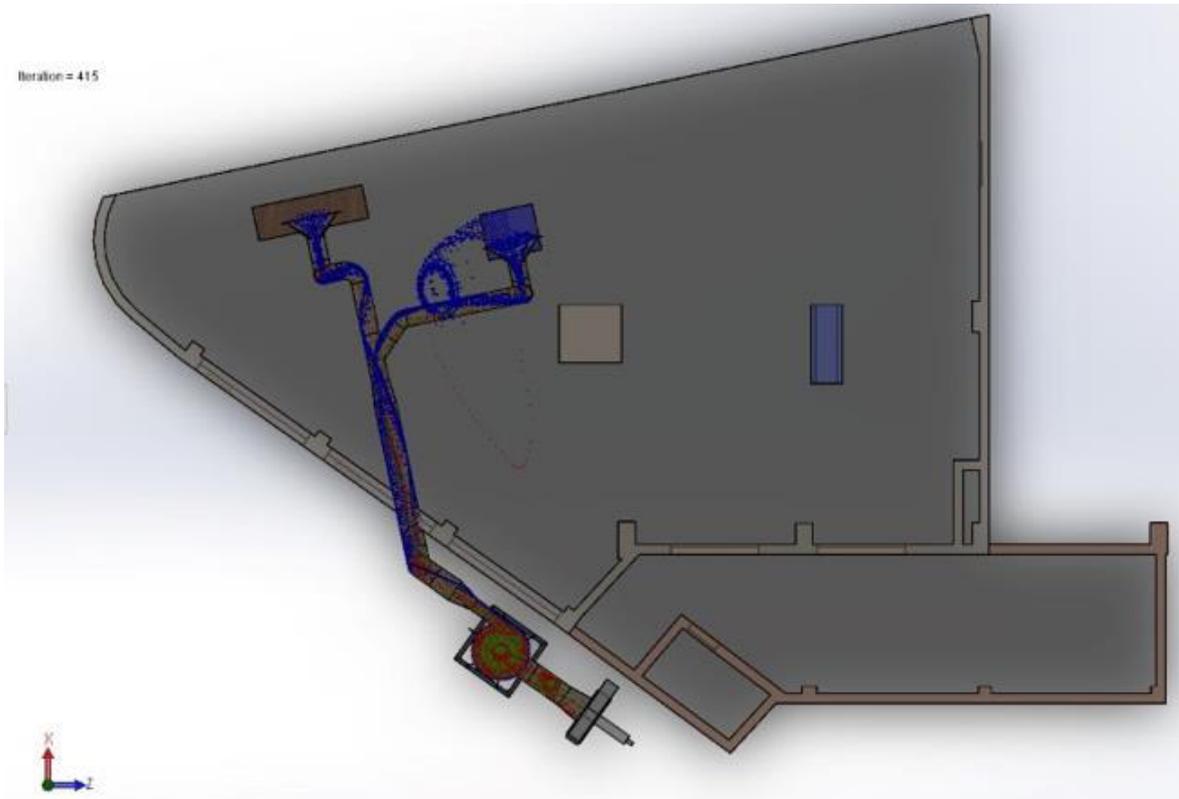
**Figura 3.18.** Variación de la presión en función de la longitud para el tramo final EF

La Figura 3.19 muestra cómo se realiza la extracción de las partículas, la diferencia de colores se da por el diámetro de las partículas que fueron extraídas. Las partículas más grandes son las de color azul y tiene un diámetro de 100 micras, se pudo evidenciar que en la cortadora algunas de estas partículas no son extraídas. Estas partículas corresponden a las que son expulsadas por debajo de la mesa de la sierra y que debido a la gran velocidad con las que son expulsadas no logran ser captadas por las campanas y se depositan en el piso de la carpintería. Las partículas de la mesa de lijado, por su parte fueron extraídas con mayor facilidad.



**Figura 3.19.** Extracción del polvo de madera mediante el sistema diseñado

La Figura 3.20 muestra la vista superior de la extracción de las partículas de polvo de madera, se evidenció que las partículas más pesadas es decir las de 100 micras son depositadas en el recipiente colector del ciclón, mientras que las que tiene diámetros menores debido a su diámetro no logran ser separadas del ciclón, pero si son extraídas de los puestos de trabajo.



**Figura 3.20.** Vista superior de la extracción del polvo de madera mediante el sistema diseñado

En la simulación se determinó que la eficiencia de la extracción del sistema es del 84,95 %, como se mencionó anteriormente existen partículas que por su ubicación y tamaño no pudieron ser extraídas, lo cual generó este valor de eficiencia. Para el ciclón se obtuvo una eficiencia del 58,09 %, esta eficiencia no es buena y se debe a que las partículas con diámetros menores a 100 micras no logran ser separadas en el ciclón, con lo que se logra eficiencias bajas (Echeverri, 2006, p. 125). Los resultados para realizar este análisis se encuentran en el Anexo IX.

### 3.5.1.3. Ventilación por dilución

La ventilación por dilución o general es adaptable a contaminantes de toxicidad baja, y no es recomendada cuando existe material particulado. Esta medida por lo tanto se considera como medida complementaria para este caso (Centro Tecnológico del Mármol y la Piedra, 2010, p. 91).

La ventilación por dilución pretende disminuir la concentración del contaminante en el lugar de trabajo. Este sistema sin embargo resulta práctico cuando los contaminantes no son muy tóxicos. El volumen de aire suficiente para la dilución de los contaminantes se encuentra mediante la Ecuación 3.15 (Cortés Díaz, 2012, p. 435).

$$Q_D = 1000 \times \frac{P_C \times K}{VLA} \quad [3.15]$$

Donde:

$Q_D$ : caudal necesario para diluir el contaminante ( $m^3/h$ )

$P_C$ : peso del contaminante (g/h)

$K$ : coeficiente de seguridad

$VLA$ : valor límite ambiental de exposición ambiental ( $mg/m^3$ )

El coeficiente de seguridad se encontró mediante la Figura 3.21.

COEFICIENTE DE SEGURIDAD			
Peligrosidad del contaminante	$K_1$	Distancia al foco	$K_2$
TLV $\geq$ 500 ppm	Irregular	Cerca de la ventilación	1
TLV de 100 a 500 ppm	2	Mediana de la ventilación	2
TLV $\leq$ 100 ppm	3	Lejos de la ventilación	3
Evolución del contaminante	$K_3$	Efectividad	$K_4$
Regular	1	Buena	1
Irregular	2	Mediana	2

**Figura 3.21.** Coeficientes de seguridad para cálculo de caudal necesario de dilución (Cortés Díaz, 2012, p. 436)

Con los parámetros actuales el valor del coeficiente de seguridad  $K_1$  es 3,  $K_2$  es 3,  $K_3$  es 2 y  $K_4$  es 2. Por lo tanto, el coeficiente de seguridad para este caso es de 10. En promedio el peso de contaminante que se tiene es de 247,93 g/h. El caudal necesario entonces es:

$$Q_D = 495860 \text{ m}^3/\text{h}$$

Se consideró que el contaminante (polvo de madera) es tóxico y este tipo de ventilación no es tan eficiente ni adecuada con este tipo de contaminantes (Cortés Díaz, 2012, p. 435).

### **3.5.2. MEDIDAS DE CONTROL EN EL RECEPTOR**

El equipo de protección personal o individual protege al trabajador de agresiones externas sean estas de tipo físico, químico o biológico. El equipo de protección individual (EPI) intenta impedir que los contaminantes penetren el organismo de una persona a través de las diferentes vías: respiratoria, digestiva, absorción vía mucosa, conjuntiva, cutánea y parenteral (Falagán, 2008, p. 621).

#### **3.5.2.1. Equipo de protección individual para la vía respiratoria**

El equipo de protección impidió que el contaminante penetre el organismo a través de la vía respiratoria. Las mascarillas filtrantes ofrecen protección para partículas, y aerosoles sólidos y líquidos, bajo la norma EN-149 (MarcaPL, 2018, p. 1).

El factor de protección mínimo necesario "FPMN" es la relación entre la concentración del área de respiración y la concentración interna permitida, como muestra la Ecuación 3.16. La concentración externa se basa en mediciones reales, mientras que la concentración interna permitida se basa en los límites de exposición de una sustancia en particular (Dzuba y Ettema, 2012, p. 15).

$$\text{FPMN} = \frac{\text{CE}}{\text{CI}}$$

[3.16]

La concentración más alta que fue medida en la carpintería es de 22,64 mg/m<sup>3</sup>, además el VLA-ED para la madera es 5 mg/m<sup>3</sup>. El factor de protección mínimo necesario por lo tanto se calculó mediante la Ecuación 3.16 y generó el siguiente resultado:

$$\text{FPMN} = 4,52$$

La semimáscara que se seleccionó es la semimáscara 3M serie 7500, junto con filtros para partículas. Estas semimáscaras se pueden utilizar para factores de protección mínimo menores que 10. El filtro que se sugiere es el 3M 2091 Niosh P100, ya que es un filtro usado para partículas. La Figura 3.22 muestra la semimáscara 3M serie 7500 (3M Argentina SACIFIA, 2007, pp. 2-4).



**Figura 3.22.** Semimáscara 3M serie 7500  
(3M Argentina SACIFIA, 2007, p. 1).

### 3.5.2.2. Equipo de protección individual para la vía conjuntiva

Las gafas de protección que se seleccionó son las que poseen el tipo de montura integral, ya que son aptas para las operaciones realizadas en la carpintería, además permiten proteger al trabajador frente a ciertos factores de riesgos como proyección de partículas y exposición a partículas de polvo (MarcaPL, 2017, p. 1).

La clase óptica que se seleccionó para el protector ocular fue la 5, ya que brinda protección frente a partículas de polvo fino y gases. Como requisito opcional se tomó en cuenta la resistencia a la abrasión ocular, por lo que el protector tiene que ser el tipo K (García, 2017, p. 15).

### **3.5.3. MEDIDAS ADMINISTRATIVAS**

#### **3.5.3.1. Señalización**

Con el objetivo de concientizar y advertir a los trabajadores de la existencia de peligros, la señalización se consideró como una medida administrativa. La señalización que se propone en este caso es la referente al uso del EPI mientras se desarrollan las actividades en el taller de la carpintería. En el Anexo X se propone las señales de seguridad correspondientes al lugar de trabajo.

#### ***3.5.3.2. Limpieza de la carpintería***

Las mediciones de la concentración del material particulado con el equipo de muestreo personal, permitió verificar que una de las actividades donde existe mayor exposición al polvo de madera es en la limpieza que se realiza en el taller. Los equipos con los que se realizó la limpieza están conformados por un soplete de aire y los ventiladores de extracción, lo cual generó mucha contaminación de polvo de madera.

La aspiración para la limpieza es el mecanismo más adecuado, esto se lo realiza mediante bocas de aspiración, la Figura 3.23 muestra una boca de aspiración. La frecuencia de las tareas de limpieza tiene que ser al menos una vez al día con el fin de evitar la acumulación del polvo de madera (Del Castillo et al., 2010, pp. 50, 51).



