

**ADVERTIMENT.** La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX ([www.tesisenxarxa.net](http://www.tesisenxarxa.net)) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

**ADVERTENCIA.** La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR ([www.tesisenred.net](http://www.tesisenred.net)) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

**WARNING.** On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX ([www.tesisenxarxa.net](http://www.tesisenxarxa.net)) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author

**Doctorado de Ingeniería de Proyectos:  
Medioambiente, Seguridad, Calidad y Comunicación**



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONA TECH

**EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE PATOLOGÍAS  
RESPIRATORIAS POR EXPOSICIÓN AL POLVO DE  
MADERA DE LOS CARPINTEROS DEL QUINDÍO  
(COLOMBIA)**

Realizada por

**MILENA ELIZABETH GÓMEZ YEPES**

Director

**DR. LÁZARO V. CREMADES OLIVER**

**Departament de projectes d'enginyeria  
Escola tècnica superior d'enginyeria industrial de Barcelona (ETSEIB)  
Universitat Politècnica de Catalunya**

Barcelona, Junio de 2010



*“Si no conozco una cosa, la investigaré”*

Louis Pasteur (1822-1895) Químico y microbiólogo francés



*A mi madre*

*A Tobi...*

*Y a mi cielo bello... todo.*



## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios le dedico mis esfuerzos, sacrificios y luchas, de sentirme apreciada en tierras lejanas que me acogieron como una más de su gente y contar con la bendición de conocer seres maravillosos que llenaron mi corazón de amor y amistad.*

*A mi director Lázaro V. Cremades por su valiosa, oportuna y eficaz intervención en la Tesis, además de su infinita paciencia en guiarme por la senda correcta de este trabajo.*

*A la Universidad del Quindío por sus aportes económicos y confianza absoluta que permitieron mi formación doctoral con el propósito de fortalecer y acreditar el Programa de Salud Ocupacional.*

*A mi madre Fabiola, que con tanta paciencia ha tenido el tenerme lejos de su lado, lejos de casa. A mi padre que desde el cielo, su espíritu me ha acompañado e iluminando mis momentos más difíciles.*

*A mis hermanos Fernando y Arturo, mis sobrinos Alejandro, Juan David, Sebastián, Julián, Carlos, María Fernanda, Laura y Cristian, a mis hermanas del alma Dary y Miriam, a mi tía Elvira, familiares y amigos que igualmente sintieron y vivieron mis angustias y alegrías en cada paso que daba en lograr mis metas profesionales.*

*A mis amigas Olga, María, Natalia, Brenda y Ángela María que me acompañaron y me dieron su cariño y fortaleza de seguir lejos de mi hogar. A Jaime y Luis Miguel por estar siempre listos cuando los necesitaba.*

*A mis compañeros de Cerpie Rosa, Esther, Judith, Nuria, Estrella y Pedro y del departamento de Proyectos de ingeniería de la UPC Lourdes, Margarita, Ramón, Ágata, y Ángie por su amistad y compañerismo.*

*A mis compañeros del programa de Salud Ocupacional Sandrilla y Carlos, de Medicina, de Química y administrativos de la Universidad del Quindío, pendientes de que todo saliera bien en esta aventura.*

*A mis familiares y amigos de España que me brindaron su amor y compañía.*

*A todos ellos ¡mil y mil gracias!*

## RESUMEN

Es bien conocido por la comunidad científica internacional que la exposición al polvo de madera, dependiendo del tipo de madera utilizada en la fabricación del mueble, acarrea diferentes afecciones a la salud del carpintero. Las maderas blandas (coníferas) son irritantes, alergénicas, y con el tiempo pueden llegar a generar asma ocupacional y EPOC. El polvo de madera dura (no-coníferas) ha sido asociado con varios tipos de cáncer, incluyendo el nasal, pulmón y tracto gastrointestinal, y la enfermedad de Hodgkin.

La diferencia entre las fibras de coníferas y no-coníferas no siempre es fácil. Las fibras de las coníferas son largas, desgarradas y encintadas. La mayoría de las fibras de no-coníferas son de paredes gruesas y cortas. Estas características morfológicas de las fibras de las coníferas hace presumible que estas puedan asirse fuertemente a los tejidos blandos de la nariz y los pulmones que las fibras de no-coníferas, aunque los efectos sean mas letales en estas últimas, sin embargo la aparición del cáncer nasal y pulmón es más tardía, que los problemas respiratorios e irritaciones provocadas por las fibras de las coníferas. Un hecho igualmente grave en el acabado de madera es la presencia de elementos químicos derivados de la pintura y barnices, como Ca, K, Na y Cr, considerado éste último como cancerígeno.

Una de las principales actividades económicas del departamento del Quindío (eje cafetero colombiano) es el sector maderero desde el cultivo de árboles hasta su transformación en muebles, ventas de productos terminados y de subproductos. Se realizó un muestreo por conveniencia a 10 carpinterías más representativas del Quindío y se encuestaron el 100% de los trabajadores de las áreas de lijado, cepillado, inmunizado y pinturas (trabajadores con mayor riesgo de adquirir enfermedades respiratorias crónicas). Se detectó el uso de maderas duras y blandas y la utilización para el acabado de la madera noble, de plaguicidas,

solventes orgánicos volátiles, resinas epóxicas sintéticas, pegamentos y pinturas. La concentración de material particulado estaba por encima del TLV indicado para el polvo de madera (15 veces más). El análisis de morbi-mortalidad laboral concluyó que el riesgo relativo era del 81%, lo que evidencia que la exposición continua al polvo de madera incide en la aparición de patologías respiratorias y por ende al absentismo laboral.

Considerando importante la protección respiratoria del carpintero, se realizaron pruebas experimentales para verificar la eficacia en la retención de las partículas del polvo de madera de los tejidos de las mascarillas desechables de uso común y otros tipos de tejido (tafetán y Jacquard). Se construyó un microambiente laboral y se sometieron los diferentes tipos de tejidos a una simulación de condiciones normales y extremas de exposición al polvo de madera. Los resultados nos revelaron que en condiciones extremas, las típicas mascarillas desechables de uso común, pierden su efecto protector al cabo de un par de horas de exposición, a pesar de tener hasta 3 capas. En condiciones normales o de baja producción de polvo, tanto los tejidos estudiados como las mascarillas desechables, logran su efecto protector. El tejido tipo tafetán ha sido el que mayor eficacia de retención de partículas ha presentado frente a las pruebas de exposición normal y extrema. Además, ha resultado ser el más eficaz para retener partículas  $< 20 \mu\text{m}$ . Estos resultados coinciden con la simulación de Monte Carlo de retención de partículas.

## ABSTRACT

It is well known for the international scientific community that exposure to wood dust, depending on the type of wood used in the manufacture of furniture, can have undesirable effects on the health of carpenters. Softwoods (conifers) are irritating, allergenic, and eventually may give rise to occupational asthma and COPD. Hardwood dust (non-conifers) has been associated with several types of cancer, including nasal, lung and gastrointestinal tract cancer, and Hodgkin's disease.

Difference between fibers from coniferous and non-coniferous wood is not always easy to establish. Coniferous fibers are long, torn and tapered. Most non-coniferous fibers are short and thick. These morphological characteristics of coniferous fibers are maybe the reason why they can be held tighter to the soft tissues of nose and lungs than non-coniferous fibers, although the effects are more lethal in the latter. However, the development of cancer nasal and lung produced by non-coniferous fibers is later than the respiratory problems and irritation caused by the fibers of conifers. An equally serious problem from the wood finish is the presence of chemical elements derived from paints and varnishes, such as Ca, K, Na and Cr, the latter considered as a carcinogen.

One of the major economic activities of the department of Quindío (Colombia's coffee region) is the timber industry from growing trees to their conversion into furniture, sales of finished products and byproducts. A sampling by convenience was carried out to the 10 most representative carpenter's workshops in Quindío. All the workers from these workshops were surveyed in the areas of sanding, planning, immunization and painting (workers with the highest risk for chronic respiratory diseases). Use of hard and soft woods as well as use of pesticides, volatile organic solvents, synthetic epoxy resins, glues and paints for the finish of hardwood was observed. Concentration of particulate matter was above the TLV recommended for wood dust (15 times higher). The analysis of occupational morbidity and mortality

concluded that the relative risk was 81%, which demonstrates that continuous exposure to wood dust can cause respiratory diseases and therefore absenteeism.

Whereas respiratory protection of carpenter is important, experimental tests were performed to verify the effectiveness of the retention of the particles of wood dust by fabrics of the commonly used disposable masks and some other types (taffeta and jacquard). A work microenvironment was built in laboratory and those types of fabrics were tested under some simulated normal and extreme conditions of exposure to wood dust. The results revealed that in extreme conditions, the typical disposable masks lose their protective effect after a few hours of exposure, despite having up to 3 layers. Under normal or low wood dust production, taffeta and jacquard fabrics and disposable respirators achieve their protective effect. The taffeta fabric had the best retention efficiency under both normal and extreme exposure conditions. It was also the most effective in retaining particles  $<20 \mu\text{m}$ . These results agree with a Monte Carlo simulation for assessing the retention of particles.

## RESUM

És bé conegut per la comunitat científica internacional que l'exposició a la pols de fusta, depenent del tipus de fusta utilitzada en la fabricació del moble, implica diferents afeccions a la salut del fuster. Les fustes toves (coníferes) són irritants, al·lèrgiques, i amb el temps poden arribar a generar asma ocupacional i EPOC. La pols de fusta dura (no-coníferes) ha estat associat amb diversos tipus de càncer, incloent el nasal, pulmó i tracte gastrointestinal, i la malaltia d'Hodgkin.

La diferència entre les fibres de coníferes i no-coníferes no sempre és fàcil. Les fibres de les coníferes són llargues, estripades i encintades. La majoria de les fibres de no-coníferes són de parets gruixudes i curtes. Aquestes característiques morfològiques de les fibres de les coníferes fa presumible que aquestes puguin agafar-se més fortament als teixits tous del nas i els pulmons que les fibres de no-coníferes, encara que els efectes siguin més letals en aquestes últimes, no obstant això l'aparició del càncer nasal i pulmó és més tardana, que els problemes respiratoris i irritacions provocades per les fibres de les coníferes. Un fet igualment greu en l'acabat de fusta és la presència de compostos químics derivats de la pintura i vernissos com Ca, K, Na i Cr considerat aquest últim com cancerigen.

Una de les principals activitats econòmiques del departament del Quindío (eix cafeter colombià) és el sector de la fusta des del cultiu d'arbres fins a la seva transformació en mobles, vendes de productes acabats i de subproductes. Es va realitzar un mostreig per conveniència a 10 fusteries més representatives del Quindío i es van enquestar el 100% dels treballadors de les àrees d'escatat, raspallat, immunitzat i pintures (treballadors amb major risc d'adquirir malalties respiratòries cròniques). Es va detectar l'ús de fustes dures i toves i la utilització per a l'acabat de la fusta noble, de plaguicides, solvents orgànics volàtils, resines epòxiques sintètiques, coles i pintures. La concentració de material particulado estava per sobre del TLV indicat per a la pols de fusta (15 vegades més). L'anàlisi de morbi-mortalitat laboral va concloure que el risc relatiu era del 81%, la qual

cosa evidencia que l'exposició contínua a la pols de fusta incideix en l'aparició de patologies respiratòries i per tant a l'absentisme laboral.

Considerant important la protecció respiratòria del fuster, es van realitzar proves experimentals per verificar l'eficàcia en la retenció de les partícules de la pols de fusta dels teixits de les màscares d'un sol ús d'ús comú i altres tipus de teixit (tafetà i Jacquard). Es va construir un microambient laboral i es van sotmetre els diferents tipus de teixits a una simulació de condicions normals i extremes d'exposició a la pols de fusta. Els resultats ens van revelar que en condicions extremes, les típiques màscares d'un sol ús d'ús comú, perden el seu efecte protector al cap d'un parell d'hores d'exposició, malgrat tenir fins a 3 capes. En condicions normals o de baixa producció de pols, tant els teixits estudiats com les màscares d'un sol ús, aconsegueixen el seu efecte protector. El teixit tipus tafetà ha estat el que major eficàcia de retenció de partícules ha presentat enfront de les proves d'exposició normal i extrema. A més, ha resultat ser el més eficaç per retenir partícules  $< 20 \mu\text{m}$ . Aquests resultats coincideixen amb la simulació de Monte Carlo de retenció de partícules.

## TABLA DE CONTENIDO

		Pág.
<b>1.</b>	<b>INTRODUCCION AL PROBLEMA</b>	<b>1-1</b>
1.1	GENERALIDADES	1-1
1.2	JUSTIFICACIÓN	1-4
1-3	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	1-6
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b>	<b>2-1</b>
2.1	OBJETIVO GENERAL	2-1
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2-1
2.3	HIPÓTESIS	2-2
2.4	APORTES A LA INVESTIGACIÓN	2-2
<b>3.</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>3-1</b>
3.1	METODOLOGÍA DESCRIPTIVA OBSERVACIONAL	3-1
3.2	TAMAÑO DE MUESTRA	3-3
	3.2.1 Muestreo por conveniencia	3-3
	3.2.2 Tratamientos estadísticos utilizados para los resultados de la eficacia en la retención de partículas	3-3
	2.2.3 t para una muestra pequeña	3-4
3.3	MODELO OBRERO (ENCUESTAS)	3-5
	3.3.1 Autorreporte de Condiciones de trabajo	3-6
	3.3.2 Consentimiento informado	3-7
	3.3.3 Autorreporte de las condiciones de salud	3-8
<b>4</b>	<b>ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO</b>	<b>4-1</b>
4.1	CARACTERÍSTICAS DEL POLVO DE MADERA	4-1
4.2	EFECTOS ADVERSOS PARA LA SALUD ASOCIADOS CON EL POLVO DE LA MADERA	4-3
	4.2.1 Cáncer ocupacional	4-5
	4.2.2 Respuesta inmunológica a agentes agresores como el polvo de madera	4-6
	4.2.3 Efectos irritantes	4-7
	4.2.4 Enfermedad respiratoria crónica no específica	4-8
4.3	ESTUDIOS DE LA CONCENTRACIÓN DEL POLVO DE MADERA	4-21
	4.3.1 Directrices, estándares y recomendaciones de niveles de exposición del polvo de madera	4-21
	4.3.2 Diámetro equivalente aerodinámico ( $d_{ea}$ ) del polvo de madera	4-24
4.4	NORMAS LEGALES DE LA CALIDAD DEL AIRE EN AMBIENTES LABORALES DEL SECTOR MADERERO EN COLOMBIA	4-25
<b>5.</b>	<b>DIAGNÓSTICO DE LAS CONDICIONES DE TRABAJO Y SALUD</b>	<b>5-1</b>
5.1	INTRODUCCIÓN	5-1
	5.1.2 Condiciones de trabajo	5-2
	5.1.2 Condiciones de salud	5-9
5.2	RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO DE LAS CONDICIONES DE TRABAJO Y SALUD	5-10
	5.2.1 Diagnóstico de las condiciones de trabajo	5-10
	5.2.2 Autorreporte de las condiciones de trabajo	5-14
	5.2.3 Condiciones básicas de higiene en material particulado, iluminación y ruido	5-22
	5.2.4 Valoración del riesgo de los puestos analizados de las condiciones de trabajo	5-25
	5.2.5 Diagnóstico de las condiciones de salud	5-26
<b>6.</b>	<b>ANÁLISIS DE DATOS DE MORBI-MORTALIDAD LABORAL DE LOS TRABAJADORES POR ENFERMEDAD O PROBLEMA RESPIRATORIA</b>	<b>6-1</b>
6.1	ESTUDIO EPIDEMIOLÓGICO DE LA ENFERMEDAD RESPIRATORIA CRÓNICA NO ESPECÍFICA	6-1
	6.1.1 Análisis de los datos	6-1
	6.1.2 Hábito de fumar	6-4
6.2	ESTUDIO EPIDEMIOLÓGICO DE LA ENFERMEDAD RESPIRATORIA CRÓNICA NO ESPECÍFICA EN COLOMBIA EN TRABAJADORES DE LA MADERA	6-5
	6.2.1 Afiliación y cobertura del Sistema General de Riesgos Profesionales (SGRP) en Colombia	6-6
	6.2.2 Morbilidad por enfermedad profesional en Colombia	6-8