**Figura 3.23.** Boca de aspiración para la limpieza de la carpintería  
(Del Castillo, Pinto, Cubero y Medina, 2010, pp. 50-51)

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. CONCLUSIONES

1. En la carpintería se encontraron factores de riesgo determinados por las condiciones de trabajo como el uso de máquinas y herramientas, factores físicos como ruido y vibraciones, factores derivados de la carga de trabajo tanto físico como mental, también se observó la presencia de agentes químicos como el polvo de madera el cual estaba presente en todas las operaciones realizadas en el taller de la carpintería.
2. El análisis de los factores del riesgo de inhalación de polvo de madera en la Carpintería de la Escuela Politécnica Nacional, permitió colegir que el sistema de extracción actual tiene muchas deficiencias, además las operaciones de canteado, corte, lijado son las que producen polvo de madera por el uso de las máquinas y la frecuencia de su manejo.
3. La estimación de la exposición con ayuda de las mediciones puntuales y la información disponible, determinó que las áreas de corte y lijado fueron las que generaron una mayor cantidad de polvo de madera con concentraciones promedio de  $1,84 \text{ mg/m}^3$  y  $1,36 \text{ mg/m}^3$ , respectivamente, mientras que en el área de canteado se determinó una concentración promedio de  $0,34 \text{ mg/m}^3$ .
4. Las mediciones puntuales permitieron observar que las áreas donde existieron concentraciones próximas o que sobrepasaron al valor límite ambiental VLA-ED fueron las de corte y lijado, mientras que en el área de canteado los valores fueron menores al 10 % del valor límite.
5. Las mediciones realizadas para determinar la exposición diaria con el equipo de muestreo personal y la posterior comparación con el VLA-ED, permitió establecer que existe “no conformidad con el VLA-ED”, así mismo, el promedio

de los índices de exposición de las mediciones consideradas fue de 1,41, lo que permitió concluir que el nivel de riesgo es alto.

6. La limpieza de la carpintería es una actividad que generó una gran cantidad de polvo de madera, con una exposición diaria de  $22,64 \text{ mg/m}^3$  y con un índice de exposición de 4,52.
7. Las medidas de control fueron propuestas para el medio y el receptor, en el medio se diseñó y simuló un sistema de extracción que permita reducir la cantidad de polvo de madera con una buena eficiencia y con parámetros adecuados para las condiciones de trabajo, en el receptor se propone el uso de EPI como la semimáscara 3M serie 7500 para la vía respiratoria y para la vía conjuntiva, gafas tipo K.
8. La simulación del diseño del sistema de extracción permitió validar su correcto funcionamiento y la buena aproximación entre los cálculos obtenidos de manera teórica respecto a las velocidades y presiones.
9. La eficiencia del sistema de extracción fue del 84,95 % lo cual permitió reducir de forma notable la cantidad de polvo de madera, la eficiencia del ciclón por su parte fue del 58,09 % debido a que las partículas más pequeñas no son separadas en el ciclón.

## 4.2. RECOMENDACIONES

1. Mejorar el procedimiento con el cual se realiza la limpieza de la carpintería, mediante mecanismos más adecuados como el uso de bocas de aspiración y la ejecución de esta tarea con mayor frecuencia.
2. Implementar un sistema de extracción de polvo de madera que permita reducir la cantidad de este agente químico generado, en las operaciones que implican el uso de la sierra y la mesa de lijado.
3. Renovar periódicamente los equipos de protección de vía respiratoria y conjuntiva.
4. Realizar pausas activas para disminuir el tiempo de exposición con ayuda de ejercicios que permitan reducir la fatiga laboral y trastornos músculo esqueléticos.
5. Establecer un programa de vigilancia de la salud, donde se realice exámenes médicos periódicos referentes a enfermedades pulmonares, enfermedades oculares y trastornos músculo-esqueléticos.
6. Medir periódicamente la concentración de polvo de madera existente en la Carpintería de la Escuela Politécnica Nacional, con el fin de analizar si existen cambios en la concentración del polvo de madera.
7. Diseñar mecanismos alternativos que permitan separar las partículas de diámetros pequeños que no son separadas por un ciclón convencional.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. 3M Argentina SACIFIA (2007) Semimáscara 3M serie 7500. Buenos Aires.
2. 3M División de Salud Ocupacional y Seguridad Ambiental (2012) Medición de concentración simultánea. Canadá.
3. ACGIH (2010) *Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice for Design*. Cincinnati, USA.
4. Asociación Española de Normalización (2019) *Norma Española UNE-EN 689:2019+AC*. UNE, Madrid, España.
5. Beatriz Del Castillo, M. P. (2010) *Guía de buenas prácticas higiénicas en la industria de la madera y el mueble*. España.
6. Bruschweiler, E., Danuser, B., Khanh, C., Wild, P., Schpfer, P., Vernez, D. y Hopf, N. (2012) Generation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) during woodworking operations. Suiza.
7. Casals fans of innovation (2019) Catálogo técnico. Ventiladores industriales. Girona, España.
8. Castejón, E. (2006) *Extracción localizada*. UOC, Barcelona, España.
9. Centro Tecnológico del Mármol y la Piedra. (2010) *El polvo de la madera: Riesgo laboral y su prevención*. Madrid, España.
10. CITEmadera (2008) *Mejora de procesos de carpintería en madera*. Lima, Perú.

11. Cortés Díaz, J. (2012) *Seguridad e higiene del trabajo:técnicas de prevención de riesgos laborales*. Sevilla, España.
12. Del Castillo, B., Pinto, M., Cubero, S., y Medina, F. (2010) *Guías de buenas prácticas higiénicas en la industria de la madera y mueble*. Valenciana, España.
13. Dzuba, E. y Ettema, M. (2012) *Factores de protección para la selección de equipos de protección respiratoria*. Drager, Lübeck, Alemania.
14. Echeverri, C. (2006) *Diseño óptimo de ciclones*. Medellín, Colombia.
15. Falagán, M. J. (2008) *Higiene Industrial Tomo I Contaminantes Químicos y Biológicos*. Oviedo, España.
16. Fundación Laboral de la Construcción (2019) *Guía de medición de polvo y medidas preventivas en la construcción*. España.
17. García, M. d. (2017) *Protección ocular*. INSHT, Sevilla, España.
18. Goberna, R. (1992) *Ventilación industrial*. Valencia, España.
19. INEN (1984) NTE INEN 439: 1984 Señales y símbolos de seguridad. Quito, Ecuador.
20. INSHT (1997) *Guía técnica para la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual*. Madrid, España.
21. INSHT (2000) *Evaluación de las condiciones de trabajo en pequeñas y medianas empresas*. Barcelona, España.

22. INSHT (2001) *Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los agentes químicos presentes en los lugares de trabajo*. Madrid, España.
23. INSHT (2008) *NTP 808. Exposición laboral a agentes químicos: requisitos de los procedimientos de medición*. España.
24. INSHT (2011a) *Polvo de madera: un peligro para la salud*. Ministerio de Trabajo e Inmigración. España.
25. INSHT (2011b) *Sistemática para la Evaluación Higiénica*. Ministerio de Trabajo e Inmigración, Madrid, España.
26. INSST (2010) *Riesgo químico: sistemática para la evaluación higiénica*. Madrid.
27. INSST (2019) *Límites de exposición profesional para agentes químicos en España 2019*. Madrid, España.
28. MarcaPL (2017) *Protectores oculares y faciales – Clasificación y normativa*. España. Recuperado de: <https://marcapl.com/blog/category/proteccion-ocular/> (Julio 2021)
29. MarcaPL (2018) *Mascarillas auto-filtrantes y desechables*. España. Recuperado de: <https://marcapl.com/blog/2018/05/mascarillas-autofiltrantes/> (Julio 2021)
30. Márquez, A., y Ulloa, J. (2018) *Diseño de un sistema de extracción de polvo y viruta de madera para la carpintería de la fundación Salesiana "PACES"*. Trabajo de titulación previo a la obtención de Título de Ingeniería Mecánica. UPS, Cuenca, Ecuador.

31. Medina, M. (2015) Propuesta de Gestión de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional para Control del Riesgo Químico en la Fracción Inhalable por Exposición a Polvo de Madera (Agente Cancerígeno) aplicado a un Aserradero Tipo Pymes, para sugerir su Implementación. Trabajo de Titulación presentado como requisito para la obtención del título de Magíster en Seguridad, Salud y Ambiente. USFQ, Quito, Ecuador.
32. Ministerio del Ambiente del Ecuador (2015) Acuerdo Ministerial 097. Quito, Ecuador.
33. Minitab (2019) Soporte de Minitab. Recuperado de: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/graphs/how-to/probability-plot/interpret-the-results/key-results/> (Julio 2021)
34. NIOSH (1994) Centers for disease control and prevention. Recuperado de: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/0500.pdf> (Junio 2021)
35. OISS (2019) *Recomendaciones sobre productos químicos: Maderas (Polvo)*. España.
36. OIT (2012) *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*. Madrid, España.
37. Pazmiño, P. (2015) Concentración de partículas solubles e insolubles en el área de producción de la empresa MADECA y su incidencia en el cumplimiento legal de exposición del contaminante. Trabajo estructurado de manera independiente previo a la obtención de título de Ingeniero Mecánico. UTA, Ambato, Ecuador.
38. Pérez, G. (2008) *Ventilación por extracción localizada*. ISSL, Murcia, España.
39. Prado, C. (2008) *Toma de muestras personales de la fracción inhalable de materia particulada*. ISSL, Murcia, España.

40. Ruiz, I. (2016) *Polvo: Prevención de riesgos y control en el ambiente de trabajo*. España.
41. Sobachkin, A., Dumnov, G. y Sobachkin, A. (2014) *Numerical Basis of CAD-Embedded CFD*. Austria.
42. Solórzano, O. (2014) *Manual de conceptos de riesgos y factores de riesgo para análisis de peligrosidad*. Costa Rica.
43. Tamborero, J., y Cejalvo, A. (2004) *NTP 418 Fiabilidad: la distribución lognormal*. España.