		<b>Pág.</b>	
	6.2.3	Registros de absentismo general aprobados por MPSC	6-9
	6.2.4	Función Exposición- Respuesta ( $f_{ER}$ )	6-10
6.3		<b>RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE DATOS DE MORBI-MORTALIDAD</b>	6-13
	6.3.1	Análisis de datos de enfermedades respiratorias y la exposición al polvo de madera de los trabajadores del sector	6-15
	6.3.2	Análisis epidemiológico de la enfermedad respiratoria crónica no específica departamento del Quindío y del municipio de Armenia	6-17
	6.3.3	Función Exposición-Respuesta ( $f_{ER}$ )	6-18
<b>7.</b>		<b>SISTEMA DE MUESTREO Y CARACTERIZACION DEL POLVO DE MADERA</b>	7-1
	7.1	<b>PROPIEDADES DE LAS PARTÍCULAS (POLVO DE MADERA)</b>	7-2
	7.1.1	El tamaño de partícula	7-3
	7.1.2	Densidad de la partícula	7-3
	7.1.3	Morfología	7-4
	7.1.4	Forma de la partícula y diámetro equivalente aerodinámico	7-5
	7.1.5	Concentración de partículas en masa y número	7-8
	7.1.6	Composición química	7-9
	7.2	<b>PRESENTACIÓN DE DATOS Y ESTADÍSTICAS EN LA CARACTERIZACIÓN DE PARTÍCULAS DE LA MADERA</b>	7-10
	7.3	<b>RESULTADOS DEL SISTEMA DE MUESTREO Y CARACTERIZACION DEL POLVO DE MADERA</b>	7-12
	7.3.1	Sistema de muestreo para polvo total de madera	7-12
	7.3.2	Propiedades de las partículas (polvo de madera)	7-14
<b>8.</b>		<b>EFICACIA EN LA RETENCIÓN DE PARTÍCULAS DEL POLVO DE MADERA: TRABAJO EXPERIMENTAL</b>	8-1
	8.1	<b>TELAS Y TEJIDOS SELECCIONADOS</b>	8-2
	8.1.1	Tela no tejida	8-2
	8.1.2	Tipos de tejido	8-3
	8.2	<b>ANÁLISIS DE LOS TEJIDOS SELECCIONADOS</b>	8-5
	8.3	<b>MÉTODO UTILIZADO</b>	8-8
	8.3.1	Simulación del microambiente laboral de una sección de lijado o cepillado	8-11
	8.3.2	Selección de las telas en función del peso acumulado en el filtro	8-13
	8.3.3	Comparación en cuanto a eficacia de retención entre los tejidos seleccionados y las mascarillas desechables	8-16
	8.3.4	Prueba t para medias de dos muestras emparejadas entre las telas no tejida y los tejidos seleccionados experimentalmente	8-22
<b>9.</b>		<b>DISTRIBUCIÓN NORMAL Y <math>d_{ea}</math> DE LAS PARTÍCULAS POR SIMULACIÓN DE MONTE CARLO</b>	9-1
	9.1	<b>SIMULACIÓN DE MONTE CARLO</b>	9-1
	9.2	<b>MODELO DESARROLLADO</b>	9-2
	9.3	<b>APLICACIÓN DEL MODELO</b>	9-7
	9.3.1	Distribución normal de las partículas del polvo de madera	9-8
	9.3.2	Frecuencia acumulada de la distribución de las partículas del polvo de madera	9-8
<b>10.</b>		<b>CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE CONTINUACIÓN</b>	10-1
	10.1	<b>CONCLUSIONES</b>	10-1
	10.1.1	Diagnóstico de las condiciones de trabajo y salud	10-1
	10.1.2	Análisis de datos de morbi-mortalidad laboral de los trabajadores por enfermedad o problema respiratorio	10-1
	10.1.3	Sistema de muestreo y caracterización del polvo de madera	10-3
	10.1.4	Eficacia en la retención de partículas del polvo de madera: trabajo experimental	10-4
	10.1.5	Distribución normal y $d_{ea}$ de las partículas por simulación de Monte Carlo	10-5
	10.2	<b>PROPUESTAS DE CONTINUACIÓN</b>	10-5
<b>11.</b>		<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	11-1
		<b>ANEXOS</b>	
	ANEXO A	Correspondencia electrónica	A-3
	ANEXO B	Valoración del riesgo	A-7
	ANEXO C	Datos estadísticos de morbimortalidad	A-15
	ANEXO D	Propiedades de las partículas de la madera	A-29
	ANEXO E	Trabajo experimental de los tipos de tejidos	A-55
	ANEXO F	Programas de simulación de Monte Carlo	A-65

## GLOSARIO

**ACGIH:** *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*. Asociación Americana de Higienistas Industriales.

**ARNm:** Ácido Ribonucleico mensajero

**ARP:** Administradora de Riesgos Profesionales

**ATEP:** Accidentes de Trabajo y Enfermedad Profesional, conocidos como eventos ocupacionales en el ámbito laboral.

**ARP ISS:** Administradora de Riesgos Profesionales Protección Laboral del Instituto del Seguro Social de Colombia.

**Carpintería:** Taller o tienda en donde trabaja el carpintero. En Colombia, es el trabajo de la madera sin acabados de ebanistería.

**Carpintero:** Persona que por oficio trabaja y labra madera, ordinariamente común.

**CCS:** Consejo Colombiano de Seguridad, revista nacional de protección, salud y seguridad industrial.

**Condiciones de trabajo o panorama de factores de riesgo:** forma sistemática de identificar, localizar y valorar los factores de riesgo de forma que se pueda actualizar periódicamente y que permita el diseño de medidas de intervención.

**Condiciones de salud:** evalúa la morbilidad, absentismo laboral por eventos ocupacionales o ATEP.

**d<sub>ea</sub>**: Diámetro aerodinámico equivalente

**Ebanistería**: Taller de ebanista. En Colombia es común encontrar en una fábrica de muebles, los talleres de carpintería y ebanisterías en los mismos sitios de trabajo.

**Ebanista**: Persona que tiene por oficio trabajar en ébano y otras maderas finas. En Colombia es el trabajo del acabado completo del mueble de madera.

**EPA**: *Environmental Protection Agency* /Agencia Americana de Protección del Medio Ambiente).

**EPOC**: Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica

**Exposición**: frecuencia con que las personas o la estructura entran en contacto con los factores de riesgo.

**Factor de riesgo**: es todo elemento cuya presencia o modificación, aumenta la probabilidad de producir un daño a quien está expuesto a él.

**Factores de riesgo químico**: toda sustancia orgánica e inorgánica, natural o sintética que durante la fabricación, manejo, transporte, almacenamiento o uso, puede incorporarse al aire del ambiente en forma de polvos, humos, gases o vapores con efectos irritantes, corrosivos, asfixiantes o tóxicos y en cantidades que tengan probabilidades de lesionar la salud de las personas que entran en contacto con ellas.

**Grado de peligrosidad**: es un indicador de la gravedad de un riesgo reconocido.

**Grado de repercusión**: indicador que refleja la incidencia de un riesgo con relación a la población expuesta

**IARC**: *International Agency for Research on Cancer* (Agencia Internacional de Investigación contra el Cáncer).

**ISSQ**: Instituto Seccional de Salud del Quindío

**Muestra ambiental:** Es la toma que se obtiene en una zona determinada o del ambiente general.

**Muestra personal:** Es la toma que se recoge a un trabajador en particular a quien se le coloca el dispositivo de muestreo.

**Muestra "Blanco":** Se considera Blanco al tubo que se somete a las mismas manipulaciones que el resto de los tubos muestreados, excepto que no se pasa aire a través de él.

**NIOSH:** *National Institute for Occupational Safety and Health.* (Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional de Norte América).

**NOES:** *National Occupational Exposure Survey* (Encuesta Nacional de Exposición Ocupacional de EEUU).

**OIT:** Organización Internacional del Trabajo

**OMS:** Organización Mundial de la Salud

**OSHA:** *Occupational Safety and Health Administration.* (Administradora de Salud y Seguridad Industrial de EEUU).

**Patología:** arte de la medicina que estudia las enfermedades.

**Polvo:** Todo material particulado sólido de cualquier naturaleza, tamaño u origen, suspendida o capaz de mantenerse suspendida en el aire.

**Polvo Fracción Respirable:** Se refiere al tamaño de las partículas menores o iguales a 10 micras que pasan la región nasofaríngea y traqueobronquial para depositarse en la región alveolar (región de intercambio gaseoso).

**Polvo inhalable:** se define como el total de la cantidad de partículas en suspensión en el aire que pueden ser inhaladas a través de la boca y la nariz.

**Polvo total:** Fracciones de partículas inhalables y torácicas que entran por el tracto superior del sistema respiratorio y aquellas que introducidas por la boca alcanzan el pulmón y región de intercambio gaseoso. Es la cantidad total de los polvos medidos en un filtro de una manera abierta, con un casete cuyo diámetro es de 37 ó 25 mm.

**PM:** *Particle Matter*. Material particulado.

**Riesgo:** probabilidad de ocurrencia de un evento de características negativas.

**Registro:** Acción y efecto de registrar. Examinar algo o a alguien, minuciosamente, para encontrar algo que puede estar oculto.

**Subregistro:** En las estadísticas epidemiológicas, el subregistro es la cantidad de X (eventos estudiados) que se deduce que no han sido registrado, por ejemplo, el subregistro de nacimientos es la cantidad de nacimientos que no han sido registrados.

**STEL:** *Short Time Exposure Limit* – (Límite de Exposición de Corta Duración), que refleja la máxima concentración a que puede exponerse el trabajador, de forma continua durante períodos de 15 minutos, siempre que no existan más de cuatro de tales períodos al día y que los intervalos entre los mismos sean de, al menos, sesenta minutos y, además cuidando de que el TLV para la jornada diaria no se sobrepase.

**TLV and BEI:** *Threshold limit values and biological exposure indices* (Valores Límites Ambiental y Valor Límite Biológico respectivamente norteamericanos utilizados en Colombia).

**TWA:** concentración media calculada, para un día de 8 horas de trabajo y 40 horas semanales en la cual se cree que la mayor parte de los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente día a día sin efectos adversos.

**U.S.:** *United States* (Estados Unidos), igualmente EEUU y USA.

# 1. INTRODUCCION AL PROBLEMA

## 1.1 GENERALIDADES

La OIT informó en el XVI Congreso Mundial sobre Seguridad y Salud en el Trabajo de 2002, que el trabajo es un aspecto fundamental de la vida de las personas y constituye un pilar para la estabilidad de las familias y las sociedades. Toda persona aspira tener un trabajo que le proporcione un nivel de vida aceptable tanto para ella como para su familia; también confía en recibir protección cuando no pueda trabajar por causa de un ATEP (OIT, 2002). La OIT estimó que en el mundo, el número de accidentes de trabajo por año es de 270 millones, de los cuales 2 millones son fatales. Además, concluyó que las cuatro principales causas de mortalidad laboral en el mundo han sido el cáncer ocupacional (32%), enfermedades circulatorias (23%), enfermedades respiratorias (9%) y otras enfermedades ocupacionales (17%). La OIT ha estimado que dos de las cuatro causas principales han sido por riesgos químicos (OIT, 2002).

El riesgo químico es aquel susceptible de ser producido por una exposición no controlada a agentes químicos. Se entenderá por agente químico cualquier sustancia que pueda afectar directa o indirectamente la salud de las personas. Una sustancia química puede ingresar en el cuerpo a través de tres vías principalmente: inhalatoria, ingestión y dérmica, siendo la principal la vía respiratoria (CCS, 2003). Hablar de riesgos químicos es largo y complejo y desde su misma clasificación ha habido estudios al respecto y temas de gran interés para la salud pública, en especial en seguridad industrial y salud ocupacional.

Las tendencias regionales de Suramérica muestran que en los países en desarrollo se han utilizado el asbesto y productos químicos industriales (como plaguicidas), sin

medidas de control adecuadas, generando un incremento del número de eventos ocupacionales de los trabajadores y la desprotección de los mismos, convirtiéndose en un problema social de la comunidad (CCS, 2003).

En la legislación colombiana, el Decreto 2566 de julio 8 de 2009 presenta una clasificación de 42 enfermedades profesionales de las cuales el 54.76% son relacionadas con riesgos químicos. Un estudio realizado por la secretaría distrital de salud de Bogotá en septiembre de 2003, referente al "Diagnóstico de la Enfermedad Profesional en Bogotá 2002-2003", señala que la dermatitis de contacto y los eccemas equivalen a un 8 por 100 de los 50 casos registrados como enfermedad profesional; sin embargo, no refiere las causas que pudieron provocarlas. Existen subregistros de la atención de enfermedades ocupacionales en las Empresas Prestadoras de Servicio (EPS) y las Instituciones Prestadoras de Salud (IPS) de la región.

En el departamento del Quindío, el Instituto de Seguro Social (ISS) reportó 813 eventos de origen ocupacional entre enero y septiembre de 2004, de los que igualmente se desconocen las causas que provocaron enfermedades profesionales y cuales de ellos fueron por riesgos químicos o concretamente por exposición al polvo de madera (ARP ISS, 2004).

Una de las principales actividades económicas del departamento del Quindío (eje cafetero colombiano) es el sector maderero, desde el cultivo de árboles hasta su transformación en muebles. En el año 2007, se registraron 84 empresas madereras con un estimado de 6018 trabajadores dedicados a la fabricación de muebles, ventas de productos terminados y de subproductos (CCA, 2007). La manufactura de la madera involucra procesos y operaciones relacionados principalmente con la tecnificación, lo que aumenta la probabilidad de ocurrencia de eventos ocupacionales y unido a la utilización de sustancias químicas peligrosas en dichos procesos, incrementa la morbi-mortalidad de los trabajadores disminuyendo así su calidad de vida (OIT, 2002; MVSA, 2002). Estos procesos de tecnificación involucran riesgos higiénicos como materiales particulados (polvo de madera), aspersión de solventes orgánicos y pinturas, entre otras.

La importancia de la identificación de los riesgos, el conocimiento de su magnitud y la consiguiente adopción de soluciones, obliga a desarrollar un diagnóstico lo más certero posible sobre la situación real de la industria maderera de la región (ebanisterías y carpinterías) en el ámbito de la prevención laboral, con el fin de proponer las medidas pertinentes que logren mejorar dichas condiciones de trabajo y como consecuencia de ello impactar en la presentación de ATEP.

Específicamente en los procesos productivos, los tipos de madera utilizados son generalmente maderas blandas y maderas duras. Éstas son seleccionadas según las características de resistencia y facilidad de moldeo que presenten las mismas. En relación a los problemas de salud que provocan las maderas duras están descritas como cancerígenas y las maderas blandas pueden llegar a generar problemas de sensibilización y alérgicos en los trabajadores.

Las condiciones en las que se realiza el trabajo en este sector no sólo influyen en la productividad y el rendimiento profesional, sino que son determinantes de la propia calidad de vida. Un marco u organización productiva segura y saludable contribuye al bienestar de las personas que la integran y a su propia capacidad competitiva (Universidad del Quindío, 2005). Las preguntas de investigación de esta Tesis a las que se buscará dar respuestas son:

¿La exposición al polvo de madera incide en la presentación de eventos respiratorios?

¿Existen correlaciones entre enfermedades respiratorias y la exposición al polvo de la madera de acuerdo con la morfología de la partícula de la madera?

¿En qué condiciones de trabajo y salud se realizan las actividades laborales en el sector de las ebanisterías y carpinterías del departamento del Quindío?

¿Son suficientes los típicos protectores respiratorios comerciales para evitar enfermedades respiratorias ante la exposición del polvo de madera?

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

Es clara la influencia que tiene para la salud del trabajador las condiciones del ambiente laboral donde desarrolla sus actividades, ya que importantes organizaciones internacionales y nacionales han informado de los eventos ocupacionales que causan absentismo, incapacidad, discapacidad y muerte (OIT 2002; ARP ISS 2004, MPSC 2004).

Centrados en el sector maderero, el conocimiento de las condiciones de trabajo y salud, concretamente al riesgo químico y en especial a la exposición del polvo de madera, permitirá proponer medidas de intervención para la protección respiratoria que más se adapten a la situación socioeconómica de la región, conllevando un menor impacto en la salud de los trabajadores y de esta manera mejorar el bienestar individual y productividad regional.