## **ANEXOS**

## ANEXO I

## DATOS OBTENIDOS EN EL CUESTIONARIO VENTILACIÓN Y CLIMATIZACIÓN

**Tabla AI.1.** Aplicación del cuestionario de ventilación y climatización

Nº	Pregunta	SI	NO
1	Se utilizan sustancias químicas tóxicas o nocivas, o existen focos de generación de contaminantes (polvo, humo, nieblas, gases o vapores).	X	
2	Se han instalado extracciones localizadas en las zonas o puntos donde se puede producir la generación y dispersión de contaminantes ambientales.	X	
3	Estas extracciones disponen de campanas de captación de forma y tamaño adecuados a las características de los focos de generación.		X
4	Se han adoptado precauciones para evitar corrientes de aire transversales que puedan afectar a los sistemas de extracción localizada.		X
5	Se comprueba periódicamente el funcionamiento de los sistemas de extracción localizada.		X
6	El caudal del sistema de extracción localizada es suficiente para capturar los contaminantes.		X
7	Se lleva a cabo una limpieza y un mantenimiento periódicos de los elementos de la instalación de extracción localizada.		X
8	Se comprueba por inspección visual la integridad física de los elementos del sistema.		X
9	Se miden periódicamente las emisiones atmosféricas de los sistemas de extracción localizada para verificar el cumplimiento de lo legislado.		X
10	Los sistemas de extracción tiene depuradores o filtros.		X
11	Se realiza una adecuada gestión de los residuos recogidos y/o generados en la limpieza y mantenimiento de los elementos de depuración.		X
12	Se dispone de un sistema de ventilación general (natural o forzada) de los locales de trabajo.	X	
13	En todos los locales hay suministro de aire limpio y extracción de aire viciado.		X
14	Se ha comprobado, mediante medición, que el sistema proporciona los caudales de aire exterior mínimos exigidos.		X
15	Es posible regular el sistema de modo que en todo momento (para toda actividad y/o nivel de ocupación) proporcione la ventilación necesaria.		X
16	El número de elementos para el suministro y extracción de aire, así como su distribución, permiten asegurar la eficacia del sistema de ventilación.		X
17	Las tomas de aire exterior se encuentran suficientemente alejadas de los puntos de descarga del aire contaminado.	X	
18	Se dispone de sistemas (independientes o integrados en el sistema de ventilación) para la climatización de los locales.		X
19	El programa de mantenimiento de la instalación incluye las operaciones de limpieza del equipo y sustitución de filtros.		X
20	Se realiza, si existen, el mantenimiento preventivo de instalaciones tales como los humidificadores o las torres de refrigeración.		X



## ANEXO III

## DATOS OBTENIDOS EN EL CUESTIONARIO VENTILACIÓN Y CLIMATIZACIÓN

**Tabla AIII.1.** Aplicación del cuestionario de carga física

Nº	Pregunta	SI	NO
1	El trabajo permite combinar la posición de pie-sentado.		X
2	Se mantiene la columna en posición recta		X
3	Se mantienen los brazos por debajo del nivel de los hombros.	X	
4	La tarea exige desplazamientos.	X	
5	Los desplazamientos ocupan un tiempo inferior al 25% de la jornada laboral.	X	
6	Se realizan desplazamientos con cargas inferiores a 2 kg.		X
7	El trabajo exige realizar un esfuerzo muscular.	X	
8	Para realizar las tareas se utiliza solo la fuerza de las manos.	X	
9	Los ciclos de trabajo son superiores a medio minuto.	X	
10	Si se manipulan cargas éstas son inferiores a 3 kilos.		X
11	Los pesos que deben manipularse son inferiores a 25 kg.	X	
12	La forma y volumen de la carga permiten asirla con facilidad.	X	
13	El peso y el tamaño de la carga permite asirla con facilidad.		X
14	El entorno se adapta al tipo de esfuerzo que debe realizarse.	X	
15	Se ha formado al personal sobre la correcta manipulación de cargas.	X	
16	Se controla que se manejen las cargas de forma correcta.	X	

**Tabla AIII.2.** Aplicación del cuestionario de carga mental

Nº	Pregunta	SI	NO
1	El nivel de atención requerido para la ejecución de la tarea es elevado.	X	
2	Debe mantenerse la atención menos de la mitad del tiempo o solo de forma parcial.		X
3	Además de las pausas reglamentarias, el trabajo permite alguna pausa.	X	
4	Se puede cometer algún error sin que incida de forma crítica sobre instalaciones o personas (paros, rechazos de producción, accidentes, etc.).		X
5	El ritmo de trabajo viene determinado por causas externas (cadena, público, etc.).	X	
6	El ritmo de trabajo es fácilmente alcanzable por un trabajador con experiencia.	X	
7	El trabajo se basa en el tratamiento de información (procesos automatizados, informática, etc.).		X
8	La información se percibe correctamente.	X	
9	Se entiende con facilidad.	X	
10	La cantidad de información que se recibe es razonable. Se cuenta con la información necesaria para el desempeño de las tareas.	X	
11	La información es sencilla, se evita la memorización excesiva de datos.	X	
12	El diseño de los mandos o paneles es adecuado a la acción requerida.	X	
13	El trabajador tiene experiencia o conoce el proceso y los equipos.	X	
14	El trabajo suele realizarse sin interrupciones.	X	

## ANEXO IV

## MEDICIONES DE LA CONCENTRACIÓN DE POLVO DE MADERA EN LA CARPINTERÍA

1. Datos Generales	
Código de reporte:	OS2142-P02-01
Fechas de monitoreo:	30 de julio de 2021 03 de agosto de 2021 06 de agosto de 2021
Empresa/Cliente:	Ing. Mario Chilla Prieto
Locación/instalación:	Carpintería Politécnica Nacional
Puesto de trabajo:	Carpintero y Ayudante Carpintero
2. Procedimiento de ensayo y equipos utilizados	
Procedimiento de ensayo:	PARTICULADO FRACCIÓN TOTAL, NIOSH 0500; Partículas no clasificadas de otra manera (PNOS)., Particulado Total. Método Gravimétrico.
Equipo(s) utilizado(s)/tipo:	Bomba Gilian BDxII, Mantiene el flujo constante hasta ± 5 % S/N 20180902022; Código Interno: EM-RQ-09-00 S/N 20180902068; Código Interno: EM-RQ-10-00
Verificador(es) de flujo utilizado(s):	Defender 520-M S/N 129080; Código Interno: P-RQ-01-00 Certificado de calibración: # INNP-2019-976
Equipo(s) utilizado para pesaje:	Balanza semianalítica BOECO BBX-22 S/N 373508/13, Código Interno: EM-RQ-03-00 Certificado de calibración: : BAL-JT-033.1-2020 CONSULTSSAC (D)
Tipo de selector de partículas:	No Aplica
Tipo de filtro colector de partículas:	Filtro de tres cuerpos PVC , poro 5µm, 37 mm, pre pesado
Criterio de evaluación:	OTRO: VLA-ED Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España, Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Social 2019 Ver valores límites de exposición en numeral 8
Comentarios adicionales:	Tipo de infraestructura: Cerrada sin influencia de viento

### 3. Criterio de evaluación

CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTE EVALUADO:

$$C_i = \frac{M_i}{V}$$

Donde:

$C_i$  = Concentración de contaminante ( $mg/m^3$ )

$M_i$  = Cantidad de contaminante reportado de exposición medida en el tiempo  $T_i$  ( $mg$ )

$V$  = Volumen de muestreo ( $m^3$ )

ÍNDICE DE EXPOSICIÓN

$$I_{exp} = \frac{C_i}{VLR}; \quad Dosis = \frac{C_i}{VLR} * 100$$

Donde:

$C_i$  = Concentración de contaminante ( $mg/m^3$ )

VLR= Concentración estándar de referencia al contaminante

Nivel de riesgo <sup>1</sup>		
Índice de exposición	Nivel de riesgo	Exposición
D < al 10 %	Riesgo Bajo	Exposición mínima
10 % < D < 50 %		Exposición baja
50 % < D < 100 %	Riesgo Medio, nivel de acción	Exposición moderada o alta
D ≥ 100 %	Riesgo Alto, nivel de control	Exposición muy alta

<sup>1</sup> GTC 45: Guía para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional; Anexo D: Valoración cuantitativa de los peligros higiénicos

**Figura AIV. 1.** Datos generales de la medición y equipos usados

#### 4. Resultados de los ensayos

Criterio de evaluación (*)	VLA-ED
Fración Analizada	Total
Compuesto Analizado	Polvo de Madera
VLA-ED (mg/m <sup>3</sup> ) (*)	5

	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6
Fecha	30/7/2021	30/7/2021	3/8/2021	3/8/2021	6/8/2021	6/8/2021
Código de muestreador (filtro 3p, Sum,PVC)	557819 / 557866	557842 / 557891	1158 / 1157	0045 / 1159	0060 / 0061	0062 / 0063
Tiempo de muestreo (min)	420	420	420	420	420	420
Caudal promedio de muestreo (l/min)	2,028	2,025	2,017	2,014	2,010	2,015
Volumen Muestreado (litros)	851,90	850,43	847,28	845,67	845,67	848,30
Peso del contaminante muestreado filtro 1 (mg)	3,41	> 20,02	3,49	2,12	2,17	2,21
Peso del contaminante muestreado filtro 2 (mg)	4,72	2,00	3,01	5,35	4,47	3,32
Peso total del contaminante muestreado	8,13	> 22,01	6,50	7,47	6,64	5,53
Concentración de particulado (mg/m <sup>3</sup> )	9,54	25,88	7,67	8,83	7,85	6,53
Índice de exposición a Polvo (**)	1,91	5,18	1,53	1,77	1,57	1,31
Dosis de exposición a Polvo (%)	191%	518%	153%	177%	157%	131%
Nivel de Riesgo	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto

(\*) Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España, Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Social 2019

(\*\*) Índice de exposición: veces que supera al VLA-ED

**Figura AIV. 2. Resultados de los ensayos realizados**

## ANEXO V

### EJEMPLOS DE CÁLCULOS REALIZADOS PARA EL DISEÑO DE LAS CAMPANAS DE SUCCIÓN

Ejemplo de cálculo del área de la boca de la campana:

$$A=W \times L$$

Donde:

A: área de la boca de la campana (m<sup>2</sup>)

W: ancho de la boca de la campana (m)

L: Largo de la boca de la campana (m)

$$A=1,05 \text{ m} \times 1,05 \text{ m}=1,10 \text{ m}^2$$

Ejemplo de cálculo del caudal de extracción:

$$Q=0,75v_c(10X^2+A)$$

Donde:

Q: caudal de extracción (m<sup>3</sup>/s)

v<sub>c</sub>: velocidad de captación (m/s)

X: distancia entre el contaminante y la boca de la campana (m)

A: área de la boca de la campana (m<sup>2</sup>)

$$Q=0,75 \times \left( 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \times (10 \times (0,1\text{m})^2 + 1,10 \text{ m}^2) = 2,25 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Ejemplo de cálculo de la superficie de la sección circular del ducto:

$$Q=S \times v_D$$

Donde:

Q: caudal de extracción (m<sup>3</sup>/s)

- S: superficie de la sección circular del ducto (m<sup>2</sup>)  
 V<sub>D</sub>: velocidad mínima del diseño del ducto (m/s)

$$2,25 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = S \times 22,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$S = 0,10 \text{ m}^2$$

Ejemplo de cálculo del diámetro del ducto:

$$S = \frac{\pi}{4} \times D^2$$

Donde:

- S: superficie de la sección circular del ducto (m<sup>2</sup>)  
 D: diámetro del ducto (m)

$$0,10 \text{ m}^2 = \frac{\pi}{4} \times D^2$$

$$D = 0,35 \text{ m}$$

Ejemplo de cálculo del largo de la campana:

$$L_C = L + 2 \times W_p$$

Donde:

- L<sub>C</sub>: largo de la campana (m)  
 L: largo de la boca de la campana (m)  
 W<sub>p</sub>: ancho de la pantalla deflectora (m)

$$L_C = 1,05 \text{ m} + 2 \times 0,1 \text{ m} = 1,25 \text{ m}$$

Ejemplo de cálculo del ancho de la campana:

$$W_C = W + 2 \times W_p$$

Donde:

- W<sub>C</sub>: ancho de la campana (m)

W: ancho de la boca de la campana (m)

$W_p$ : ancho de la pantalla deflectora (m)

$$W_c = 1,05 \text{ m} + 2 \times 0,1 \text{ m} = 1,25 \text{ m}$$

Ejemplo de cálculo de la distancia entre el ducto y borde de la campana:

$$L = 2x + D$$

Donde:

L: largo de la boca de la campana (m)

x: distancia entre el ducto y borde de la campana (m)

D: diámetro del ducto (m)

$$1,05 \text{ m} = 2x + 0,35 \text{ m}$$

$$x = 0,35 \text{ m}$$

Ejemplo de cálculo de la altura de la sección piramidal:

$$H_{SP} = x \times \tan(\alpha)$$

Donde:

$H_{SP}$ : altura de la sección piramidal (m)

x: distancia entre el ducto y borde de la campana tipo techo (m)

$\alpha$ : ángulo formado en la base de la sección piramidal ( $^\circ$ )

$$H_{SP} = 0,37 \text{ m} \times \tan(45^\circ) = 0,35 \text{ m}$$

Ejemplo de cálculo del diámetro del ciclón:

$$A_{EC} = a \times b$$

Donde:

$A_{EC}$ : área en la entrada al ciclón ( $m^2$ )

a: altura de entrada del ciclón (m)

b: ancho de entrada del ciclón (m)

$$0,17 \text{ m}^2 = (0,583 \times D_c) \times (0,208 \times D_c)$$

$$D_c = 1,19 \text{ m}$$

Ejemplo de cálculo de la pérdida de presión en el ciclón:

$$P_{CI} = \frac{1}{2} \times p \times V_i^2 \times N_H$$

Donde:

$P_{CI}$ : caída de presión en el ciclón (Pa)

p: densidad del gas portador ( $kg/m^3$ )

$V_i$ : velocidad de entrada del gas en el ciclón (m/s)

$N_H$ : número de cabezas de velocidad a la entrada del ciclón.

$$P_{CI} = \frac{1}{2} \times \left(1,2 \frac{kg}{m^3}\right) \times \left(27 \frac{m}{s}\right)^2 \times 7,76 = 3394,2 \text{ Pa}$$

Ejemplo de cálculo de la presión estática del ventilador:

$$P_{EV} = -PE_e - PD_e$$

Donde:

$P_{EV}$ : presión estática del ventilador (Pa)

$PE_e$ : presión estática acumulada (Pa)

$PD_e$ : presión dinámica a la entrada del ventilador (Pa)

$$P_{EV} = -(-5610,33 \text{ Pa}) - 515,11 \text{ Pa} = 5095,22 \text{ Pa}$$

Ejemplo de cálculo del caudal necesario para diluir el contaminante:

La masa de aserrín recogida por día es 10,4 libras. Estudios realizados muestran que el aserrín representa el 70,4 %, mientras que el material particulado el 29,6 % (Medina, 2015, p. 59). En este caso el material particulado generado en las condiciones actuales es 4,37 libras es decir 1982,2 gramos. El peso promedio generado por hora es 247,93 g/h.

$$Q_D = 1000 \times \frac{P_C \times K}{VLA}$$

Donde:

$Q_D$ : caudal necesario para diluir el contaminante ( $m^3/h$ )

$P_C$ : peso del contaminante (g/h)

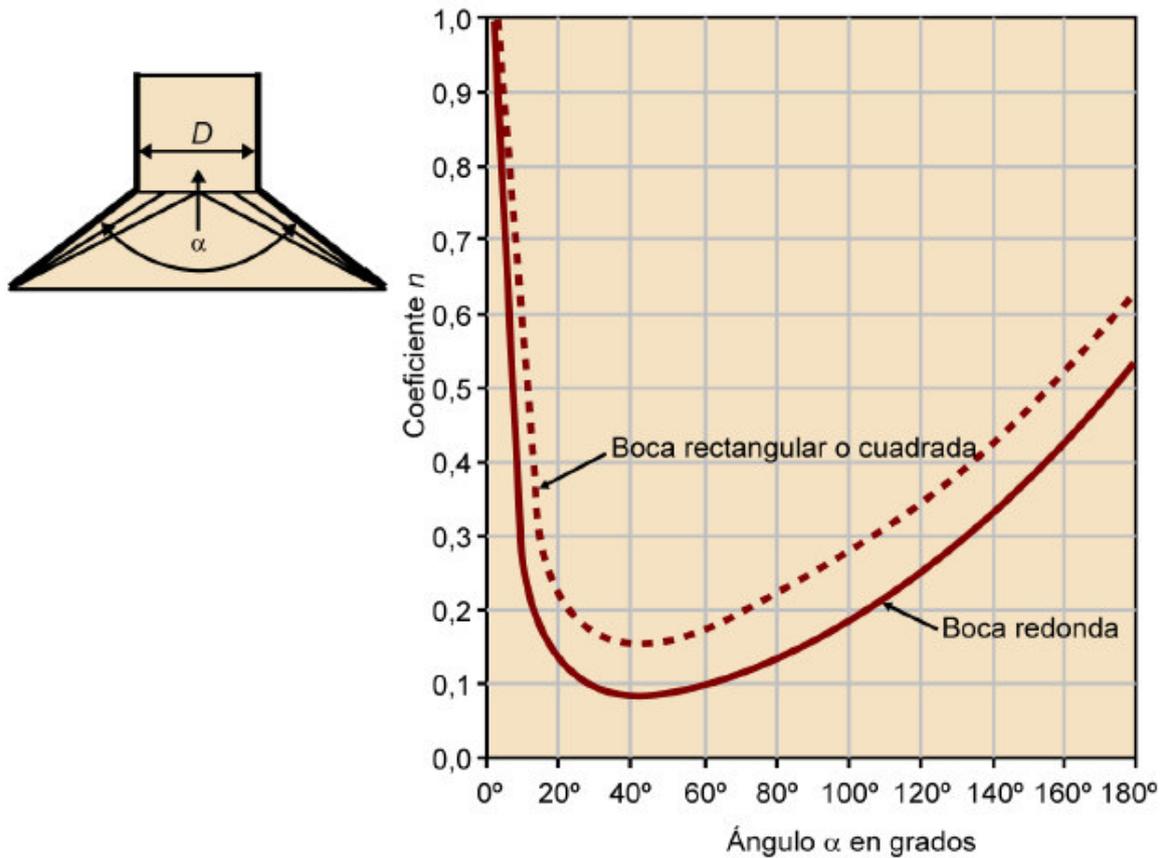
$K$ : coeficiente de seguridad

$VLA$ : valor límite de exposición ambiental ( $mg/m^3$ )

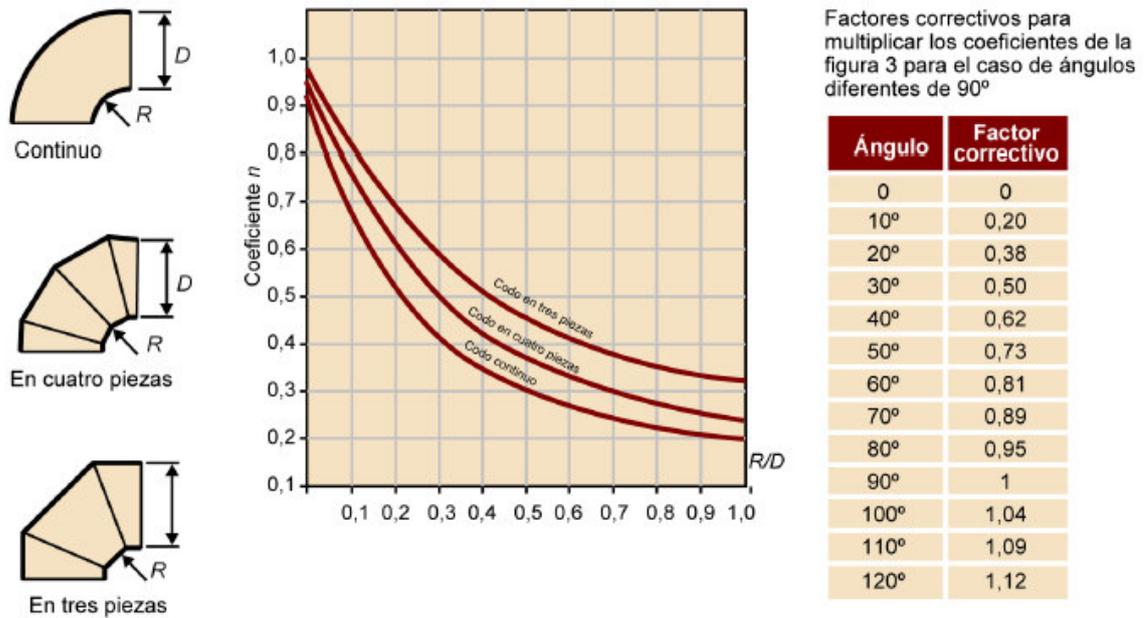
$$Q_D = 1000 \times \frac{247,93 \frac{g}{h} \times 10}{5 \frac{mg}{m^3}} = 495860 m^3/h$$

## ANEXO VI

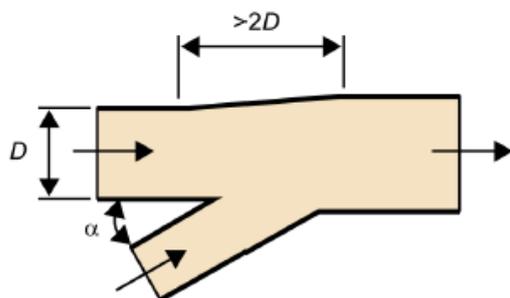
**COEFICIENTE DE PÉRDIDA DE CARGA EN PUNTOS  
SINGULARES**



**Figura AVI. 1.** Coeficientes  $n$  de pérdida de carga en la entrada a campanas de captación referidos a la velocidad del aire en  $D$   
(Castejón, 2006, p. 18)