Otro factor importante para el desarrollo del presente proyecto, es que de acuerdo con la información suministrada por el Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología "Francisco José de Caldas" (Colciencias), no existen investigaciones científicas respecto a riesgos químicos, ni de material particulado en ambientes laborales (ver anexo A). De igual manera, el Ministerio de Protección Social de Colombia tampoco lleva investigaciones de riesgos químicos; las Administradoras de Riesgos Profesionales (ARP'S) controlan los TLV'S de material particulado, incluyendo el polvo de madera en ambientes laborales, más no de caracterización, ni investigaciones de telas para diseños de protección respiratoria. Además, el Ministerio de Protección Social no lleva registros de enfermedad profesional a los trabajadores madereros debido a que se está implementando el sistema de información de ATEP (ver anexo A). El Instituto Seccional de Salud del Quindío y la Secretaría de Salud de Armenia, tampoco llevan registros de eventos ocupacionales referentes a la exposición del polvo de madera.

Es por ello que se hace necesario realizar investigaciones que contribuyan al conocimiento de la incidencia de las patologías respiratorias por exposición al polvo de madera de los trabajadores de la región, así como al mejoramiento sistemático de sus condiciones de trabajo y concretamente la protección respiratoria tomando

en consideración los niveles de satisfacción que estas medidas generan en los trabajadores.

Como docente del programa de Salud Ocupacional de la Universidad del Quindío he planteado esta Tesis con el fin de hacerla extensiva a la Línea de Investigación de Riesgos Químicos de la cual hago parte desde sus comienzos. Funciones como la docencia, la investigación y la proyección social son la razón de ser de la Universidad; la primera, encaminada a la formación del profesional que requiere la sociedad, la segunda tiene por objeto indagar sobre las causas y características de los principales problemas que tienen que ver con la salud de la comunidad en general, y en particular, de la salud ocupacional de los trabajadores; finalmente, la proyección social, nos obliga a comprometernos con el desarrollo de nuestra región y en este aspecto se enmarca la Tesis al contribuir en el conocimiento de la incidencia del polvo de madera en la salud de los trabajadores de un sector tan importante para la economía quindiana como es el sector maderero.

Uno de los aspectos que contempla la legislación colombiana en materia de la salud ocupacional consiste en normalizar parámetros que conllevan a mejorar las condiciones de trabajo; para ello no sólo se deben contar con los medios, métodos y/o técnicas que permitan identificar cuáles son estas condiciones de trabajo, sino que además se tiene que poder valorar su grado de adecuación, desde la identificación de situaciones muy desfavorables que se deben modificar con urgencia, a situaciones donde las condiciones de trabajo, en principio, son idóneas. La evaluación de las condiciones de seguridad enfocados a los riesgos químicos del sector en estudio, permitirá implementar medidas que logren disminuir la presentación de las patologías respiratorias por exposición al polvo de la madera de los trabajadores implicados de la región con sus consiguientes repercusiones económicas individuales y regionales.

Desde el punto de vista del conocimiento, la realización de la Tesis permitirá evaluar la incidencia de las patologías respiratorias por exposición al polvo de madera de los trabajadores implicados de la región, con el objetivo de conocer las condiciones de trabajo y salud, la morbi-mortalidad laboral relacionada concretamente con las características morfológicas de las partículas de la madera y además recolectar la información científica necesaria para poder seleccionar un

tejido diferente a la tela no tejida de las mascarillas desechables, permitiendo así la elaboración de una mascarilla específica como parte prioritaria de los elementos de protección personal o individual contra polvo de madera.

Además, desde el punto de vista de la docencia investigativa del Programa de Salud Ocupacional de la Universidad del Quindío, esta investigación generará espacios nuevos para el trabajo de campo de los estudiantes y la realización de actividades tendientes a la promoción y prevención de la salud ocupacional mejorando sustancialmente las condiciones de vida de los trabajadores del sector (Universidad del Quindío, 2005).

### **1.3 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

El departamento del Quindío es uno de los 32 departamentos de Colombia, está ubicado en la parte centro - occidental del país, localizado entre 04° 04' 41" y 04° 43' 18" de latitud norte y entre 75° 23' 41" y 75° 53' 56" de longitud oeste, como se muestra en la Fig. 1.1

La superficie es de 1845 km<sup>2</sup> y limita por el Norte con los departamentos del Valle del Cauca y Risaralda, por el este con el departamento del Tolima, por el sur con los departamentos de Tolima y Valle del Cauca y por el oeste con el departamento del Valle del Cauca (Gobernación del Quindío, 2006).

- ***Geografía***

El Quindío, está localizado en la cordillera central. Por esta ubicación el Quindío cuenta con 1845 km<sup>2</sup> de montañas con guaduales en sus puntas, ríos y quebradas que hidratan al departamento, y valles como el de Cócora.

Entre los picos y montañas del Quindío los más importantes y altos son el Arenal del Quindío, a 5215 m de altura, y el Páramo de Chili a 3500 m.



**Fig. 1.1** Departamento del Quindío. El recuadro de la derecha del mapa de Colombia, se aprecia la localización del departamento como la pequeña zona sombreada de verde.

Quindío es un departamento muy bien hidratado, ya que cuenta con muchas quebradas y ríos, como el río Quindío, que atraviesa todo el departamento cuyas aguas permiten nutrir las palmas de cera del valle de Cócora y haciendo que sea una tierra fértil y verde.

Debido a las diferentes alturas que tiene la geografía del Quindío, su clima también varía, desde frío en el páramo hasta caluroso en las tierras bajas.

- ***Municipios***

Existen doce municipios registrados en el departamento del Quindío, siendo su capital la ciudad de Armenia, seguida por crecimiento poblacional los municipios de Calarcá, Quimbaya, Montenegro, Circasia, La Tebaida, Salento, Filandia, Pijao, Córdoba, Génova, y Buenavista.

- ***Etnografía***

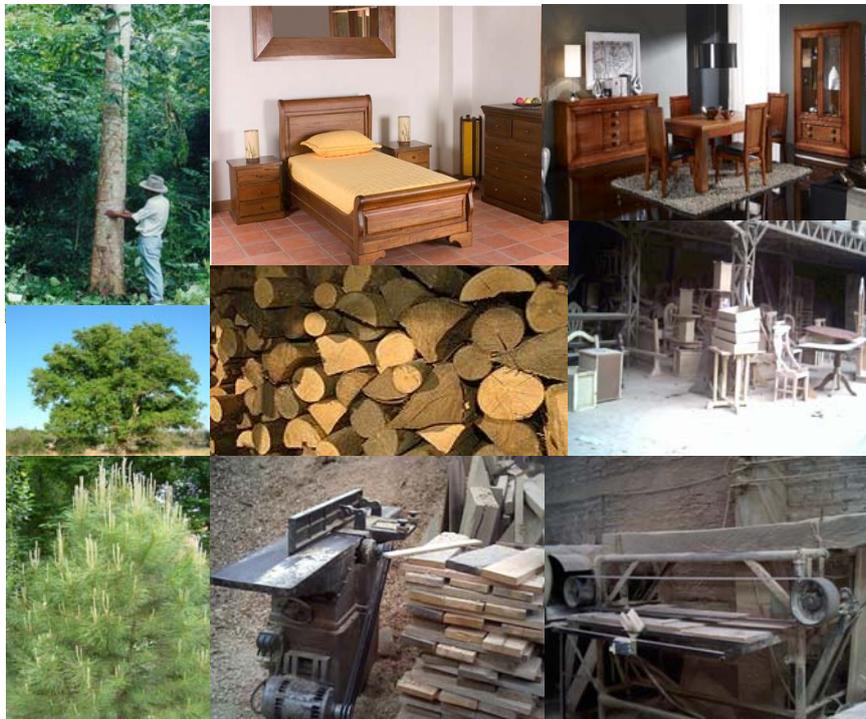
Según datos preliminares del censo de 1993, la población total era de 391426 habitantes, de los cuales 340331 corresponden a las cabeceras municipales y

51095 al sector rural. Hoy día, la población total del departamento es de 612719 habitantes (DANE, 2009) y lo constituyen:

- Blancos (67.12%)
- Castizos (mezcla de blanco y mestizo) (20.09%)
- Mestizos (10.71%)
- Negros, mulatos, moros (2.46%)
- Amerindios o indígenas (0.41%)
- Gitanos (0.01%)

- ***Economía***

Entre las actividades económicas más destacables del departamento podemos citar la agrícola, ganadería, la explotación minera, el turismo rural y la explotación de la madera (Gobernación del Quindío, 2006).



**Fig. 1.2** Serie de fotografías representativas del sector económico de las carpinterías de la región.

## **2 OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la incidencia de patologías respiratorias por exposición al polvo de madera de los carpinteros y ebanistas del departamento del Quindío (Colombia).

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diagnosticar las condiciones de trabajo y salud de los trabajadores del sector de la madera del Quindío.
- Analizar los datos de morbi-mortalidad laboral de los carpinteros y ebanistas por patologías respiratorias generadas por la exposición al polvo de madera.
- Comparar los resultados epidemiológicos de salud pública local, regional y nacional, con la incidencia de las patologías respiratorias por exposición al polvo de madera de los trabajadores del sector en el Quindío.
- Caracterizar el material particulado del polvo por medio del análisis del Microscopio electrónico (SEM) y por energía de dispersión de rayos X (EDXRA).
- Determinar experimentalmente la eficacia en la retención de partículas del polvo de madera en telas no tejidas de las mascarillas desechables y compararlas con otros tipos de tejido.
- Analizar la distribución normal y el diámetro equivalente aerodinámico de las partículas por medio de la simulación de Monte Carlo.

## 2.3 HIPÓTESIS

- El polvo de madera generado por el proceso de la fabricación del mueble incide en la generación de patologías respiratorias en los trabajadores del sector.
- Es posible relacionar las patologías respiratorias y la exposición al polvo de madera en los trabajadores del sector.
- Es posible contar con un tejido diferente al de la tela no tejida para la elaboración de una mascarilla de protección respiratoria que proporcione una mejor retención de partículas en condiciones de alta producción (condiciones extremas de exposición al polvo de madera).

## 2.4 APORTES A LA INVESTIGACIÓN

Esta Tesis pretende contribuir al conocimiento respecto a la exposición laboral de polvo de madera, a través de los siguientes estudios:

- Morbi-mortalidad laboral de los carpinteros del Quindío.
- Caracterización de las partículas del polvo de madera.
- Factores de forma de la partícula (cónica y cilíndrica).
- Selección de nuevas telas diferentes a la tela no tejida para la elaboración de protectores respiradores específicos contra polvo de madera.

## 3. METODOLOGÍA

### 3.1 METODOLOGÍA DESCRIPTIVA OBSERVACIONAL

En el 2006, la Línea de Investigación de Riesgos Químicos de la Universidad del Quindío (Colombia) realizó un estudio descriptivo observacional de las condiciones de trabajo y salud de 10 empresas dedicadas a la ebanistería y carpintería del municipio de Armenia (Colombia), seleccionando a los 177 trabajadores que eran los más expuestos a material particulado de las áreas de lijado, cepillado, inmunizado y pinturas con el fin de detectar patologías relacionadas con la exposición al polvo de madera. El carácter observacional dentro del proceso investigativo, permitió a los estudiantes investigadores cierto nivel de inserción entre los trabajadores y por consiguiente ponerse en contacto con la realidad investigada, con instrumentos claramente definidos en la recolección de datos que sirvió de base para el análisis de la información (Vasallo de López, 1999; Eyssautier, 2002). De acuerdo a los estudios de Brosseau *et al* (2001) y de Lazovich *et al*. (2002b) se tomó una muestra por conveniencia a 10 empresas previamente identificadas, además se tuvo en cuenta la similitud de las tareas de elaboración de muebles de madera (Hamill *et al*, 1991).

Los estudios observacionales son un conjunto de estudios epidemiológicos en los que no hay intervención por parte del investigador, y éste se limita a medir las variables que define en el estudio. Un estudio descriptivo es un tipo de metodología a aplicar para deducir un ambiente o circunstancia que se esté presentando; se aplica describiendo todas sus dimensiones, en este caso se describe el órgano u objeto a estudiar.

Las empresas fueron contactadas por medio de cartas de invitación al estudio por parte de los investigadores de la universidad, y se programó por vía telefónica las visitas de reconocimiento con guías estructuradas y diarios de campo; luego se reunió a los trabajadores para explicar el estudio y obtener el consentimiento escrito y describir los procedimientos del muestreo (ver anexo B). Con la ayuda de los estudiantes jóvenes investigadores de la Línea de Investigación de Riesgos Químicos, los trabajadores escogidos para las encuestas diligenciaron los autorreportes de condiciones de trabajo y de morbilidad sentida (ver anexo B1). Durante todos los procedimientos del muestreo ambiental y de encuesta a los trabajadores estuvieron presentes los coordinadores de las empresas encargados de la Salud Ocupacional y Seguridad Industrial y en algunos casos hasta los empresarios interesados en el estudio. El médico investigador especialista en Salud Ocupacional seleccionó las encuestas de morbilidad sentida cuyas respuestas eran positivas en lo referente a problemas respiratorios (aquellos trabajadores con sospecha de enfermedad respiratoria crónica) para la realización de las historias clínicas ocupacionales.

Para describir las variables de persona, se utilizó la estadística descriptiva (medidas de tendencia central y dispersión: rango, media, mediana, moda, desviación estándar, proporciones o porcentajes). Para el análisis del absentismo laboral, se utilizó los índices descritos por el Ministerio de Protección Social de Colombia al respecto. Los instrumentos del muestreo ambiental que se utilizaron fueron bombas muestreadoras de aire para material particulado, sonómetros, luxómetros, siguiendo los parámetros del reglamento de higiene ambiental del Ministerio de Protección Social de Colombia de 2002 y el método analítico de NIOSH 0500 para polvo total no respirable (ACGIH, 2004), la valoración del riesgo se siguió la metodología de Estrada (1995) recomendada por la Administradora de Riesgos Profesionales del Seguro Social de Colombia (ver anexo B).

En 1998, la *National Institute of Occupational Safety and Health* (NIOSH) publicó en el Programa Nacional de Investigación Ocupacional, las prioridades en la creación de consenso entre los funcionarios de la NIOSH, investigadores interesados y profesionales de la salud en la identificación de riesgos al entorno de trabajo, la mano de obra, la prevención de determinadas enfermedades y lesiones; y la necesidad de aplicación de los instrumentos de investigación enfocadas a la de

seguridad y salud ocupacional. A pesar de la importancia asignada por la NIOSH en la evaluación de las intervenciones para reducir los riesgos para la salud en los lugares de trabajo son pocos los estudios que se han llevado a cabo en proporcionar pruebas aceptables de la eficacia de la intervención y evaluación de riesgos (Lazovich, 2002a).

## 3.2 TAMAÑO DE MUESTRA

### 3.2.1 Muestreo por conveniencia

El muestreo por conveniencia es un subconjunto de una población en donde los elementos son seleccionados según la conveniencia del investigador, porque estaban disponibles en un tiempo o un lugar conveniente. Es un diseño de muestreo en la que se seleccionan aquellos sujetos más fácilmente accesibles que en ocasiones pueden ser voluntarios. El muestreo por conveniencia se trata de una de las técnicas con menos solidez estadística, aunque se utiliza en numerosas ocasiones. Cuando los fenómenos que se investigan son suficientes homogéneos en la población, se reduce el sesgo, pero en la mayoría de las ocasiones lo que prima es la heterogeneidad, por lo que las posibilidades de sesgo en este tipo de diseño son muy elevadas. En este tipo de muestreo se hace eligiendo los elementos que van a conformar la muestra, no de forma aleatoria, sino seleccionando aquellas que cumplan determinadas características (Wannacott and Wannacott, 1997).

### 3.2.2 Tratamientos estadísticos utilizados para los resultados de la eficacia en la retención de partículas.

Una de las pruebas estadísticas más importantes que suele usarse para determinar si las diferencias entre dos conjuntos de datos son reales y significativas o son sólo debidas al azar es el **test t de Student** o **prueba t**. Para aplicar esta prueba se asume que los resultados experimentales son independientes unos de otros y están distribuidos según una distribución normal o gaussiana, lo cual suele ocurrir a medida que aumenta el número de elementos de la muestra.

La prueba **t** de *Student* se suele utilizar para comparar las medias de dos poblaciones de datos. Compara la diferencia observada en las medias con la variabilidad inherente en los datos (que es medida por la desviación estándar), para finalmente decir si la diferencia es significativa o no.

Mediante esta prueba se calcula la probabilidad de que los resultados obtenidos en una investigación puedan ser debidos al azar en el supuesto de que la hipótesis nula sea cierta, es decir, bajo el supuesto de que no existan diferencias entre ambos grupos. Esta probabilidad es el grado de significación estadística o valor de **P**. Basándose en esta probabilidad, se decidirá rechazar o no la hipótesis nula. Así, cuanto menor sea el valor de **P**, menor será la probabilidad de que los resultados obtenidos se deban al azar y mayor evidencia habrá en contra de la hipótesis nula (**H<sub>0</sub>**). Si dicha probabilidad es menor que un valor de **P** fijado previamente (habitualmente se toma  $P < 0.05$ ), la hipótesis nula se rechazará. Así, cuando el valor de **P** está por debajo de 0.05, se dirá que el resultado es estadísticamente significativo y será no significativo en cualquier otro caso (Wannacott and Wannacott, 1997).