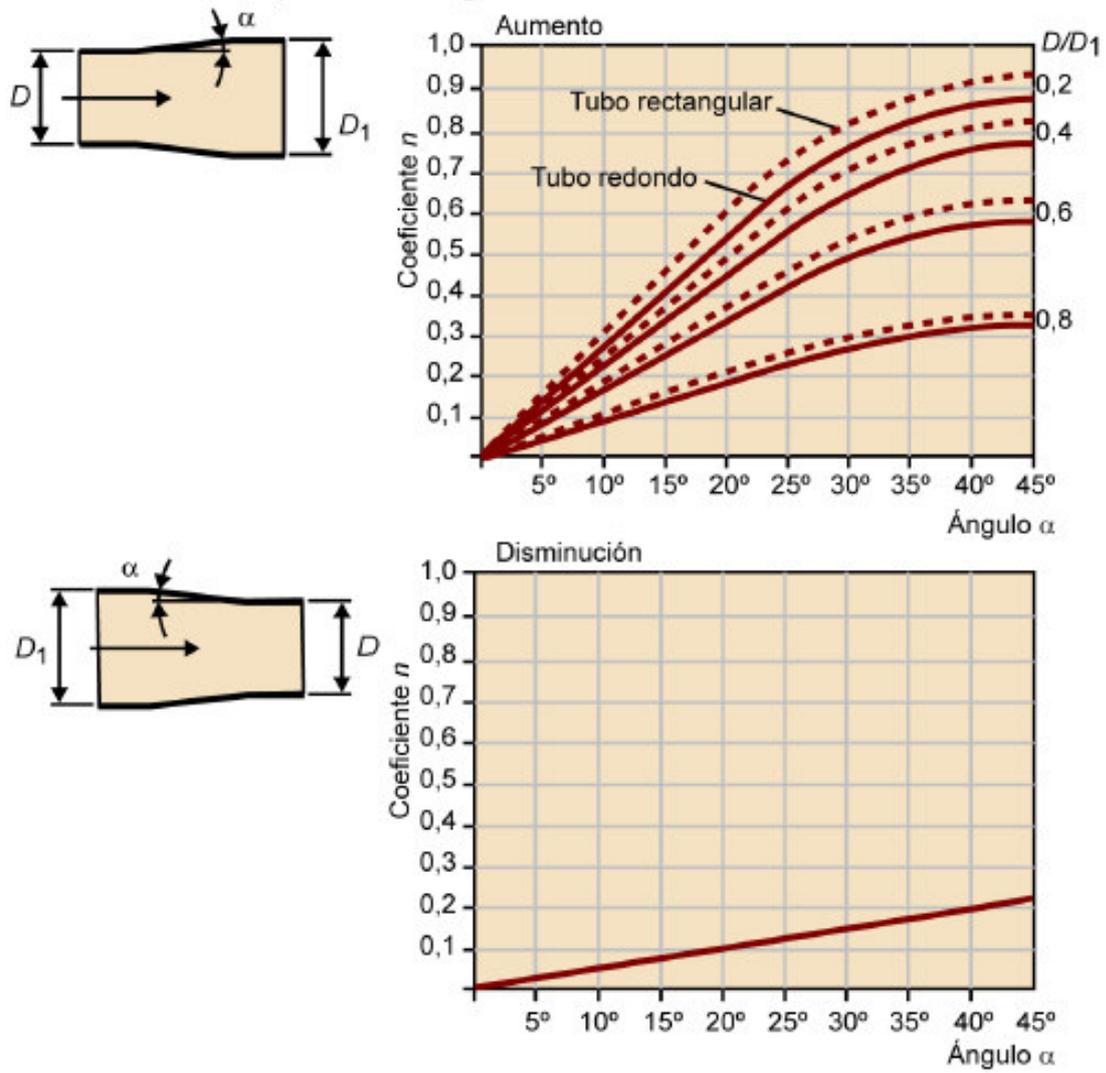


**Figura AVI. 2.** Coeficientes  $n$  de pérdida de carga de codos en ángulo recto sección circular referidos a la velocidad del aire en  $D$   
(Castejón, 2006, p. 15)



Ángulo $\alpha$	Coeficiente $n$
10°	0,06
15°	0,09
20°	0,12
25°	0,15
30°	0,18
35°	0,21
40°	0,25
45°	0,28
50°	0,32
60°	0,44
90°	1,00

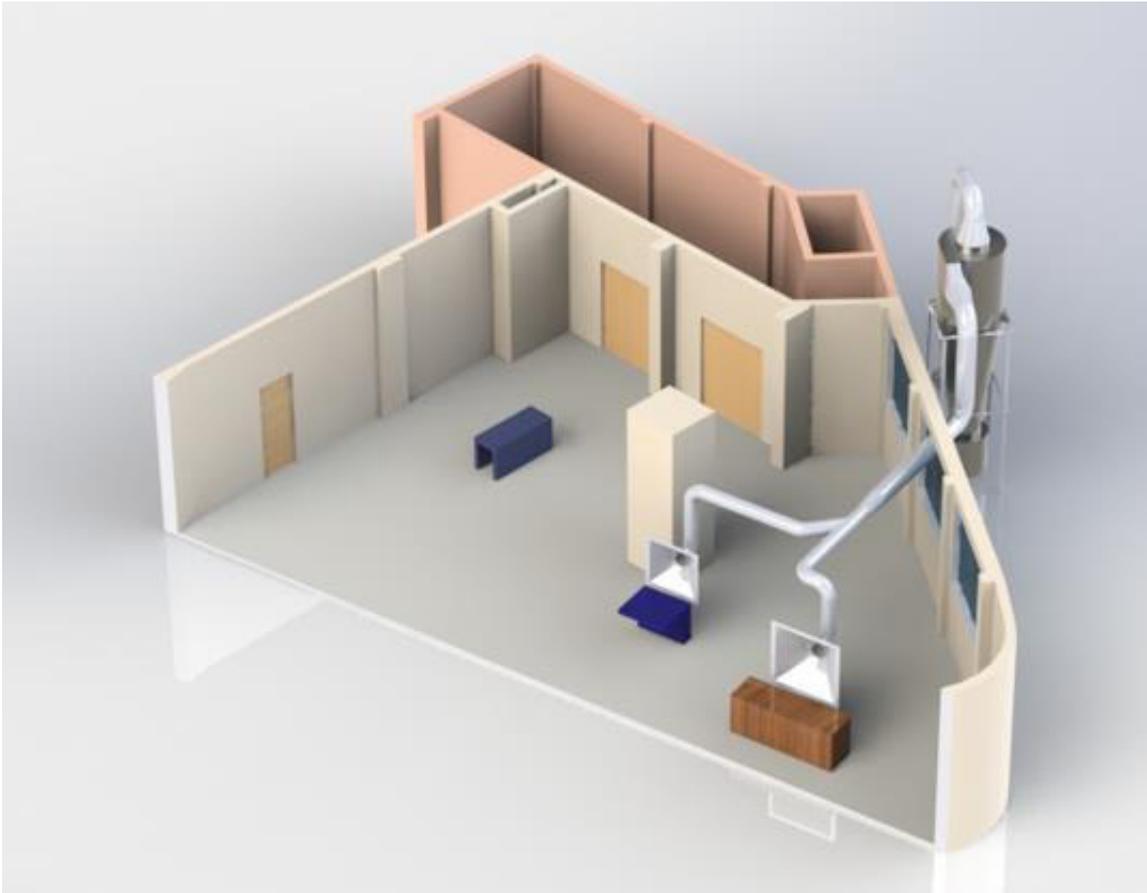
**Figura AVI. 3.** Factor de pérdida de carga en uniones.  
(Castejón, 2006, p. 16)



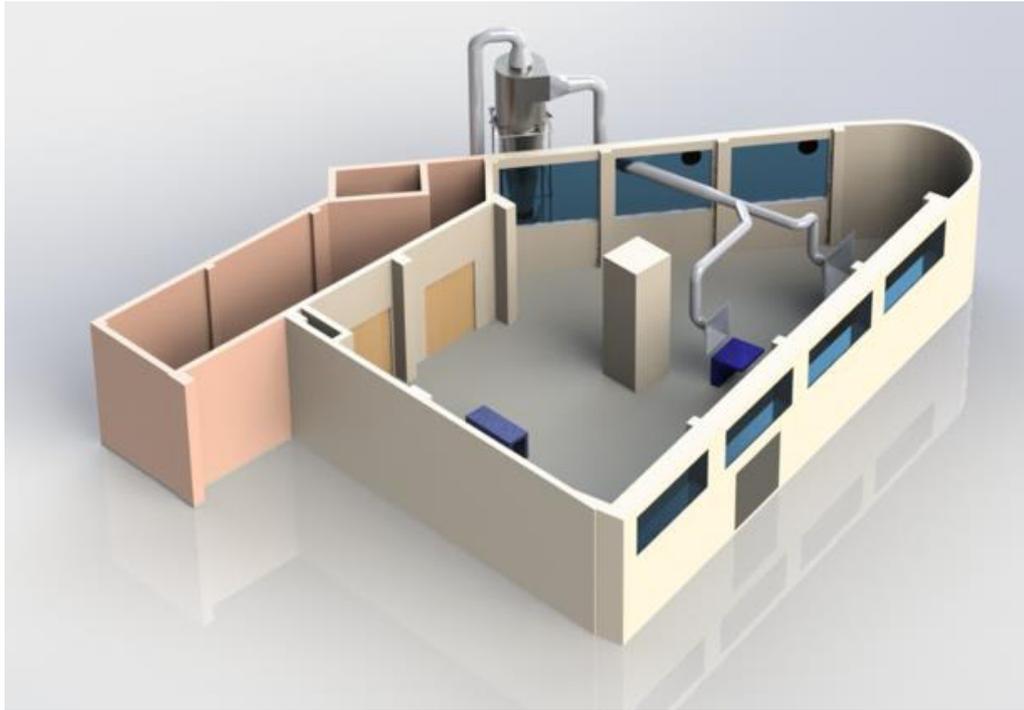
**Figura AVI. 4.** Coeficientes  $n$  de pérdida de carga en cambios graduales de sección referidos a la velocidad del aire en  $D$   
(Castejón, 2006, p. 17)

## ANEXO VII

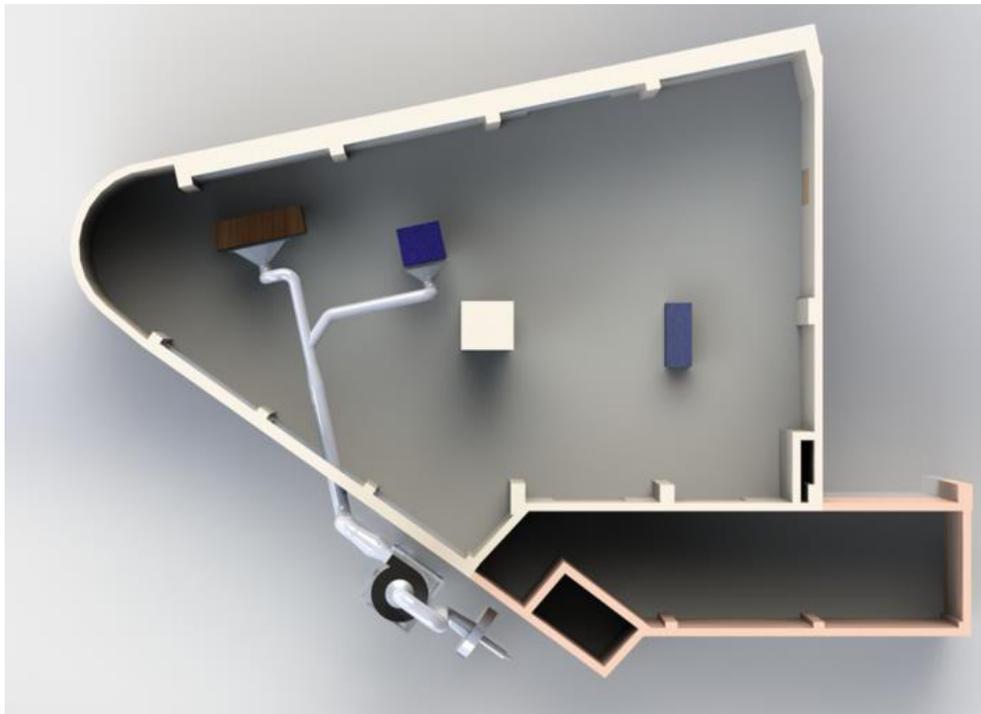
### DISPOSICIÓN DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN EN EL TALLER DE LA CARPINTERÍA



**Figura AVII. 1.** Vista frontal del sistema de extracción en el taller de la carpintería



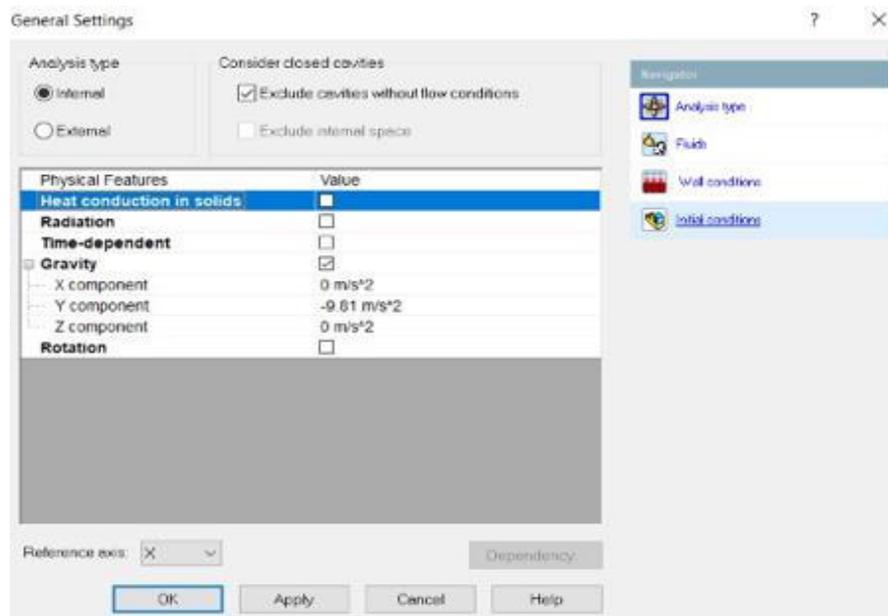
**Figura AVII. 2.** Vista lateral del sistema de extracción en el taller de la carpintería



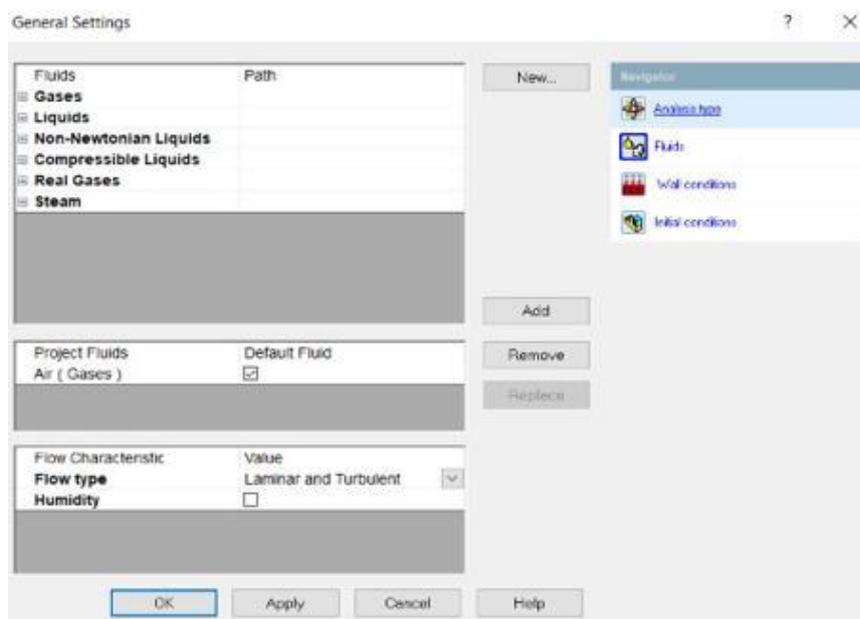
**Figura AVII. 3.** Vista superior del sistema de extracción en el taller de la carpintería

## ANEXO VIII

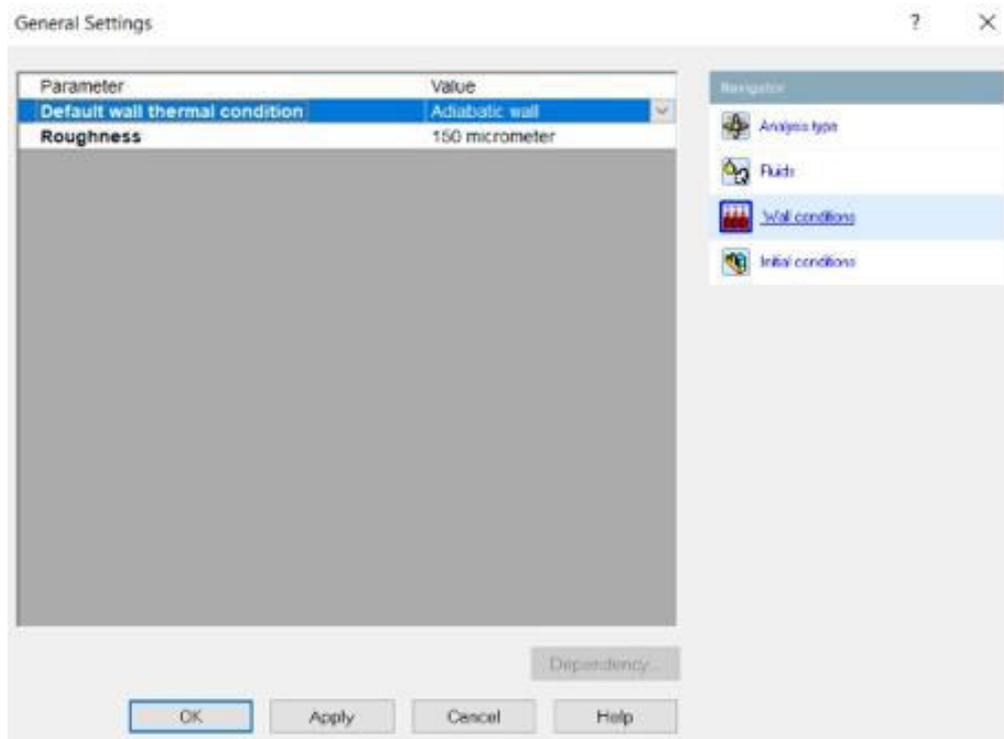
## CONDICIONES DE LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE LA CARPINTERÍA



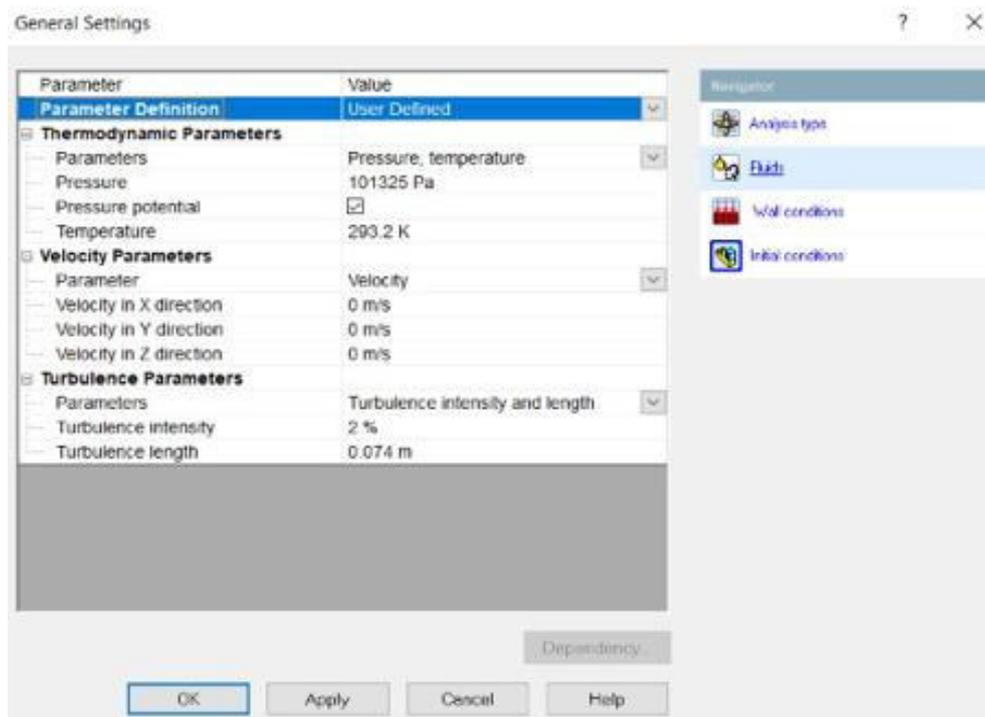
**Figura AVIII. 1.** Tipo de análisis realizado en la simulación del sistema de extracción diseñado