O lo que es lo mismo, si el valor calculado de **t** para dicha prueba es mayor en valor absoluto que el valor tabulado de **tc** (que llamaremos **t** crítico) para el número de grados de libertad existentes y para el nivel de confianza considerado, puede afirmarse que existe una diferencia significativa entre las medias de las dos poblaciones comparadas. En nuestro caso, el nivel de confianza considerado es 0.05; por lo tanto, si  $|t| > tc$ , entonces se puede decir que hay por lo menos un 95% de probabilidad de que las dos muestras tengan medias significativamente diferentes.

### 3.2.3 **t** para una muestra pequeña

En estadística, **t** para una muestra se aplica cuando la población se asume ser normal pero el tamaño muestral es demasiado pequeño como para que el estadístico en el que está basada la inferencia esté normalmente distribuido,

utilizándose una estimación de la desviación típica en lugar del valor real. En este caso el  $\sigma$  se desconoce.

Con  $\sigma$  desconocida, el estadístico que desee evaluar el intervalo de confianza debe utilizar una estimación de  $\sigma$ , donde el candidato es más evidente es la desviación estándar  $s$  de la muestra ( $s$ , junto con  $\bar{X}$ , siempre pueden calcularse a partir de los datos de la muestra). Sin embargo, el empleo de  $s$  se introduce una fuente adicional de no confiabilidad, especialmente si la muestra es pequeña. Para conservar el 95% de confianza, entonces es necesario ampliar el intervalo. Lo anterior se lleva a cabo al sustituir el valor  $z_{.025}$  tomado de la distribución normal estándar, por un valor  $t_{.025}$  más grande tomado de una distribución semejante denominada distribución  $t$  de Student. En la Ecuación 3.1 se obtiene el intervalo de confianza del 95% para la media de la población (Wannacott and Wannacott, 1997):

$$\mu = \bar{X} \pm t_{.025} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3.1)$$

$$g.l. = n - 1$$

donde

$\mu$	=	parámetro de la población
$\bar{X}$	=	media de la muestra
$t_{.025}$	=	Los valores obtenidos de los puntos críticos de $t$
$s$	=	la desviación estándar
$n$	=	tamaño de la muestra
$g.l.$	=	Grados de libertad. (Cantidad de información utilizada para calcular $s^2$ ).

### 3.3 MODELO OBRERO (ENCUESTAS)

El objetivo de este estudio es el de profundizar en el conocimiento de la relación salud-trabajo, desde una perspectiva médico-social, en los trabajadores de la madera. Asimismo, poner en evidencia -en una situación concreta- que la participación de los trabajadores en el proceso investigativo es fundamental en la identificación de las condiciones de trabajo nocivas en su entorno laboral.

Generalmente, se asume que los trabajadores como participantes directos en el proceso laboral conocen las condiciones en que éste se desarrolla y los factores de riesgo presentes en el ambiente de trabajo.

Los instrumentos utilizados en el modelo obrero fueron los autorreportes de las condiciones de trabajo y salud que retoma la experiencia del trabajador en el reconocimiento de aquellas condiciones deficientes y nocivas en los puestos de trabajo en que diariamente desempeña sus quehaceres laborales.

### 3.3.1 Autorreporte de las condiciones de trabajo

Para el diseño de la encuesta del autorreporte de las condiciones de trabajo, se clasificaron los factores de riesgo, según se especifica en el anexo B1. Para el diseño de la encuesta de la recopilación de la información, se utilizó la metodología de la Norma Técnica Colombiana GTC 45, como se puede apreciar en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Clasificación de los factores de riesgos laborales de acuerdo a la metodología GTC 45 (NTC-GTC-45, 1997)

<b>Factor de riesgo</b>	<b>Concepto</b>
<b>Físico</b>	Son todos aquellos factores ambientales de naturaleza física que pueden provocar efectos adversos a la salud según sea la intensidad, exposición y concentración de los mismos
<b>Químico</b>	Toda sustancia orgánica e inorgánica, natural o sintética que durante la fabricación, manejo, transporte, almacenamiento o uso, puede incorporarse al aire ambiente en forma de polvos, humos, gases o vapores, con efectos irritantes, corrosivos, asfixiantes o tóxicos y en cantidades que tengan probabilidades de lesionar la salud de las personas que entran en contacto con ellas.
<b>Biológicos</b>	Todos aquellos seres vivos ya sean de origen animal o vegetal y todas aquellas sustancias derivadas de los mismos, presentes en el puesto de trabajo y que pueden ser susceptibles de provocar efectos negativos en la salud de los trabajadores. Efectos negativos se pueden concertar en procesos infecciosos, tóxicos o alérgicos.
<b>Psicolaborales</b>	Se refiere a aquellos aspectos intrínsecos y organizativos del trabajo y a las interrelaciones humanas que al interactuar con factores humanos endógenos (edad patrimonio genético, antecedentes psicológicos) y exógenos (vida familiar, cultural...etc.), tienen la capacidad potencial de producir cambios sociológicos del comportamiento (agresividad, ansiedad, satisfacción) o trastornos físicos o psicosomáticos (fatiga, dolor de cabeza, hombros, cuello, espalda, propensión a la úlcera gástrica, la hipertensión, la cardiopatía, envejecimiento acelerado)
<b>Por carga física</b>	De acuerdo con la Resolución 1016 de 1989 del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social y de Salud, plantea el término "Factores de riesgo Psicosociales" como no siempre la empresa tiene los recursos para abordar en forma integral los factores de riesgo propios de las condiciones de vida en general, se restringió el concepto a los factores agresivos que genera directamente la organización. De ahí que se utilice el término factores de riesgo psicolaborales, en vez de Psicosociales.
<b>Seguridad</b>	Se refiere a todos aquellos aspectos de la organización del trabajo, de la estación o puesto de trabajo y de su diseño que pueden alterar la relación del individuo con el objeto técnico produciendo problemas en el individuo, en la secuencia de uso o la producción. <b>Mecánico:</b> objetos, máquinas, equipos, herramientas que por sus condiciones de funcionamiento, diseño o por la forma, tamaño, ubicación y disposición del

Factor de riesgo	Concepto
<b>Saneamiento Básico Tránsito</b>  <b>Fenómenos naturales Social</b>	<p>último tienen la capacidad potencial de entrar en contacto con las personas o materiales, provocando lesiones en los primeros o daños en los segundos.</p>
	<p><b>Eléctricos:</b> se refiere a los sistemas eléctricos de las máquinas, los equipos que al entrar en contacto con las personas o las instalaciones y materiales pueden provocar lesiones a las personas y daños a la propiedad.</p>
	<p><b>Almacenamiento y movilización inadecuada de cargas:</b> Comprende los factores relacionados con las actividades de almacenamiento y movilización de objetos.</p>
	<p><b>Incendio y explosión:</b> en este grupo se incluyen los objetos, sustancias, operaciones, organización de brigadas, alarmas, fuentes de calor, sistemas eléctricos, que en condiciones de inflamabilidad, combustibilidad o de defectos, pueden ocasionar incendios y/o explosiones.</p>
	<p><b>Locativos:</b> condiciones de las instalaciones o áreas de trabajo que bajo circunstancias no adecuadas pueden ocasionar accidentes de trabajo o pérdidas para la empresa.  Se refiere a las deficiencias o inadecuado manejo de las fuentes de agua, de los desechos y basuras que produce la empresa.  Se relaciona con los factores que implican movilización peatonal, vehicular que implica mantenimiento mecánico y adecuada señalización para evacuación de áreas.  En relación con preparación y respuesta ante emergencias de origen natural: huracán, terremoto, inundación, etc.  Corresponde a condiciones de riesgo para el personal frente a actos como hurtos, asaltos, paros mítines, entre otros.</p>

### 3.3.2 Consentimiento informado

Se entiende por consentimiento informado la aceptación libre de un enfermo, paciente o entrevistado, expresada por escrito, de un acto de diagnóstico o terapéutico después de haber sido informado adecuadamente. Los requerimientos básicos necesarios para que sea válido son: libertad de decisión, competencia para decidir e información suficiente. La información tiene que darse con tiempo para assimilarla y de una manera clara y comprensible cuando se tenga que practicar al paciente un procedimiento diagnóstico o terapéutico invasivo y en general siempre que se trate de procedimientos que comporten algún riesgo para la salud. Para que quede constancia de que se ha producido este consentimiento, la persona que reciba la información firmará un documento del que tendrá derecho a recibir una copia. Asimismo, en cualquier momento, la persona afectada podrá revocar libremente su consentimiento aunque ya lo haya firmado (Borau, 2009).

El consentimiento informado escrito es el documento que busca dar fe de la autorización que un paciente o su representante legal emiten para que se le realice

un procedimiento, en este caso autorreporte de las condiciones de trabajo y salud. Una relación adecuada, honesta y cordial, permite transmitir la información pertinente, de una manera empática, para así lograr una autorización entendida, competente y voluntaria.

El consentimiento informado se anexa junto a las encuestas del autorreporte de condiciones de trabajo y salud y para que sea legalmente válido, un miembro del equipo investigador explica y describe el procedimiento y el (la) trabajador o su representante lo firma (ver anexo B).

### 3.3.3 Autorreporte de las condiciones de salud

Para la encuesta de morbilidad sentida se agruparon las preguntas a las que el trabajador respondía de forma afirmativa, si así lo consideraba, como se puede apreciar en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Condiciones de salud (Universidad del Quindío, 2006)

<b>Condiciones de salud</b>
Está en sobrepeso.
Ha tenido dolores de cabeza por lo menos dos veces a la semana.
Ha tenido ardor, irritación, enrojecimiento en los ojos.
Tiene dificultad para ver de lejos y/o de cerca.
Ha tenido gripas frecuentes.
Ha tenido congestión y/o dolor a los lados de la nariz o la frente.
Ha tenido escurrimiento o secreción por la nariz, de mal olor o color verdoso.
Ha tenido dolores de muela.
Frecuentemente le dan ataques de tos.
Cuando tose desgarrar flemas.
Ha tenido pérdida de la audición por algún oído.
Le han supurado los oídos.
Ha tenido vértigo (pérdida de equilibrio, mareo, cosas que dan vueltas) frecuentemente.
Ha sufrido alteraciones de la voz (ronquera) frecuentemente.
Ha sufrido alteraciones de la garganta (rasquiña, carraspeadera) frecuentemente.
Le falta aire o se sofoca al subir un piso por las escaleras.
Ha tenido dolor o sensación de opresión y/o pesadez en el pecho.
Se le hinchan las piernas, tobillos o pies al finalizar el día.
Tiene que sentarse en la cama en la noche, por falta de aire o tos que aparece de repente.
Ha tenido con frecuencia agrieras o acidez.
Ha tenido ardor en la boca del estómago (gastritis) con frecuencia.
Ha tenido vómito con sangre.
Ha tenido estreñimiento (hacer del cuerpo cada tercer día o más).
Ha tenido diarrea (hacer del cuerpo más de cinco (5) veces al día y de características blanda o líquida).
Ha tenido rasquiña en el ano.
Ha tenido ardor al orinar.
Orina frecuentemente y en forma escasa.
Ha tenido dolor fuerte o rigidez en algún hombro, brazo o mano y que le dure varios días.
Ha tenido dolor fuerte o rigidez de cadera, rodilla, piernas o pies que le dure varios días.
Ha tenido dolor e hinchazón y enrojecimiento en alguna articulación por más de cinco (5) días.
Ha tenido dolor en la parte baja de la espalda que le dificulte o impida realizar su trabajo.
Ha tenido dolor en la parte superior de la espalda.
Ha tenido heridas, lesiones musculares y/o de huesos.

---

**Condiciones de salud**


---

Ha sufrido accidentes de trabajo (lesiones físicas ocurridas a causa del trabajo que realiza).  
 Ha sufrido lesiones como consecuencia de prácticas deportivas desarrolladas por la empresa.  
 Ha padecido de enfermedades diagnosticadas como de origen profesional (producidas por el trabajo que realiza).  
 Tiene várices en las piernas.  
 Ha tenido úlceras o llagas que no sanan en piernas o pies.  
 Ha tenido algún tipo de roncha o alergia en la piel.  
 Ha tenido rasquiña o resequedad en la piel.  
 Tiene hongos en pies, ingles o en otra parte del cuerpo.  
 Al levantarse por la mañana se siente cansado.  
 Tiene temporadas de agotamiento o fatiga.  
 Se irrita o inquieta fácilmente.  
 Le cuesta trabajo dormirse o permanecer dormido.  
 Ha estado hospitalizado en alguna institución para enfermos mentales o nerviosos.  
 Tiene pesadillas frecuentemente.  
 Se siente a menudo triste o infeliz.  
 Pierde la paciencia o se enfurece fácilmente.  
 Ha tenido problemas con su actividad sexual.  
 En las relaciones sexuales de los últimos seis meses, no ha usado condón para protegerse contra el SIDA o las ETS.  
 Tiene una pareja sexual estable.

**Conteste sólo si es mujer**

Se ha detectado por palpación masas en los senos o axilas.  
 Ha tenido secreción por el pezón en período diferente a la lactancia.  
 No se ha practicado la citología en el último año.  
 Ha tenido secreciones vaginales de mal olor y/o rasquiña.  
 Ha presentado alteración en la menstruación (sangrado abundante).

**Conteste sólo si es hombre**

Ha tenido alguna lesión en el miembro (pene).  
 Ha sufrido de disminución del calibre del chorro urinario, goteo después de orinar y/o orinadera frecuente.

---

Las encuestas de morbilidad sentida y las historias clínicas ocupacionales fueron diligenciadas por el médico ocupacional de la Universidad del Quindío. La confidencialidad del encuestado fue respetada de acuerdo con la ética establecida por la Resolución 08430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia. Además, el médico elaboró un informe reportando el resultado de las encuestas de morbilidad sentida al igual que las historias clínicas ocupacionales (Sánchez, 2006).



## 4. ESTUDIO BIBLIOGRAFICO

### 4.1 CARACTERÍSTICAS DEL POLVO DE MADERA

El material particulado del polvo de madera es una mezcla compleja de celulosa fundamentalmente, poliosas y lignina. Las maderas utilizadas en la fabricación del mueble pueden ser duras y blandas. Las maderas duras tienen una mayor densidad que las maderas blandas, fibras más cortas, con un mayor contenido de poliosas, hemicelulosas y sustancias solubles en solventes polares (taninos, flavonoides, quinonas) y menor contenido de lignina que las maderas blandas. Las maderas duras son aquellas que proceden de árboles de hojas caducas que tardan décadas e incluso siglos en alcanzar el grado de madurez suficiente para ser cortados para la elaboración de muebles, vigas de caseríos o viviendas unifamiliares, son más costosas, apetecidas y atractivas que las maderas blandas (Mutua Navarra, 2004).

Las fibras de la madera dura son muy buenas para la elaboración del papel opaco siendo excelente para la impresión (Lundqvist, 2002).

Las maderas son seleccionadas según las características de resistencia y facilidad de moldeo que presenten las mismas. Igualmente, a nivel ocupacional, el TLV de la exposición a polvo de madera varía según el tipo de madera utilizado, así:

Maderas duras	1 mg/m <sup>3</sup>	ejemplo: roble (ACGIH, 2004)
Maderas blandas	5 mg/m <sup>3</sup>	ejemplo: granadillo, abarco, pino (ACGIH, 2004)

Son muchas las sustancias inmunizantes que se utilizan para evitar el ataque de hongos y plagas que puedan deteriorar la madera. Algunas de ellas han sido el alquitrán de hulla y productos organofosforados. En toxicología ocupacional se debe

tener en cuenta que los plaguicidas, además del compuesto químico que combate la plaga, contienen sustancias en las cuales se disuelve el producto, generalmente solventes orgánicos, cuyas propiedades tóxicas pueden ser mayores que las del mismo principio activo (CCS, 1998b). Dentro de los plaguicidas, los llamados organoclorados parecen alterar la estructura mielínica de las fibras nerviosas provocando trastornos de la conducción nerviosa. Los plaguicidas organofosforados actúan sobre el sistema nervioso central a partir de la inhibición de la colinesterasa, sustancia básica en el proceso electroquímico de transmisión de los impulsos nerviosos (CCS, 1998b).