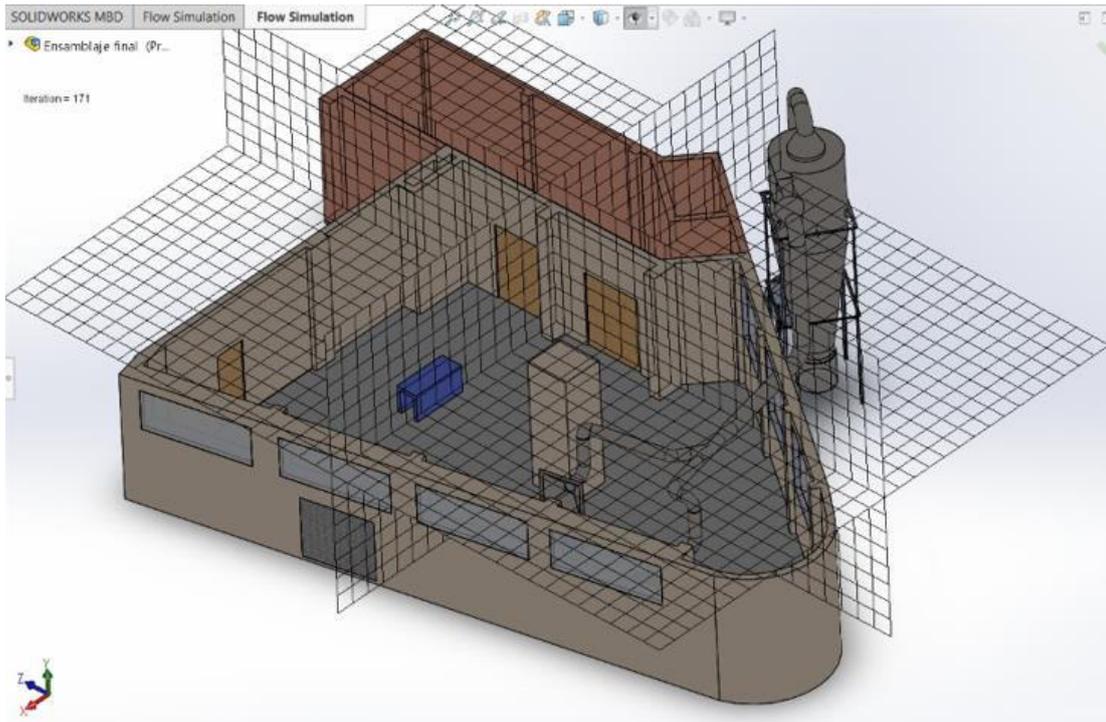
**Figura AVIII. 2.** Propiedades del fluido en la simulación del sistema de extracción diseñado



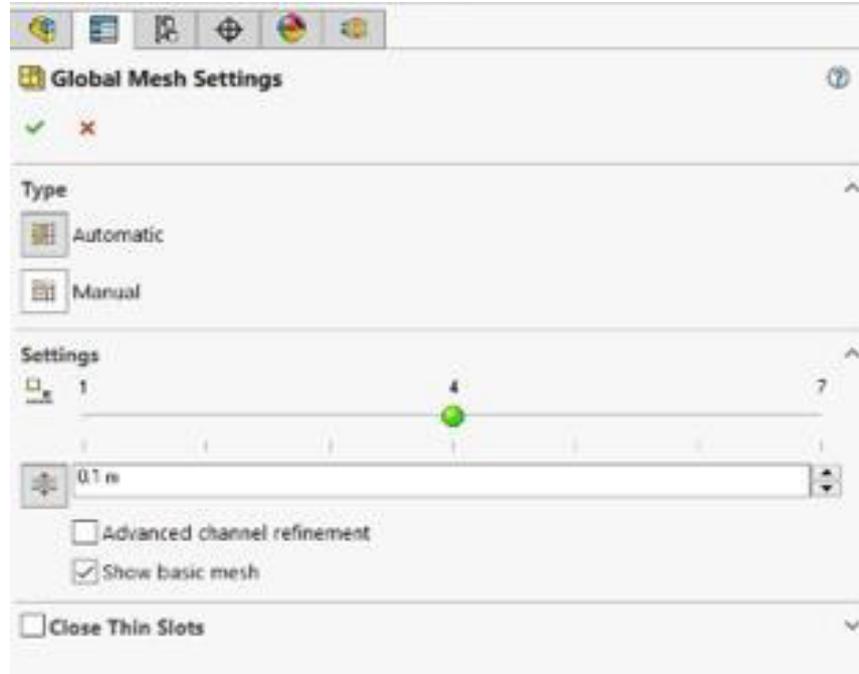
**Figura AVIII. 3.** Propiedades de la pared que contiene el fluido en la simulación del sistema de extracción diseñado



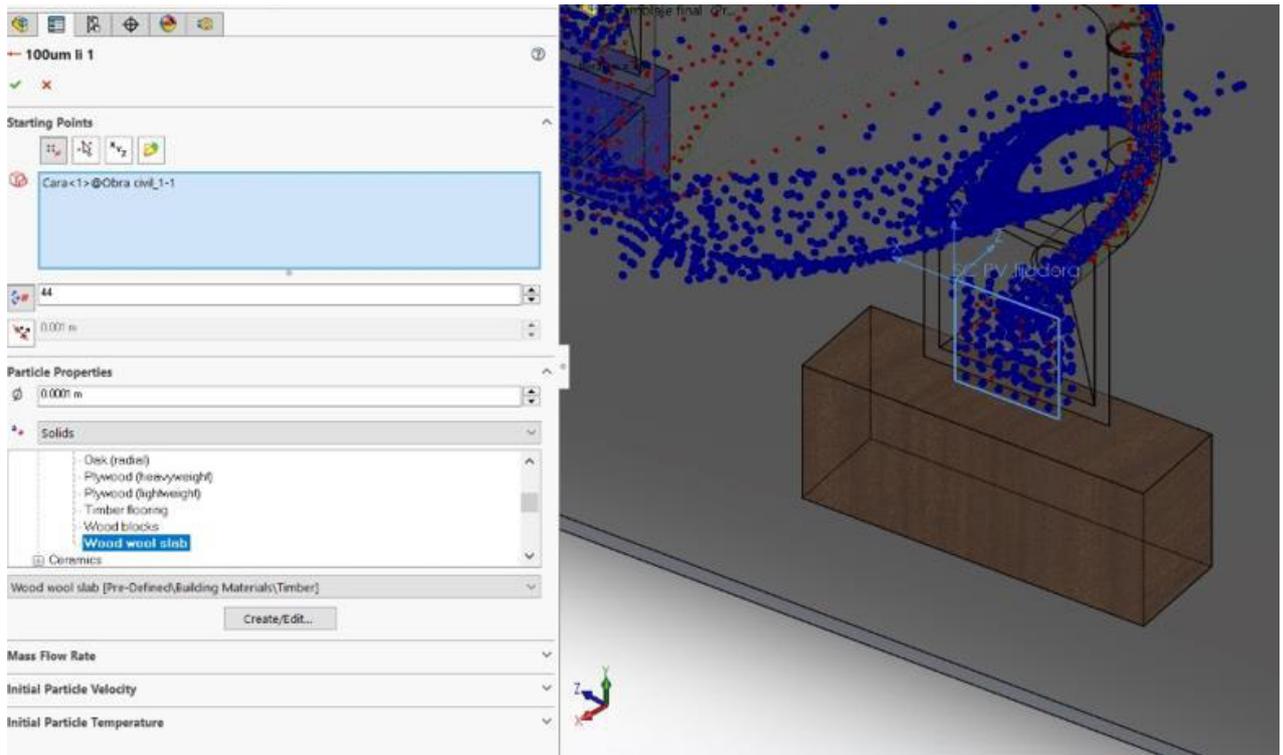
**Figura AVIII. 4.** Configuración de las condiciones iniciales en la simulación del sistema de extracción diseñado



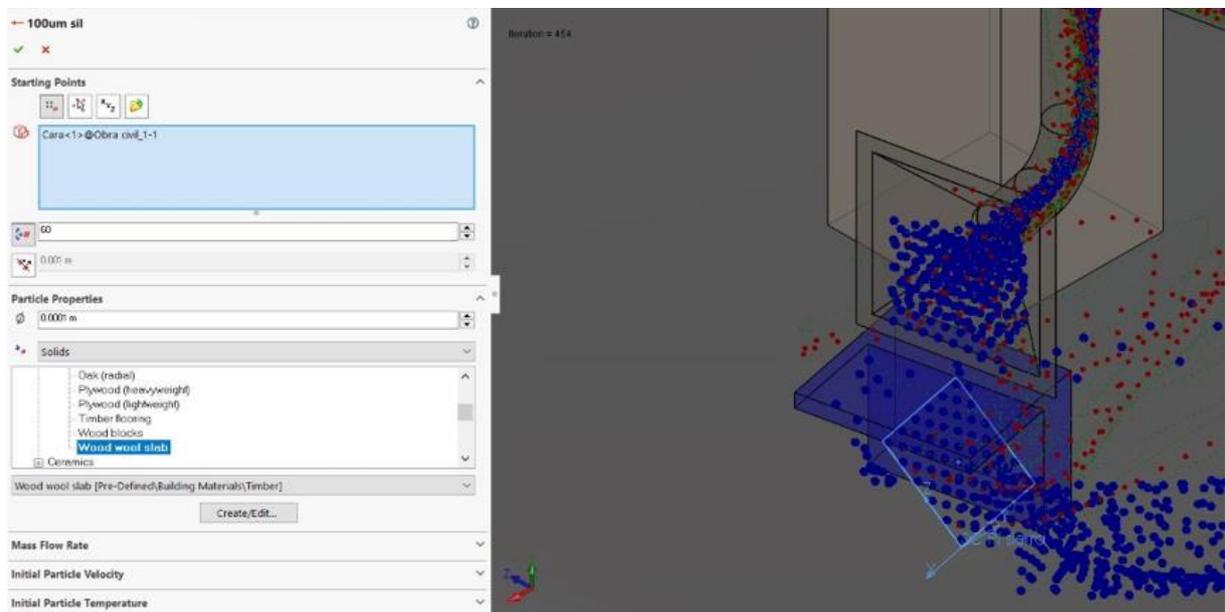
**Figura A VIII. 5.** Planos principales del mallado en la simulación del sistema de extracción diseñado



**Figura A VIII. 6.** Configuración del mallado en la simulación del sistema de extracción diseñado



**Figura A VIII. 7.** Condiciones iniciales para partículas de un diámetro de 100 micras en la mesa de lijado

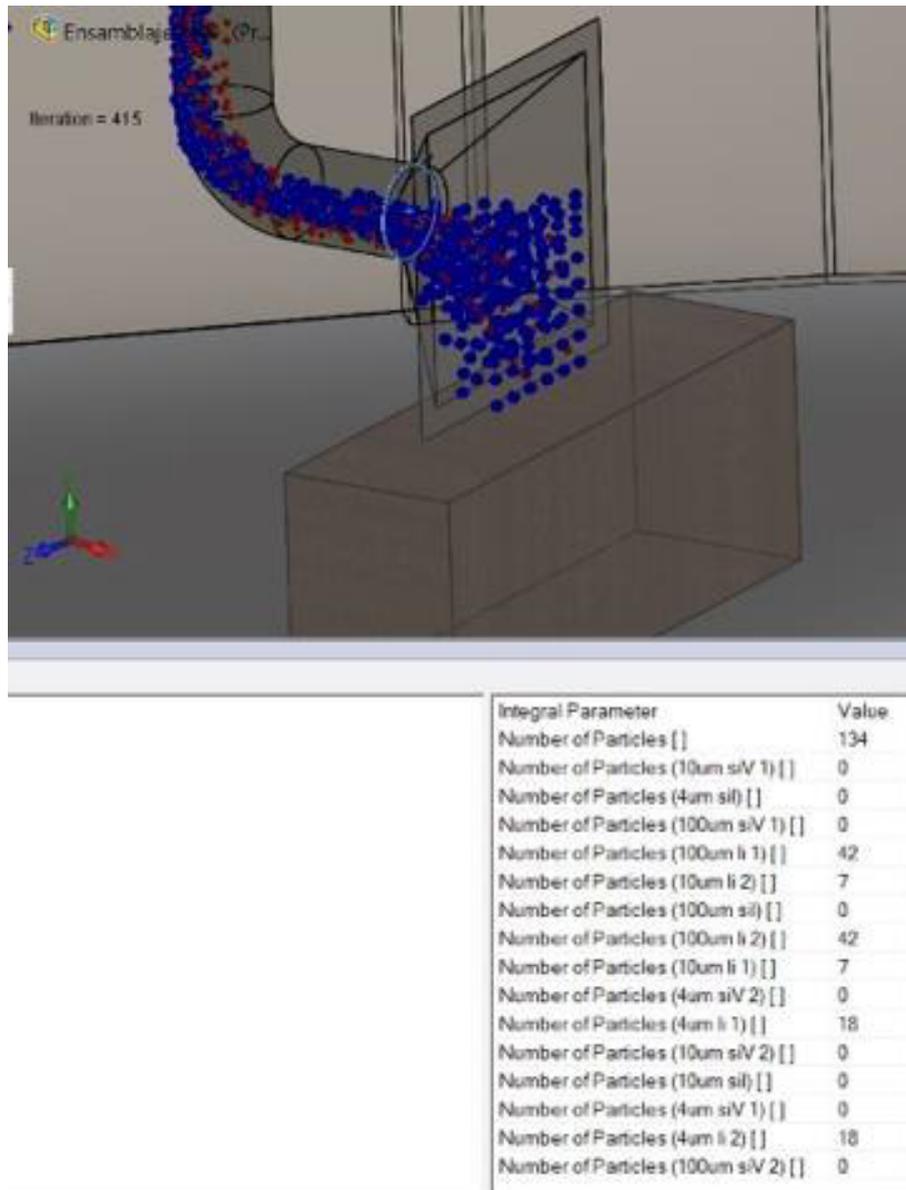


**Figura A VIII. 8.** Condiciones iniciales para partículas de un diámetro de 100 micras en la sierra

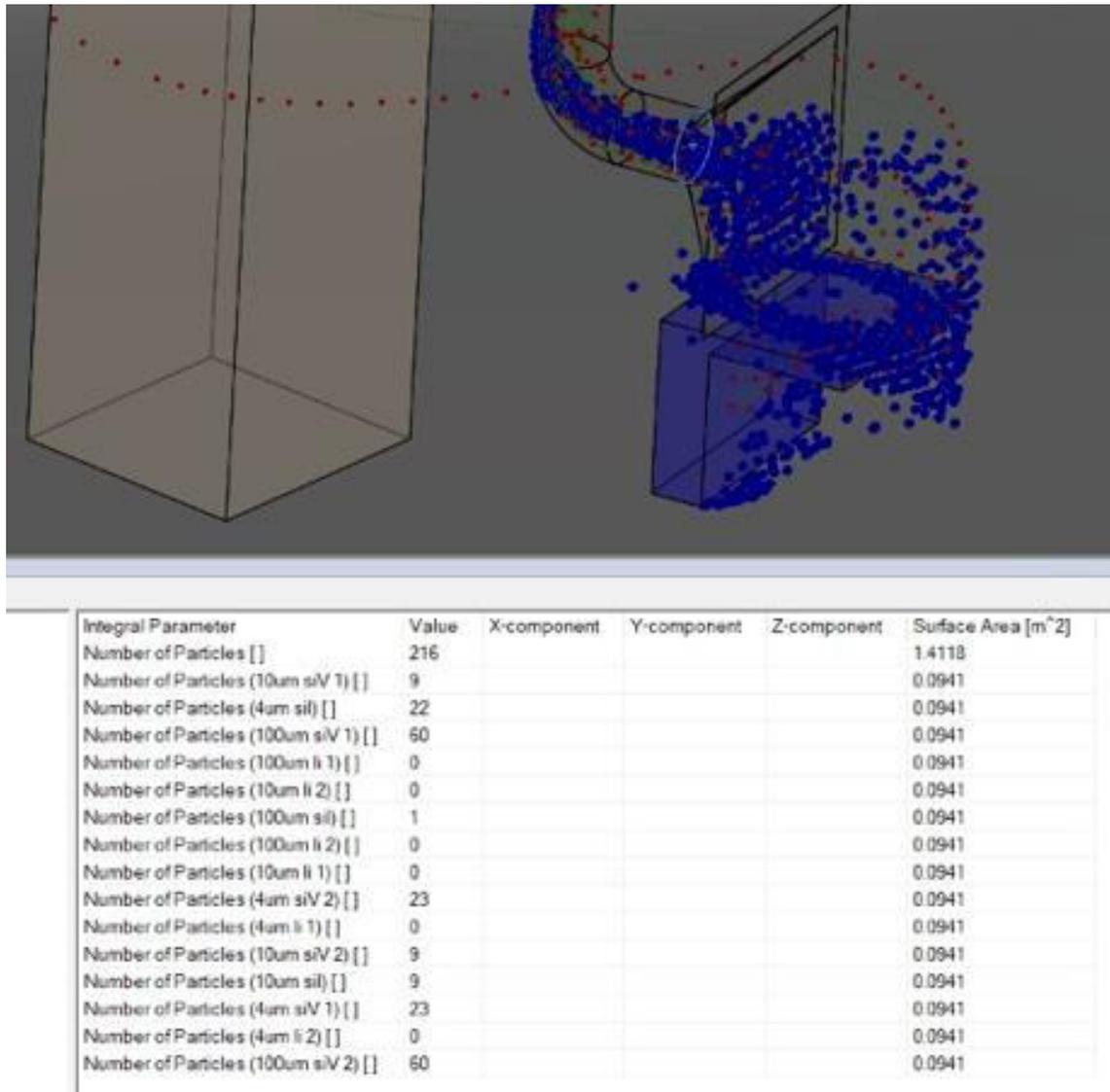
Las velocidades con las que las partículas son expulsadas son programadas de acuerdo a las velocidades angulares de trabajo especificadas por las máquinas y el radio de los discos.

## ANEXO IX

## RESULTADOS DE LA EXTRACCIÓN DE PARTÍCULAS Y DE LA SEPARACIÓN EN EL CICLÓN

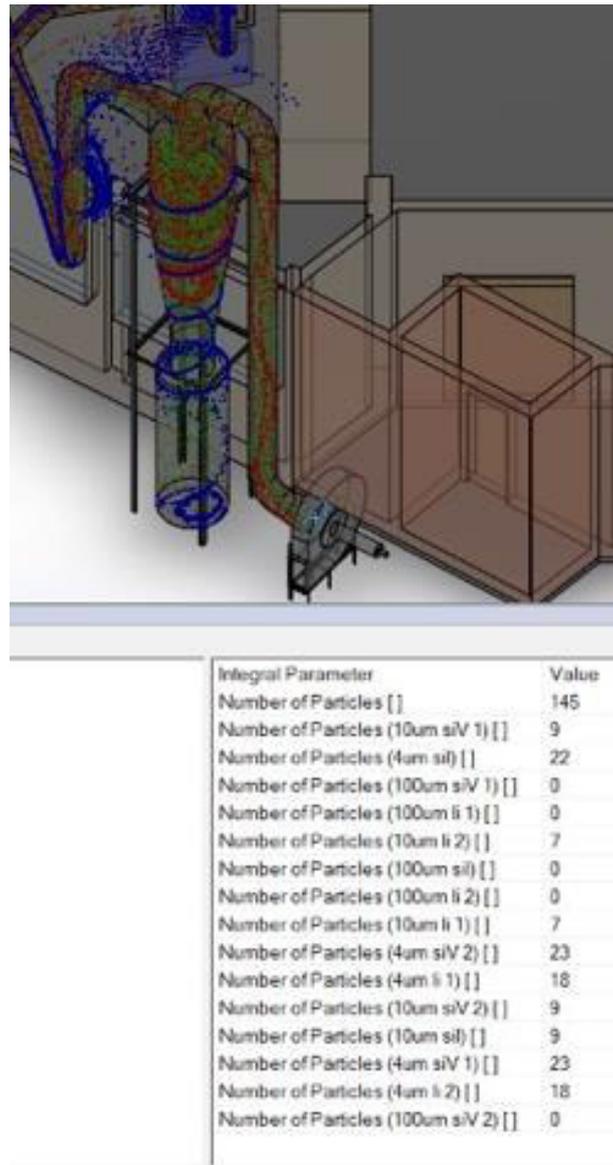


**Figura AIX. 1.** Extracción de partículas en la campana de la mesa de lijado



**Figura AIX. 2.** Extracción de partículas en la campana de la sierra

De la Figura AIX.1 y AIX.2 se puede contabilizar que 134 y 216 partículas son extraídas de las campanas de lijado y de la sierra, respectivamente, dando un total de 350 partículas extraídas. Para la lijadora se estableció 136 partículas en total y para la sierra 276 partículas, en total fueron establecidas 412 partículas entre las dos campanas, por lo tanto, se tiene una eficiencia del 84,95 %. Estos valores establecidos se determinaron en relación al promedio de las mediciones que se obtuvieron con el equipo de lectura directa. Los tamaños de las partículas y porcentajes fueron considerados según estudios realizados en la composición del polvo de madera, el 65 % de partículas son 100  $\mu\text{m}$ , 25 % partículas de 4  $\mu\text{m}$  y 10 % partículas de 10  $\mu\text{m}$  (Bruschweiler et al, 2012, p. 5).



**Figura AIX. 3.** Separación de partículas en el ciclón del sistema

De las 346 partículas que ingresan al ciclón, 145 partículas son contabilizadas en la entrada del ventilador, es decir las partículas que no logran ser separadas. Por lo tanto se tiene una eficiencia del 58,09 %.

## ANEXO X

SEÑALIZACIÓN DE SEGURIDAD DEL EPI DE LA  
CARPINTERÍA

La señalización sugerida respecto al EPI usado en la carpintería se muestra en la Figura AX.1.

Señal de seguridad	Significado
	Obligación de usar protección visual
	Obligación de usar protección respiratoria
	Obligación de usar protección para los oídos

**Figura AX. 1.** Señalética de seguridad del EPI usado en la carpintería  
(INEN, 1984, pp. 15, 17)