Los compuestos orgánicos generan vapores que penetran por las vías respiratorias al ser inhalados, la ruta que siguen, una vez penetran en la región alveolar, es el torrente sanguíneo y de esta forma llegan rápidamente a sistemas y órganos importantes generando enfermedades que pueden causar hasta la muerte. Las pinturas, tintillas, selladores, thinner, limpiadores, tienen como base, compuestos orgánicos que pueden ser tolueno, xileno, alcohol isopropílico, metanol, acetato de etilo, ciclohexanona, entre otros. Estas sustancias a exposiciones crónicas pueden reducir o incluso destruir funciones de las células nerviosas, alterar la función renal, hepática, de la médula ósea, etc. Y en efectos agudos producen irritación de vías respiratorias, ojos, dermatitis, fatiga, cansancio, mareo, debilidad muscular, dolor de cabeza y finalmente por una pérdida de conciencia, estos efectos generalmente son temporales cuando el trabajador se le retira la causa de los efectos (CCS, 1998a; Piscocoya-Arbañil J, 2000). Si hay presencia de benceno, además de los efectos anteriormente descritos, se produce una severa alteración sanguínea reduciendo el conteo de leucocitos y eritrocitos generando leucemia (Londoño, 1996; Piscocoya-Arbañil J, 2000).

Las sustancias químicas más utilizadas en los acabados de la madera noble son las siguientes:

**Resinas fenólicas:** Estos compuestos pueden producir en la piel, acné, quistes sebáceos, pústulas. También producen irritación en los ojos y vías respiratorias altas. En exposición crónica causan lesiones hepáticas, que incluye síntomas como vómitos, náusea, dolor abdominal y fatiga (Londoño, 1996).

**Adhesivos:** en los procesos finales de acabado donde es necesario unir piezas, se utilizan adhesivos de diferentes composiciones. También en el laminado de la fórmica, se incluye el uso de adhesivos (MVSA, 2002). Los adhesivos tipo "hot melt" tienen como compuestos principales polipropileno y parafina, lo que significa una exposición a vapores orgánicos a bajas concentraciones, es decir, a niveles molestos; los más conocidos son (MVSA, 2002):

"Fast bond" son adhesivos a base de agua, que generan neblinas con un bajo contenido de vapores orgánicos de neopreno.

"Jet weld" es utilizado para hacer soldadura, tienen como base poliuretano y parafina. Los poliuretanos son reactivos en las vías respiratorias, ocasionando asma de tipo ocupacional, especialmente en personas sensibles a este tipo de compuestos.

Los adhesivos utilizados en aerosol para la fórmica tienen como componente base, los esteroides, los cuales son compuestos orgánicos que tienen efectos anestésicos irritación en vías respiratorias e irritación pulmonar. Los adhesivos convencionales tienen componentes orgánicos como tolueno, ciclohexanona, los cuales como se comentó anteriormente afectan el sistema nervioso central, hígado, riñones etc.

**Amoniaco:** Este compuesto está presente en las resinas ureicas, en los procesos de encolado y en el proceso de mezclas con fibras o bagazo. Es irritante de vías respiratorias, ojos y piel, y produce efectos sistémicos como dolor de cabeza, náusea vómito, así como irritación aguda de vías respiratorias que conduce a edema pulmonar (Londoño, 1996).

## **4.2 EFECTOS ADVERSOS PARA LA SALUD ASOCIADOS CON EL POLVO DE LA MADERA**

La diversidad de efectos adversos que ocasiona la exposición al polvo de madera puede apreciarse en la Tabla 4.1.

**Tabla 4.1** Efectos adversos para la salud por exposición al polvo de madera

<b>Órgano afectado</b>	<b>Efectos adversos</b>	<b>Investigadores</b>
<b>Piel</b>	La sensibilización, seguida de la dermatitis es el efecto más problemática de la piel y es causada por la exposición al polvo fino de madera de algunas especies. Es también conocido como la dermatitis alérgica de contacto. Una vez sensibilizadas, el cuerpo crea una reacción alérgica, y la piel puede reaccionar severamente si posteriormente se expone a muy pequeñas cantidades de polvo de la madera. Muchas maderas se utilizan regularmente sin efecto aparente, pero esto depende de las especies involucradas, la concentración y la amplitud de la exposición, y los niveles de agentes tóxicos dentro de la madera, así como la sensibilidad del usuario a la madera.	(HSE, 1997; Becerril, 2004; Edman et al, 2003)
<b>Respiratorio y efectos ligados</b>	Por procesos industriales de la madera, el polvo es causante de varias enfermedades del tracto respiratorio, se han reportado enfermedades no malignas y síntomas asociados a la exposición al polvo de madera incluyendo a la rinitis alérgica, bronquitis crónica, asma, alveolitis alérgica y Síndrome del Polvo Orgánico Tóxico (SPOT) y cáncer nasal (exposición de maderas duras).	Enfermedades respiratorias no malignas como el asma (Lazovich et al., 2002a; HSE, 1997; Mikkelsen et al., 2002), bronquitis crónica, Inflamación nasal y deterioro de la función pulmonar (Määttä et al., 2006; HSE, 1997; Mikkelsen et al., 2002).  La exposición a ciertos tipos de madera dura como el Cedro Rojo Occidental, el Roble, Abachi e Iroko pueden causar el asma (Mikkelsen et al, 2002). Síntomas respiratorias (Mikkelsen et al., 2002; Schlünssen et al. 2001), inflamación aguda de la mucosa (Schlünssen et al., 2001) y el incremento de la hiperreactividad bronquial (Schlünssen et al, 2001), HSE, 1997; MVSA, 2002
<b>Ojos</b>	Ardor y dolor; lagrimeo; conjuntivitis	(HSE, 1997; Mikkelsen et al., 2002 )
<b>Todo el cuerpo</b>	La inhalación de polvo de madera puede tener en general efectos en todo el cuerpo como dolores de cabeza, sed, náuseas, trastornos visuales, somnolencia, anemia y hepatitis.	(HSE, 1997)
<b>Otros</b>	Algunos estudios apuntan a otros efectos adversos a la salud, como: los efectos sobre las células germinales (por ejemplo, espermatozoides), y trastornos del sistema linfático (linfoma Hodgkins')	(HSE, 1997; Lazovich et al., 2002b; OSHA, 1989; Vaughan et al, 2000)
<b>Heridas de astillas</b>	Las heridas de astillas de una serie de árboles tardan en curar y, a menudo, a su vez se infectan, por ejemplo las astillas de corazón verde, Mansonia que generan infecciones secundarias, de las bacterias y hongos que entran a través de la piel	(HSE, 1997)

### 4.2.1 Cáncer ocupacional

El polvo de madera ha sido asociado con varios tipos de cáncer incluyendo el de nasal, pulmón y tracto gastrointestinal, y la enfermedad de Hodgkin. De todas estas enfermedades la evidencia epidemiológica más frecuente es el cáncer nasal. En 1964 la IARC declaró el polvo de madera dura como cancerígeno (Lazovich *et al.*, 2002b; OSHA, 1989; Vaughan *et al.*, 2000) y en 1995 la IARC nuevamente ratificó al polvo de madera como cancerígeno humano e mostró el aumento de tumores de cáncer nasal, sinonasal y de pulmón en trabajadores expuestos al polvo de madera de los EEUU (Barcenas *et al.*, 2005; IARC, 1995). Un estudio de caso-control en EEUU del Instituto Nacional del Cáncer programa SEER mostró que la exposición ocupacional al formaldehído (pero no al polvo de madera) aumenta el riesgo de cáncer nasofaríngeo que, sumado a la exposición al polvo de madera dura y el consumo del tabaco, contribuyen al desarrollo del cáncer más rápidamente (Vaughan *et al.*, 2000, Hildesheim *et al.*, 2001). El lapso del tiempo entre la exposición ocupacional al polvo de madera y del desarrollo del adenocarcinoma nasal se calcula alrededor de 40 años (en un rango de 7-70 años) (Magnavita *et al.*, 2003).

La exposición al polvo de madera es un factor de riesgo potencial para el cáncer de pulmón (Bárcenas *et al.*, 2005). El cáncer de pulmón tiene una mortalidad de un 17.8% a nivel mundial. Sólo en EEUU en el 2004, de un estudio realizado a 93110 hombres y a 80660 mujeres se les diagnóstico cáncer de pulmón que correspondían a un 13% y 12%, respectivamente. Se ha estimado que el número de muertes por cáncer de pulmón ocurridos en 2004, en EEUU fue de 91930 (32% de todas las muertes por cáncer) en hombres y 68510 (25%) en mujeres, siendo así la causa principal de muerte (Barcenas *et al.*, 2005, Vaughan *et al.*, 2000). El potencial carcinogénico del polvo de madera es biológicamente plausible debido a sus componentes que penetran en el pulmón. Las causas específicas de los mecanismos de la reacción química de las moléculas del polvo de madera en el desarrollo del proceso inflamatorio de las vías respiratorias aun no han sido definidos, sin embargo, sí se pueden determinar los componentes de los aditivos químicos usados durante el proceso industrial de la madera y se puede determinar físicamente las partículas del polvo de madera como agentes agresores del TR (Määttä *et al.*, 2005).

En todo el mundo cerca de 2/3 partes de la industria de la madera utilizan maderas blandas (coníferas) y 1/3 parte de madera dura (árboles caducos). Las más cosechadas son las maderas duras para combustible (IARC, 1995). En 1990, EEUU produjo un 24% de toda la madera aserrada en todo el mundo (IARC, 1995).

Otros estudios realizados por Decker *et al.* (2002) en empresas madereras de la construcción del área metropolitana de la ciudad de New York, detectaron metales pesados en el tratamiento de la madera como el arsénico, cobre y cromo, considerados por la IARC como agentes cancerígenos humanos que, combinados con el polvo de madera dura, incrementan más rápidamente la probabilidad de generar cáncer en la región nasofaríngea y sistema respiratorio, con el agravante además de efectos independientes o combinados en la salud de los trabajadores (Decker, 2002).

#### **4.2.2 Respuesta inmunológica a agentes agresores como el polvo de madera**

Según estudios realizados por Määttä *et al.* (2005), la inflamación de las vías respiratorias en ratones expuestos al polvo de madera del abedul y roble se caracteriza por el aumento de eosinófilos y linfocitos en las vías respiratorias. Además, se detecta un aumento en los niveles de citoquina proinflamatoria interleucina 8 (IL-8) en fluidos del lavado bronco alveolar (LBA) y una elevación del porcentaje de neutrofilos en ratones sanos después de la exposición de polvo y viruta de madera (Määttä *et al.*, 2005).

El ácido plicático ha sido identificado como agente causante del asma del cedro rojo occidental (Määttä *et al.*, 2005).

El ARNm en citoquinas reguladoras de Factor de Crecimiento Transformador beta (*Transforming Growth Factor beta* TGF- $\beta$ ) aumentó en los ratones expuestos a polvo de roble; esta citoquina TGF- $\beta$  es muy importante ante respuestas inmune de fibrosis, angiogénesis e inmunosupresión en cáncer. Las TGF- $\beta$  tienen muchas funciones reguladoras y antiinflamatorias (Määttä *et al.*, 2006). Se detectó que las TGF- $\beta$  regulan la producción de monoquinas inflamatorias y promueven el desarrollo de la respuesta inmune a la fibrosis alveolitis en células inducidas a la exposición al polvo de madera (Määttä *et al.*, 2006). Además, los macrófagos

alveolares de los pacientes que tienen bronquitis crónica o asma, liberan mayores cantidades de TGF- $\beta$  y en menor grado de fibronectina en asma (Määttä *et al.*, 2006). Son características del asma alérgico, la hipersensibilidad de las vías respiratorias y el aumento de los niveles de citoquinas (antígenos a los linfocitos T ayudadores Th-2) en los pulmones junto con la producción de anticuerpos de la Inmunoglobulina E (Ig-E es un anticuerpo producido por reacciones alérgicas) (Määttä *et al.*, 2006).

### 4.2.3 Efectos irritantes

El pino y el abeto contienen monoterpenos  $\alpha$ -pineno,  $\beta$ -pineno y  $\Delta^3$ -careno como principales metabolitos secundarios (Edman *et al.*, 2003). Estos metabolitos se liberan no sólo durante la mecánica del tratamiento de la madera, sino también durante el almacenamiento del aserrín y viruta de madera (Edman *et al.*, 2003). Los monoterpenos pueden causar dermatitis alérgica y no alérgica en la piel (eccemas); también son irritantes oculares y de las mucosas en vías aéreas. Los monoterpenos pueden penetrar fácilmente las diferentes barreras del cuerpo y la captación de pinenos puede producirse a través de los pulmones, el tracto gastrointestinal y la piel (Edman *et al.*, 2003).

El polvo de madera de pino y abeto puede causar irritación en los ojos y las vías respiratorias superiores a niveles de concentración en el aire entre 0.1 y 6.3 mg/m<sup>3</sup>. También hay indicios de que el polvo de madera con concentraciones de 1 mg/m<sup>3</sup> puede causar la reducción de la función pulmonar (Edman *et al.*, 2003).

Un problema conocido en el almacenamiento del aserrín es la alveolitis alérgica, debido al moho que genera el aserrín húmedo, en el almacenamiento de la madera se han identificados compuestos químicos como el hexanal, acetona, el metanol y el monóxido de carbono. Una concentración del hexanal de 28 mg/m<sup>3</sup> es irritante para los ojos, la piel y las vías respiratorias. Los hidroperóxidos de monoterpenos, especialmente  $\Delta^3$ -careno, son agentes alergénicos. Las resinas de pino y abeto contienen otros derivados de terpenos como los ácidos resínicos. Sus principales componentes son el ácido abiético y el ácido dehidroabiético, que son fácilmente oxidados por el aire. La oxidación del ácido es el causante de la alergia de contacto, el asma ocupacional y la urticaria (Edman *et al.*, 2003; Davies *et al.* 1999; Teschke *et al.*, 1999a, 1999b).

#### **4.2.4 Enfermedad respiratoria crónica no específica**

El comité de expertos de la OMS para la identificación y control de enfermedades relacionadas con el trabajo, estableció que “enfermedad respiratoria crónica no específica es un término general para describir el grupo de afecciones en las cuales existe producción crónica de esputo y/o respiración dificultosa durante el reposo y/o el ejercicio. Entre esas afecciones se incluyen bronquitis crónica, enfisema y asma bronquial. Todas estas enfermedades pueden ser exacerbadas en forma aguda o crónica y complicadas por infecciones respiratorias. Se trata sin duda de enfermedades de etiología múltiple, que representan un ejemplo de carácter laboral o relacionarse en parte con el trabajo y también con fenómenos sociales de urbanización e industrialización”. El comité llamó la atención al hecho de que un mismo polvo, el polvo de algodón, puede causar una enfermedad profesional clásica (bisis) y una enfermedad respiratoria crónica no específica. Cabe agregar que otra enfermedad respiratoria, el asma, cuando es causada por cierto agente, puede clasificarse, para fines de compensación laboral, como enfermedad profesional en un país y no en otro, pese que es causada por el mismo agente. Asimismo, la bronquitis se clasifica como enfermedad profesional en algunos países, pero no en todos (OMS, 1989).

#### **- *Mecanismos de depósito y adopción de las partículas en el tracto respiratorio (TR)***

El tracto respiratorio (TR) se divide en tres grandes regiones: la primera región superior incluye la nariz, la boca, nasofaringe, orofaringe, epiglotis y la laringe; la segunda región media incluye las vías respiratorias de la tráquea y los bronquiolos terminales; y la tercera región inferior pulmonar incluye los bronquiolos respiratorios, conductos alveolares, sacos alveolares y alvéolos (ver Figs. 4.1 y 4.2).

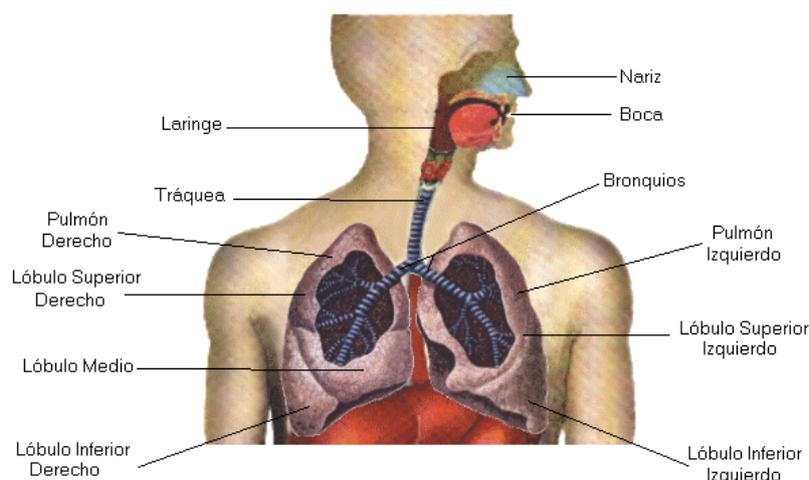


Fig. 4.1 Tracto respiratorio (TR) del cuerpo humano

La región superior del TR es importante por dos razones: en primer lugar, es una zona potencial de lesión debido que es la principal vía de entrada del polvo de madera; en segundo lugar, la eficiencia de absorción por diversos agentes inhalados afecta la dosimetría a la zona inferior del TR (ATS, 1996).

#### NARIZ Y CAVIDADES NASALES

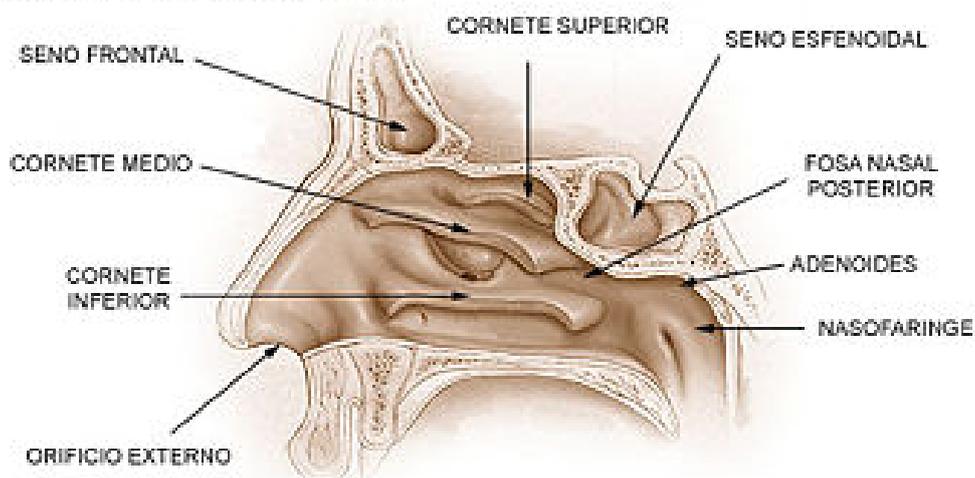


Fig. 4.2 Región superior del TR, nariz y cavidades nasales.

Durante la respiración buco nasal, aproximadamente el 45 al 60% del flujo de inspiración es a través de la vía oral, por lo que se aplican diferentes principios en la deposición de partículas esféricas y de fibras. El depósito de partículas esféricas

no higroscópicas en las vías respiratorias es por tres mecanismos principales: impacto inercial, sedimentación gravitacional y la difusión browniana.

El llamado impacto inercial es responsable de los depósitos en la nariz y vías mayores. La sedimentación es el mecanismo responsable de la mayoría de los depósitos en las vías aéreas proximales; la sedimentación gravitacional ocurre cuando una partícula se instala a partir de un flujo de aire debido a la fuerza de gravedad. La probabilidad de depósito de las partículas depende del diámetro aerodinámico. Y la difusión browniana afecta sólo a las partículas más pequeñas (menos de  $0.01 \mu\text{m}$ ). Las partículas mayores ( $10 \mu\text{m}$  o más) suspendidas en el aire inhalado, se depositan en las porciones próximas de las vías respiratorias. Sólo las de menor tamaño penetran profundamente hasta los bronquiolos respiratorios y alvéolos. No sólo es importante el tamaño de la partícula, sino también la forma y la densidad (ATS, 1996). La intercepción es responsable del depósito de partículas irregulares y fibrosas. Las partículas fibrosas largas tienden a orientarse en el sentido de la corriente aérea y evitan la sedimentación y el impacto inercial en las vías mayores, hasta que son interceptadas por colisión en las paredes de los bronquiolos terminales y respiratorios, especialmente en las bifurcaciones (Klassen *et al.*, 1986).

Para las partículas  $< 0.5 \mu\text{m}$  de diámetro, el impacto inercial y la sedimentación no son importantes, pero la difusión browniana se convierte en un mecanismo dominante, ya que las partículas más pequeñas se difunden con mayor rapidez. Al disminuir de tamaño, las partículas ( $< 0.01 \mu\text{m}$ ) empiezan a comportarse cada vez más como un gas altamente reactivo. Cuanto más pequeño sea el tamaño de la partícula, más vigoroso será el movimiento. La difusión es el mecanismo más importante en la deposición en las vías aéreas más pequeñas y los alvéolos (Klassen *et al.*, 1986).

Tabla 4.2 Factores que influyen en la deposición de partículas en el sistema respiratorio  
(Klassen *et al.*, 1986)

Tamaño de la partícula	Área del sistema respiratorio con más probabilidad de depósito	Método de deposición	Cambio direccional del movimiento del aire	Velocidad del aire
5 - $30 \mu\text{m}$	Región naso-faríngea (vías aéreas superiores, nariz y garganta)	Impacto	muy abrupto	++++

Tamaño de la partícula	Área del sistema respiratorio con más probabilidad de depósito	Método de deposición	Cambio direccional del movimiento del aire	Velocidad del aire
1 - 5 $\mu\text{m}$	Tráquea, región bronquial y bronquiolar (tráquea y las ramas más grandes de los pulmones)	Sedimentación	menos abrupto	+++ a ++
1 $\mu\text{m}$ o menos	Región alveolar (ramas más pequeñas del pulmón y áreas de intercambio del aire)	Difusión	mediano	+ a 0

### 3.2.4.1 Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)

La enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), constituye una de las causas más importantes de mortalidad en los países desarrollados (Lucas-Ramos *et al.*, 2008) y actualmente ocupa el cuarto lugar a nivel mundial como causa de muerte y se estima que podría llegar a ocupar el tercer lugar para el 2020 (Astete-Juárez *et al.*, 2004).

La EPOC se define como una "enfermedad caracterizada por limitación al flujo aéreo la cual no es totalmente reversible y es usualmente progresiva. Esta limitación se asocia con una respuesta inflamatoria anormal de los pulmones y la vía aérea cuyos factores de riesgo más importantes son la exposición a partículas nocivas y gases, principalmente derivados del consumo de tabaco y exposición a humo de leña". El conocimiento de la prevalencia de EPOC es incompleto. El estudio epidemiológico de la EPOC en España (IBERPOC) ha demostrado que en ese medio la prevalencia de obstrucción crónica al flujo aéreo en la población general es del 9.1%, en edades comprendidas entre los 40 y los 70 años, con una relación varón/mujer de 4:1.

Una manera rápida para detectar una EPOC es la realización de una espirometría al trabajador.

La espirometría es la técnica que mide los flujos y volúmenes respiratorios útiles para el diagnóstico y seguimiento de patologías respiratorias. Puede ser simple o forzada.

- **La espirometría simple** consiste en solicitar al paciente que, tras una inspiración máxima, expulse todo el aire de sus pulmones durante el tiempo que necesite para ello.
- **La espirometría forzada** es aquella en que, tras una inspiración máxima, se le pide al paciente que realice una espiración de todo el aire, en el menor tiempo posible. Es más útil que la anterior, ya que nos permite establecer diagnósticos de la patología respiratoria.

### **- Exposición laboral**

Existe una dificultad apreciable para concluir que la exposición laboral actúa como factor de riesgo en la génesis de EPOC. La coexistencia de posible exposición en el ámbito laboral y el hábito tabaquista de los trabajadores, dificultan el análisis epidemiológico.

Resulta útil conceptualizar la exposición personal como la "carga total de partículas inhaladas". Cada tipo de partícula dependiendo de su tamaño y composición puede contribuir en diferente medida al riesgo de adquirir EPOC (ver Tabla 4.3).

Recientes datos (Astete-Juárez *et al.*, 2004), indica que la fracción de EPOC atribuida al trabajo fue estimada en un 19.2% del total, y un 31.1% en no fumadores.

Resultados de una espirometrias, han demostrado una mayor tasa de caída del Volumen espiratorio en el primer segundo (*VEF1*) en trabajadores expuestos a polvos de origen mineral, minería del carbón, trabajadores de fundiciones y de fábricas de productos vegetales y algodón. En todo caso se acepta que en casos de exposición suficientemente intensa y prolongada, determinados agentes como los citados con anterioridad, pueden originar una EPOC, con independencia de que a dicha exposición se adicione la presencia de tabaquismo activo.

La exposición ocupacional a polvo inorgánico u orgánico, humo y gases se ha relacionado con bronquitis crónica y puede aumentar la tasa de disminución anual de la función pulmonar. Actualmente se plantea la hipótesis de que trabajadores que han sido expuestos al aire contaminado de túneles por espacio de un año

podrían tener signos tempranos de inflamación de vías aéreas altas y bajas, en comparación a sujetos que laboran al aire libre.

Debido al tamaño de las partículas generadas por las operaciones de las industrias madereras, la nariz es el destino natural de los efectos de la exposición al polvo de madera. Se han documentado muy diversos efectos como rinitis, sinusitis, obstrucción nasal, hipersecreción nasal y eliminación mucociliar deficiente. La exposición al polvo de madera se ha relacionado también con efectos para el tracto respiratorio inferior como el asma, la bronquitis crónica y la obstrucción respiratoria crónica.

La exposición a los productos químicos utilizados como adhesivos en la industria maderera puede tener asimismo efectos en el sistema respiratorio. El formaldehído además, de ser cancerígeno también es irritante y puede provocar inflamación de nariz y garganta. Se han observado efectos agudos en los pulmones y se sospechan efectos crónicos. También se ha documentado que esta exposición provoca asma y bronquitis crónica (Astete-Juárez *et al.*, 2004).

Tabla 4.3 Clasificación de la severidad de EPOC\* (Astete-Juárez *et al.*, 2004)

Estadio	Características
0: En riesgo	Espirometría normal Síntomas crónicos (tos, expectoración)
I: EPOC leve	VEF1/CVF <70% VEF1/80% del predictivo Con o sin síntomas crónicos (tos, expectoración)
II: EPOC moderado	VEF1/CVF <70% 50%/VEF/80% predictivo Con o sin síntomas crónicos (tos, expectoración)
III: EPOC severo	VEF1/CVF >70% 30%/VEF/<50% predictivo Con o sin síntomas crónicos (tos, expectoración)
IV: EPOC muy severo	VEF1/CVF < 70% VEF1 <30% del predictivo o 50% del predictivo más falla respiratoria crónica

\*Global strategy for the diagnosis, Management and prevention of Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD), NHLBI/WHO Workshop 2004. **VEF1**: Volumen espiratorio en el primer segundo; **CVF**: capacidad vital forzada; **VEF**: Volumen espiratorio forzado

### - EPOC y la cardiopatía isquémica

En los últimos años se ha observado que en una elevada proporción de estos pacientes la causa última de muerte es la enfermedad cardiovascular, fundamentalmente la cardiopatía isquémica. Una posible explicación de esta asociación habría que buscarla en la exposición al humo de tabaco, factor de riesgo que comparten ambos procesos. Sin embargo, es un hecho bien conocido que la

reducción del volumen espiratorio forzado constituye un factor de riesgo independiente del hábito de fumar para el desarrollo de cardiopatía isquémica. La demostración de que los pacientes con EPOC presentan cifras elevadas de mediadores inflamatorios en sangre periférica ha permitido postular que el nexo entre ambos procesos sería la inflamación. Por otra parte, estudios observacionales de cohortes basados en registros históricos han revelado que los pacientes con EPOC presentan un incremento de factores clásicos de riesgo cardiovascular, esto es, obesidad, diabetes e hipertensión arterial. En estos mismos estudios se ha comunicado que el incremento de morbilidad y mortalidad por cardiopatía isquémica en los pacientes con EPOC se relacionaba con la presencia de estos factores de riesgo. Por tanto, queda por esclarecer el posible nexo de unión entre EPOC y enfermedad cardiovascular (Lucas-Ramos *et al.*, 2008).

#### **4.2.4.2 Asma ocupacional en el mundo y en Colombia**

Las enfermedades respiratorias ocupacionales han sido consideradas como una de las principales causas de morbilidad relacionadas con el trabajo, de acuerdo con la *American Lung Association* y corresponden a un problema de gran relevancia en el campo de la medicina clínica y ocupacional. En este grupo de enfermedades se incluye el Asma ocupacional (**AO**), clasificada como la enfermedad con mayor frecuencia de reporte en algunos países industrializados, afectando cerca del 9% al 15% de los trabajadores (mencionado por Gil-Hernández F 2005, Mapp. CE y cols., 2005, Nicholson PJ y cols., 2005 (MPSC, 2007)).

Los primeros casos de asma bronquial fueron descritos por Bernardino Ramazani en el siglo XVIII, en su obra *De Morbis Artificum Diatriba*, en trabajadores de molinos y limpiadores de grano por inhalación de polvo de cereales. Igualmente, el primer caso de **AO** asociado con la exposición a metales, inducido por sales de cromo, fue publicado en 1968 (MPSC, 2007).

##### **- Definiciones de asma ocupacional**

**Asma:** Proceso inflamatorio crónico de las vías aéreas en la cual intervienen muchas células y elementos celulares en particular mastocitos, eosinófilos, linfocitos *T*, macrófagos, neutrófilos y células epiteliales. En sujetos susceptibles esta inflamación causa episodios recurrentes de sibilancias, disnea, opresión

torácica y tos particularmente en las noches o temprano en la mañana. Estos episodios frecuentemente se acompañan de obstrucción al flujo aéreo difuso pero variable que es frecuentemente reversible ya sea espontáneamente o con tratamiento. La inflamación causa un aumento de la reactividad de las vías aéreas a una gran variedad de estímulos.

**Asma ocupacional (AO):** Enfermedad caracterizada por limitación variable del flujo aéreo y/o hipereactividad bronquial y/o inflamación bronquial debida a causas y condiciones atribuibles a un ambiente de trabajo en particular y no a estímulos encontrados fuera del lugar de trabajo, los códigos del AO en Colombia, fueron tomados de la clasificación internacional de enfermedades CIE-10 (MPSC, 2007).

CIE 10-J459 Asma.

CIE 10-J450 Asma alérgico.

CIE 10-J-46X Estado asmático.

Se pueden distinguir dos tipos de AO: (1) *asma ocupacional alérgico*, con periodo de latencia, que corresponde a aquellos casos en los que se han identificado mecanismos inmunológicos, como lo ocurrido con los agentes de alto peso molecular (HWM por sus siglas en inglés) y de bajo peso molecular (LWM por sus siglas en inglés), y (2) *asma ocupacional no alérgico*, sin periodo de latencia, que corresponde a aquella ocasionada por irritantes y el ejemplo de esto corresponde al síndrome de disfunción reactiva de las vías aéreas (RADS por sus siglas en inglés). Sin embargo, ante ciertas circunstancias de exposición pueden coexistir los mecanismos inmunológicos y los no inmunológicos (MPSC, 2007).

Adicionalmente, el asma se puede clasificar de acuerdo con la etiología, la intensidad, la frecuencia, el riesgo y la evolución clínica y funcional. De acuerdo con el mecanismo fisiopatológico se clasifica en dos grandes grupos:

1. **Por mecanismos inmunológicos o causada por hipersensibilidad** (con periodos de latencia).
  - Sustancias de alto peso molecular (HMW) >1000 daltons.
    - Cereales.
    - Animales.
    - Gomas.
    - Enzimas biológicas.

- Granos.
  - Flores.
  - Sustancias de bajo peso molecular (LMW) < 1000 daltons.
    - Isocianatos (DIT).
    - Anhídrido trimetílico.
    - Cedro rojo.
    - Metales.
    - Aminas.
2. **Por mecanismos no inmunológicos o inducida por irritantes** (Sin periodos de latencia)
- Síndrome de disfunción reactiva de las vías aéreas.
  - Asma inducida por bajas dosis de irritantes (condición relevante pero aún controvertida).
3. **Síndrome de disfunción reactiva de las vías aéreas (RADS)**: Cuadro de asma inducida por irritantes, gases, humos o sustancias químicas, causada por exposiciones de corta duración pero de alta intensidad.

CIE 10-J451 Asma no alérgico

CIE 10-J-46X Estado asmático

**Fisiopatología y etiopatogenia:** La fisiopatología del asma está caracterizado por:

1. Obstrucción bronquial.
2. Hiperreactividad bronquial (HRB).
3. Inflamación de la vía aérea.

La obstrucción de las vías aéreas se cree que es el resultado del proceso inflamatorio, el cual es reconocido como la característica fundamental del asma. Este proceso en las vías respiratorias asmáticas se caracteriza por:

1. Infiltración por células inflamatorias, especialmente eosinófilos.
2. Edema.
3. Pérdida de la integridad epitelial.

También se cree que la inflamación de las vías aéreas juega un rol importante en la hiperreactividad bronquial transitoria después de la reexposición a agentes sensibilizantes.

En este contexto, existe un acuerdo general en que un elemento clave para definir el AO es la evidencia de la exposición a un agente causal en el lugar de trabajo, así como sobre la importancia de la pronta identificación del AO debido a las consecuencias médicas y socioeconómicas que éste ocasiona. Adicionalmente, existe consenso en que el abordaje de las enfermedades ocupacionales respiratorias incluida el AO debe ser multidisciplinar haciendo énfasis en la prevención primaria desde la higiene industrial, seguido por el diagnóstico precoz dentro de la prevención secundaria.

Sin embargo, aún persisten algunos puntos de controversia como son: (a) la variación en la definición de AO, dada por los autores, encontrada en los diferentes estudios epidemiológicos, (b) la distinción entre el AO y el asma agravada por el trabajo, aspecto importante debido a que existe una gran diferencia en el manejo de la prevención y el manejo médico así como en el pronóstico y (c) la relación entre el asma inducida por irritantes, síndrome de disfunción reactiva de vías aéreas (RADS por sus siglas en inglés), con la ocurrencia de AO.

Se considera que el asma relacionada con el trabajo es la enfermedad pulmonar más frecuentemente atendida en los servicios de salud ocupacional tanto en Estados Unidos como en algunos países industrializados; para la Sociedad Americana del Tórax, el 15% (rango de 4% a 58%) de los casos de asma en adultos puede ser atribuido a la ocupación (mencionados por Henneberger *et al.*, 2006; ATS, 2003 (MPSC, 2007)). No obstante, según Rosenstock *et al.* (2002), dicha fracción atribuible poblacional es de 11%.

Con base en estimaciones del año 2000, publicadas en 2005 por Driscoll *et al.*, se calcula que al año mueren en Estados Unidos 38000 personas por asma originada en exposiciones ocupacionales; también por esta causa se pierden 1621000 años de vida saludables cada año (MPSC, 2007).

Según Milton *et al.* (1998), mencionado por MPSC (2007), el asma ocupacional da cuenta de una proporción significativa del asma de inicio en la edad adulta, pero la incidencia estimada a partir del monitoreo de los sistemas de compensación, así como de los reportes médicos (0.9 a 15/100.000) son menores que las esperadas a

partir de estudios transversales basados en la comunidad. Los investigadores de un estudio de cohorte prospectivo en 79204 miembros de organizaciones con cobertura sanitaria en Massachusetts, sobre riesgo de adquirir asma, cuyas edades estaban entre 15 y 55 años, encontraron que la incidencia anual de asma clínicamente significativa fue de 1.3/1000 y aumentó a 3.7/1000 cuando se incluyeron los casos de reactivación del asma quiescente<sup>1</sup>. Cerca de 21% (IC 95% de 12% a 32%) de los casos clínicamente significativos de asma de nuevo inicio se consideraron atribuibles a la exposición ocupacional; lo anterior daría una incidencia de 71/100000 (IC 95% 43-111). Estos datos, concluyeron los autores, sugieren que la incidencia del asma atribuible a las exposiciones ocupacionales es significativamente más alta que la divulgada previamente, y contribuye con una importante proporción de asma de inicio en la edad adulta<sup>2</sup> (MPSC, 2007).

Los hallazgos anteriores, fueron corroborados en el seguimiento de una cohorte prospectiva en un periodo de 2 años y concluyeron que 29 de cada 100 casos de asma de inicio en la edad adulta fueron atribuibles a exposiciones laborales (MPSC, 2007).

Según McDonald *et al.* (2000) mencionado por el MPSC (2007) en el Reino Unido en el periodo 1989-1997 se reportaron 7,387 casos nuevos de asma ocupacional; entre los agentes causantes sospechosos de estar se hallaron principalmente relacionados con la exposición a material orgánico:

- harinas, granos, y animales de laboratorio (33%)
- seguido de la exposición a la manipulación de sustancias químicas (31%)
- principalmente isocianatos y glutaraldehídos, el procesamiento de metales contribuye con el 6% del total de casos.
- por soldaduras metálicas y compuestos cromados entre otros, en los agentes misceláneos sobresale el manejo de pegantes, resinas, aceites de corte, que aportan 8% del total de casos.

El grupo ocupacional en el Reino Unido donde se registró el mayor riesgo de adquirir asma ocupacional fue el de los pintores de spray (tasa de incidencia de

---

<sup>1</sup> Considerada como aquel evento que afecta personas que adquieren asma en el periodo de adultez causada por la exposición ocupacional a irritantes o sensibilizantes.

<sup>2</sup> Se obtuvo como medida resumen la mediana de riesgo atribuible poblacional derivada del análisis de estudios publicados en el periodo 2000 a 2003, y calculada mediante la observación de los riesgos relativos publicados. RAP = Proporción de casos expuestos (RR - 1)/RR (MPSC, 2007).

1464 por millón por año) seguido de panaderos, y trabajadores del procesamiento de metales y de la industria química (MPSC, 2007).

A modo de conclusión, en la Tabla 4.4 se puede observar la clasificación de agentes de exposición y oficios peligrosos relacionada con el asma ocupacional.

Tabla 4.4 Clasificación de agentes de exposición y oficios peligrosos relacionadas con el asma ocupacional (MPSC, 2007)

Agente	Oficios/grupos ocupacionales
Isocianatos	Pintores de spray principalmente de vehículos
Harinas y granos	Panaderos, granjeros, procesadores de alimentos
<b>Maderas</b>	<b>Trabajadores de la madera</b>
Glutaraldehído	Enfermeras
Animales de laboratorio	Técnicos de laboratorio, asistentes e investigadores
Soldadura	Soldadores, operarios de ensamble industria electrónica
Agentes endurecedores	Procesadores metálicos, eléctricos, industria química

Por su parte, Ameille (2003) mencionado por el MPSC (2007) en un estudio observacional encuentra en Francia que los agentes más frecuentemente involucrados en casos de **AO** son: harina (20.3%), isocianatos (14.1%), látex (7.2%), aldehídos (5.9%), sales de persulfatos (5.8%), y polvos de madera (3.7%). El riesgo más alto de desarrollar **AO** se encontró en los panaderos y los pasteleros (683/millón), pintores de carros (326/millón), peluqueros (308/millón), y trabajadores de la madera (218/millón).

En Colombia, según el Ministerio de la Protección Social, para el periodo 2004-2005 se reconocieron como enfermedad profesional, 34 casos de asma; en el mismo periodo se calcula la fracción atribuible poblacional caso por caso: en el numerador se incluyen aquellos casos que cumplen con la definición de asma ocupacional, y en el denominador se consideran todos los casos de asma diagnosticados en el periodo. Se reportaron a dicha entidad como enfermedad profesional un total de 3170 casos (todas las causas), lo cual indicaría que por cada 100 casos de enfermedad profesional reconocida en el Sistema General de Riesgos Profesionales un caso sería de asma ocupacional (MPSC, 2007).

De otro lado, desde el punto de vista legal, en Colombia no existe normativa específica para las alteraciones de la salud de interés, aunque es posible resaltar algunos puntos de los siguientes decretos: el **AO** está contemplado en el listado de enfermedades profesionales en el Decreto 2566 de 2009, en lo relacionado con la calificación de la pérdida de capacidad laboral por alguna de estas patologías se cuenta con el Manual Único de Calificación de Invalidez (Decreto 917 de 1999,

capítulo IV, Aparato respiratorio) (MPSC, 2007). En la Tabla 4.5, se presenta un resumen de sustancias que producen asma, considerando su origen vegetal.

Tabla 4.5 Causas vegetales de asma ocupacional (MPSC, 2007)

Vegetal	Industria/Ocupación
Harina	Panaderos y molineros
Granos	Granjeros, trabajadores de distribución
<b>Polvo de madera</b>	<b>Carpinteros y aserraderos</b>
Granos de café	Trabajadores de procesamiento y distribución
Semilla de soya	Trabajadores de procesamiento y distribución
Hojas de té	Trabajadores de procesamiento y distribución
Tragacanto	Elaboración de fármacos
Goma de acacia	Elaboración de fármacos
Látex	Producción y uso
Antígenos y esporas de hongos	Granjeros y biotecnología
Enzimas bacterianas	Preparación de alimentos, manufactura de polvo para lavar

Dentro de las causas vegetales más frecuentes generadoras de asma ocupacional se encuentran las harinas, los granos y el polvo de madera. Los trabajadores expuestos a granos en la recolección, almacenamiento y transporte y los expuestos a harina en panadería tienen alto riesgo de sensibilización (MPSC, 2007).

### ***Bronquitis crónica***

La bronquitis es una inflamación o irritación de las vías aéreas dentro de los pulmones. Las vías aéreas son los tubos del interior de los pulmones a través de los cuales pasa el aire. También se conocen con el nombre de tubos bronquiales. Cuando las vías aéreas están irritadas se forma moco grueso dentro de ellas. El moco taponará las vías aéreas y dificultará la entrada de aire dentro de sus pulmones. Los síntomas de bronquitis crónica incluyen una tos productiva, dificultad para respirar y una sensación de opresión en el pecho (Lucas-Ramos *et al.*, 2008).

## 4.3 ESTUDIOS DE LA CONCENTRACIÓN DEL POLVO DE MADERA

### 4.3.1 Directrices, estándares y recomendaciones de niveles de exposición del polvo de madera

La ACGIH recomienda que el límite de exposición ocupacional para maderas blandas sea  $5 \text{ mg/m}^3$  para polvo inhalables, pero con la intención de cambiar a  $2 \text{ mg/m}^3$  para polvos no alergénicos y polvos no carcinogénicos, mientras que para otros polvos de madera respirables alergénicos es de  $1 \text{ mg/m}^3$  (ACGIH, 2002; ACGIH, 2008). El polvo inhalable se define como el total de la cantidad de partículas en suspensión en el aire que pueden ser inhaladas a través de la boca y la nariz. El polvo total se define como la cantidad total de los polvos medidos en un filtro de una manera abierta, con un casete cuyo diámetro es de 37 ó 25 mm. En general, la exposición al polvo de madera se expresa como el nivel promedio del aire durante el período de muestreo. Esta técnica de muestreo proporciona información limitada acerca de la exposición a las variaciones en el tiempo. Los instrumentos que proporcionan datos en tiempo real, son útiles para identificar las fuentes de emisión y de las tareas de trabajo que puedan causar alta exposición de polvo a corto plazo, y estudiar la exposición profesional a fin de prevenir los efectos sobre la salud en el futuro (Malkin *et al.*, 2006).

Durante más de una década, la ACGIH ha recomendado las técnicas de muestreo para el tamaño selectivo de las partículas (ACGIH, 1985). La ACGIH actualmente está revisando la exposición de partículas, propiedades y concentraciones de masa para ser adoptadas como Valor Límite Permisible (VAL) del tamaño de partícula selectivo (TLV's o VAL; ACGIH, 1997); es de anotar que cada año la ACGIH actualiza la información de los TLV's.

El TLV de la madera dura por la NIOSH y la ACGIH es de  $1.0 \text{ mg/m}^3 / 8 \text{ horas/día}$ .

El Límite de Exposición Permisible (PEL) denominada como "para partículas no especificadas de otro modo para polvo total" es de  $15 \text{ mg/m}^3$  para la fracción del polvo de madera respirable (8 h/día).

La NIOSH ha clasificado el polvo de madera dura como un potencial cancerígeno ocupacional. La OSHA alienta a los trabajadores a la mínima exposición y establece condiciones de seguridad y la ACGIH establece los niveles de TLV's (Malkin *et al.*, 2006).

El TLV por la ACGIH del polvo inhalable en especies de árboles no alergénicos es de 5 mg/m<sup>3</sup> (Brosseau *et al.*, 2001). En la Tabla 4.6 se referencian los valores de los TLV dado por OSHA, NIOSH y ACGIH al polvo de madera.

Tabla 4.6 Directrices estándares y recomendaciones de niveles de exposición del polvo de madera (Malkin *et al.*, 2006)

Agente físico o químico	OSHA PEL	NIOSH REL	ACGIH TLV
Polvo de madera	15 mg/m <sup>3</sup> para polvo total 5 mg/m <sup>3</sup> para polvo respirable ambas para 8 h/día	1 mg/m <sup>3</sup> para todos los polvos de madera clasificados como potenciales cancerígenos ocupacionales	Cedro Rojo Occidental 0.5 mg/m <sup>3</sup> y otras especies 1 mg/m <sup>3</sup> ambas para 8 h/día.

La OSHA ha determinado un tiempo de exposición de 8 h/día con un PEL de 15 mg/m<sup>3</sup> para polvo total y 5 mg/m<sup>3</sup> para polvo respirable (citado en 29 CFR 1910.1000 tabla Z-3 como polvo molesto).

La ACGIH desde 2001 determinó un TLV de 1 mg/m<sup>3</sup> para maderas duras (hayas y robles) y 5 mg/m<sup>3</sup> para maderas blandas con un STEL de 10 mg/m<sup>3</sup> para maderas blandas clasificadas como A4 (no clasificable como cancerígeno humano). Además propone que el TLV-TWA para el polvo de madera sea de 2 mg/m<sup>3</sup> para partículas inhalables del polvo de madera no alergénico y no carcinogénico y un TLV-TWA de 0.5 mg/m<sup>3</sup> para partículas inhalables como el cedro rojo occidental; un TLV-TWA de 1 mg/m<sup>3</sup> para partículas inhalables y otras alergias respiratorias al polvo de madera; el TLV-TWA de 1 mg/m<sup>3</sup> para partículas inhalables del polvo de madera de clase A1 confirmado o sospechoso cancerígeno (hayas y robles, abedules, caoba, teca y nogal) y A2 (se sospecha carcinógeno humano: roble y haya).

Cabe señalar que los cambios de los TLV en cuanto a polvo inhalables han sido anunciados desde 1998 por la ACGIH/ISO/CEN. Los valores numéricos de los TLV propuestos desde 2001, se basan en el estudio de la utilización de los CFC (siglas en inglés de *closed-face cassette*, que significa casete de cara cerrada) con un factor de corrección aplicado a la muestra del polvo inhalado. Se debe utilizar el CFC para la toma de muestras y determinar las concentraciones se utilizó el método analítico de la NIOSH 0500.

Los análisis gravimétricos tradicionales del método NIOSH 0500 para el total de partículas implican extraer un volumen conocido de aire contaminado a través de un filtro de peso conocido. Entonces, el nuevo pesaje del filtro determina la masa capturada. El promedio de concentración de aerosoles se determina dividiendo la masa recogida por el volumen de aire muestreado. La concentración suele estar expresada en miligramos por metro cúbico de aire ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ). En la toma de muestras personales de polvo de madera, práctica tradicional en los EEUU, se tiende a utilizar un casete de cara cerrada (CFC) de 37 mm de diámetro que contienen un filtro de PVC apoyado por una pantalla o almohadilla de respaldo. Los cambios en la humedad relativa han demostrado que tienen poco efecto sobre la tara de los filtros de PVC (Harper y Muller, 2002).

La OSHA propone unos estándares de la calidad del aire interior (incluyendo salas de fumadores), que involucren procesos y diagnósticos de la calidad de los edificios, seguridad industrial, sistemas de vigilancia epidemiológica y métodos de control enfocadas a la ventilación industrial y/o comercial en especial en salas o sitios de trabajo con contaminantes atmosféricos generados con efectos adversos a la salud de los trabajadores. Por lo que se propone un estudio multidisciplinario para lograr los efectos esperados en la calidad del aire y confort de sus habitantes (Greene y Williams, 1996).

Las áreas de trabajo que más concentraciones de polvo se han medido han sido las de lijado con herramientas estacionarias o de banda, lijado con herramientas manuales eléctricas, serrado, ensamble, sierras, limpieza manual de polvo y con pistola aspiradora (Brosseau *et al.*, 2002; Harper *et al.*, 2002; Hamill *et al.*, 1991; Friesen *et al.*, 2005; Bullock and Laird, 1994). Los niveles del polvo de madera aumentan cuando se operan lijadoras de banda (Brosseau *et al.*, 2002), como se puede ver en la Tabla 4.7.

**Tabla 4.7** Datos de las mediciones de polvo en la planta de paletterías en EEUU (Brosseau *et al.*, 2002).

Lugar de medición	Concentración mínima $\text{mg}/\text{m}^3$	Concentración máxima $\text{mg}/\text{m}^3$	Concentración media $\text{mg}/\text{m}^3$	Duración (minutos y segundos)
Sierra	0.48	1.29	0.86	3'
Cortadores de sierra No.1	0.36	2.22	0.87	4'30"
Sierra radial	0.48	9.30	1.45	3'20"
Cortadores de sierra No.2	0.59	4.40	1.40	6'50"
Muestras	1.28	2.05	1.65	1'10"

### 4.3.2 Diámetro equivalente aerodinámico ( $d_{ea}$ ) del polvo de madera

El diámetro equivalente aerodinámico ( $d_{ea}$ ) de la partícula inhalable por boca y nariz, es de  $100 \mu\text{m}$   $d_{ea}$ ; la longitud de las partículas es  $> 10 \mu\text{m}$   $d_{ea}$ . La concentración del muestreo del polvo de madera en diferentes industrias de la madera, realizada por la NIOSH en EEUU, fue de  $7.4 \text{ mg/m}^3$  con un 90% de partículas  $> 100 \mu\text{m}$ ,  $147 \text{ mg/m}^3$  con un 79% de partículas  $> 100 \mu\text{m}$  (Harper *et al.*, 2002; Harper *et al.*, 2004).

Durante los últimos diez años, se ha estado investigando la exposición personal al polvo total y respirable en la industria del mueble incluyendo a los trabajadores (Mikkelsen, 2002; Schlünssen *et al.* 2001). En la Tabla 4.8 se describe los diferentes estudios de concentración del polvo de la madera realizado por diferentes investigadores a nivel internacional.

El muestreo de partículas con diámetros aerodinámicos entre  $10\text{-}100 \mu\text{m}$ , ha sido la mayor preocupación en el estudio de enfermedades de tracto respiratorio superior causante del cáncer nasal o enfermedades asociadas a la exposición del polvo de madera (Harper *et al.*, 2002; Harper *et al.*, 2004).

Tabla 4.8 Concentraciones de polvo total y respirable y la proporción entre polvo total y respirable durante el proceso de la elaboración mueble (incluyendo los trabajadores y muestreadores personales) (Mikkelsen, 2002)

Referencia	País	No. de fábricas de muebles	No. de muestras	Polvo total ( $\text{mg/m}^3$ )	Polvo respirable ( $\text{mg/m}^3$ )	Proporción media (respirable/total o inhalable)
Hounam and William, 1974	UK	5	50	5.7 (1.0-26) <sup>a,b</sup>	-	-
Solgaard and Andersen, 1975	DK	8	68	11.6 (1-80) <sup>a,b</sup>	-	-
Al-Zuhair <i>et al.</i> , 1981	UK	2	193	4.5 (NR) <sup>b,c</sup>	-	-
Holness <i>et al.</i> , 1985	CA	4	50	1.8 (1.5) <sup>c</sup>	-	0.16(NR)
Jones and Smith, 1986	UK	7	209	4.2 (0.5-53) <sup>a</sup>	-	-
Sass-Kortsak <i>et al.</i> , 1986	CA	4	48	1.8 (NR) <sup>c</sup>	-	0.17 (NR)
Holliday <i>et al.</i> , 1986	CA	NR	60	1.6 (0.3-15.6) <sup>d</sup>	-	-
Albract <i>et al.</i> , 1989	D	15 <sup>e</sup>	294	2.3 (0.3-10.6) <sup>a</sup>	-	-
Pisaniello <i>et al.</i> , 1991	AU	15	171	-	2.9 (0.4-24.0) <sup>d</sup>	0.14 (0.04-0.39)
Norrish <i>et al.</i> , 1992	NZ	11	78	-	3.6 (1.0-25.4) <sup>f</sup>	-
Vinzents and Laursen, 1993	DK	96	396	1.1 (2.7) <sup>g</sup>	-	0.33(NR) <sup>h</sup>

Referencia	País	No. de fábricas de muebles	No. de muestras	Polvo total (mg/m <sup>3</sup> )	Polvo respirable (mg/m <sup>3</sup> )	Proporción media (respirable/total o inhalable)
Scheeper <i>et al.</i> , 1995	NL	3	199	-	2.1 (2.2) <sup>g</sup>	-
Lidblom, 1997	S	11	64	1.1 (1.3) <sup>c</sup>	4.3 (NR) <sup>c</sup>	-
Alwis <i>et al.</i> , 1999	AU	5	66	-	3.7 (3,7) <sup>g</sup>	0.13 (NR) <sup>h</sup>
Brosseau <i>et al.</i> , 2001	US	5	141	-	2.9 (2,6) <sup>g</sup>	-
*Lazovich <i>et al.</i> , 2002b	US	5	-	4.71	1.02	-
*Malkin <i>et al.</i> , 2006	US	-	-	1.67	0.86	-
*Spee <i>et al.</i> , 2007	NL	13	29	16.2	-	-
*Kauppinen <i>et al.</i> , 2006	UE	U25	-	>5	-	-
*Black <i>et al.</i> , 2007	UK	NR	-	>5	-	1.5-2.8
*Hall <i>et al.</i> , 2002	CA	NR	1237	25.45	0.02	-

**NR** No Reportado; **UK**, Reino Unido; **DK**, Dinamarca; **CA**, Canadá; **D**, Alemania; **AU**, Australia; **NZ**, Nueva Zelandia; **NL**, Los Países Bajos; **S**, Suiza; **I** Italia; **UE**, Unión Europea

<sup>a</sup> Media Aritmética (rango)

<sup>b</sup> Una media total es calculada en base a los datos del artículo

<sup>c</sup> Media Aritmética (SD)

<sup>d</sup> Media Geométrica (rango)

<sup>e</sup> Lo que incluye no sólo las fábricas de muebles

<sup>f</sup> Mediana

<sup>g</sup> Media Geométrica (SD Geométrica)

<sup>h</sup> No. < Numero total de muestras.

\* Datos añadidos a la tabla

#### 4.4 NORMAS LEGALES DE LA CALIDAD DEL AIRE EN AMBIENTES LABORALES DEL SECTOR MADERERO EN COLOMBIA

Existe un número importante de normas que procuran mejorar la calidad del aire de los ambientes laborales del sector maderero objeto de estudio, desde normas que rigen a nivel internacional hasta el cumplimiento de las normas nacionales del territorio colombiano.

Desde la Ley 9 de 1979 en su artículo 80, Decreto 614 de 1984, Resolución 2013 de 1986, Resolución 1016 de 1989, Ley 100 de 1993 y Decreto Ley 1295 de 1994, se ha legislado la salud ocupacional cuyo propósito es proteger la salud del trabajador, puesto que representa para la sociedad y para el trabajador, un atributo de gran importancia, por su relación directa con el desarrollo del país en la posibilidad de obtener una mayor rentabilidad, eficiencia y productividad empresarial. Para el trabajador, la conservación de la salud en el proceso Salud-

Enfermedad está ligada a su propio desarrollo como persona, a la continuidad de su potencial laboral, a la obtención de los medios de subsistencia para sí mismo y para su familia y a su integración como parte importante del medio Social.

La salud ocupacional se considera como una rama de la salud pública por su estrecha relación con amplios sectores de la población y porque el empresario debe corregir y eliminar los factores de riesgos nocivos que afecten la vida del trabajador o que deterioren el medio ambiente.

### ***- Legislación en salud ocupacional en Colombia***

La **Ley 100 de 1993** estableció la estructura de la Seguridad Social en el país, la cual consta de tres componentes como son:

- El Régimen de Pensiones
- Atención en Salud
- Sistema General de Riesgos Profesionales.

Cada uno de los anteriores componentes tiene su propia legislación y sus propios entes ejecutores y fiscales para su desarrollo.

En el caso específico del Sistema de Riesgos Profesionales, existe un conjunto de normas y procedimientos destinados a prevenir, proteger y atender a los trabajadores de los efectos de las enfermedades profesionales y los accidentes que puedan ocurrirles con ocasión o como consecuencia del trabajo que desarrollan, además de mantener la vigilancia para el estricto cumplimiento de la normatividad en Salud Ocupacional.

El pilar de esta Legislación es el Decreto Ley 1295 de 1994, cuyos objetivos buscan establecer las actividades de promoción y prevención en mejorar las condiciones de trabajo y salud de los trabajadores, fijar las prestaciones de atención en salud y las prestaciones económicas derivadas de las contingencias de los accidentes de trabajo y enfermedad profesional, vigilar el cumplimiento de cada una de las normas de la Legislación en Salud Ocupacional y el esquema de administración de Salud Ocupacional a través de las ARP.

Particularmente, el Decreto 1295 en su Artículo 21 Literal D obliga a los empleadores a programar, ejecutar y controlar el cumplimiento del programa de Salud Ocupacional en la empresa y su financiación. En el Artículo 22 Literal D, obliga a los trabajadores a cumplir las normas, reglamentos e instrucciones del programa de Salud Ocupacional de las empresas.

En la Resolución 1016 de 1989 en el Artículo 4 y Parágrafo 1, se obliga a los empleadores a contar con un programa de Salud Ocupacional, específico y particular, de conformidad con sus riesgos potenciales y reales y el número de los trabajadores. También obliga a los empleadores a destinar los recursos humanos financieros y físicos, indispensables para el desarrollo y cumplimiento del programa de Salud Ocupacional, de acuerdo con la severidad de los riesgos y el número de trabajadores expuestos. Igualmente los programas de Salud Ocupacional tienen la obligación de supervisar las normas de Salud Ocupacional en toda la empresa, y en particular, en cada centro de trabajo. Dada la complejidad y magnitud de esta tarea, se hace necesario que los programas de Salud Ocupacional sean entes autónomos, que dependan directamente de un departamento de la empresa, para permitir una mejor vigilancia y supervisión en el cumplimiento de cada una de las normas emanadas de la Legislación de Salud Ocupacional.

De las concentraciones máximas permisibles o TLV, en la resolución 2400 de 1979, en el artículo 154 adopta las tablas establecidas por la ACGIH y a partir del capítulo IX artículos 155 a 162 establece las normas de control de contaminantes atmosféricos en ambientes laborales. La vigilancia y control de dichas normas son competencia del Ministerio de Protección Social.



## **5. DIAGNÓSTICO DE LAS CONDICIONES DE TRABAJO Y SALUD**

### **5.1 INTRODUCCIÓN**

De acuerdo al número anterior 4.4, la salud del trabajador representa para la sociedad y para el trabajador un atributo de gran importancia, por su relación directa con el desarrollo del país en la posibilidad de obtener una mayor rentabilidad, eficiencia y productividad empresarial. Para el trabajador, la conservación de la salud en el proceso Salud-Enfermedad está ligada a su propio desarrollo como persona, a la continuidad de su potencial laboral, a la obtención de los medios de subsistencia para sí mismo y para su familia y a su integración como parte importante del medio social. Razón por la cual la prevención de riesgos se ocupa de manera sistemática de mejorar y preservar las condiciones de vida que generen un riesgo ocupacional, es decir, los accidentes de trabajo, las enfermedades ocupacionales y aún las enfermedades de origen común agravantes al trabajo (es decir, causan absentismo laboral).

La detección de los problemas, necesidades de seguridad y salud en el trabajo, el conocimiento de su magnitud y la consiguiente adopción de soluciones, obligan a realizar un diagnóstico lo más certero posible sobre la situación real de la industria maderera de la región (ebanisterías y carpinterías) en el ámbito de la prevención laboral, con el fin de proponer las medidas pertinentes que logren mejorar dichas condiciones de trabajo.

### 5.1.1 Condiciones de trabajo

Para muchas personas el trabajo es no sólo un medio para recibir una contraprestación económica que les permita vivir, sino también la posibilidad de poder ejercer la actividad para la cual se ha preparado o se sienten especialmente capacitados. Podríamos también asegurar sin temor a equivocarnos que con lo que no se está tan de acuerdo es con las condiciones que la sociedad nos impone para desarrollar esta actividad, es decir, cuestiones como los horarios, la cantidad de actividad, la forma de hacerla, el entorno en el que se ha de trabajar, etc. Todas ellas están dentro de lo que entendemos por condiciones de trabajo.

La expresión "condiciones de trabajo" es empleada a menudo por los sociólogos para referirse a cualquier variable que tenga que ver con el trabajo, e incluye por tanto aspectos como el salario, el tiempo de desplazamiento al trabajo, y otros muchos. En esta Tesis nos referiremos a este concepto tal como lo define la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, incluyendo únicamente aquellos aspectos del trabajo que son susceptibles de producir, o contribuir a producir, daños a la salud de las personas que trabajan.

Una concepción de la salud basada casi exclusivamente en los aspectos físicos de la misma hizo que, tradicionalmente, sólo se considerasen relevantes, en relación con la seguridad y la salud de las personas que trabajan, los aspectos materiales del trabajo. Por ello, no se hablaba de prevención de riesgos laborales sino de "seguridad e higiene en el trabajo", que trataba de forma casi exclusiva los aspectos del trabajo que podían generar daño físico. El interés de la "seguridad e higiene en el trabajo" se centraba pues en las máquinas, las instalaciones, los locales, las herramientas, los productos y el entorno ambiental temperatura, humedad, ruido, etc.

Pocas veces el concepto se extendía más allá y se tenían en cuenta las variables relativas a la organización del trabajo. Temas como el trabajo por turnos, los incentivos por más producción, la participación, etc., no solían integrarse en la seguridad y la higiene del trabajo. Hoy, las cosas han cambiado y el concepto de condiciones de trabajo es mucho más global que el de seguridad e higiene.

### 5.1.1.1 Condiciones básicas de higiene en material particulado, iluminación y ruido

Las condiciones básicas de riesgo higiénico considera la posibilidad de que un trabajador sufra un daño, con ocasión o a consecuencia, de su trabajo, en particular por la exposición medioambiental (agentes físicos, químicos y biológicos). Unas posibles consecuencias de dichas exposiciones son las enfermedades ocupacionales, o deterioros paulatinos de la salud de los trabajadores, la dosis recibida de un contaminante (concentración y tiempo). La concentración del agente contaminante en el ambiente de trabajo, existen valores máximos tolerados, establecidos para muchos de los riesgos físicos y químicos que suelen estar presentes habitualmente en el ambiente de trabajo, por debajo de los cuales es previsible que en condiciones normales no produzcan daño al trabajador expuesto. El tiempo de exposición de los límites comentados suelen referirse normalmente a tiempos de exposición determinados, relacionados con una jornada laboral normal de 8 horas y un período medio de vida laboral activa. A continuación detallamos el estudio de las condiciones básicas de higiene en los puestos de trabajo de los trabajadores de la madera de las empresas visitadas.

- ***Muestreo de sustancias químicas: material particulado del polvo de madera***

Para la determinación de las condiciones básicas de material particulado se utilizó el método analítico NIOSH 0500 (ver anexo B) y los parámetros del reglamento técnico de higiene de muestreo de sustancias químicas.

#### ***- Cálculo de las concentraciones***

El peso del polvo ( $P_d$ ) retenido en el filtro expresado en miligramos (mg), se obtiene por diferencia de pesos entre la pesada final ( $P_F$ ) y la pesada inicial ( $P_i$ ), como lo indica la Ecuación 5.1

$$P_d = (P_F - P_i)_{\text{mg}} \quad (5.1)$$

Cada lote de filtros muestreados se debe acompañar de un "Filtro Blanco". Las muestras blancas deben ser manejadas de igual manera que las muestras reales, se abren en el mismo ambiente del lugar del muestreo y se cierran inmediatamente para enviarlas a análisis junto con las muestras reales.

El número de blancos varía según las características del polvo y el método NIOSH a emplear, en términos generales el número de filtros blancos deberá ser como mínimo el 10% de las muestras o más en el caso de que se requiera mayor exactitud.

### **- Corrección por blancos**

Lo ideal es que la diferencia entre el peso inicial y el peso final del blanco sea igual a cero. En caso contrario, es necesario hallar la diferencia entre los pesos inicial y final para calcular la diferencia de pesos del filtro blanco ( $P_{dBlanco}$ ) y corregir la concentración final tal como se indica en la Ecuación 5.2.

La concentración del polvo en el aire muestreado se determina a partir de la diferencia entre las dos pesadas, a este valor se le adiciona el peso de la muestra blanco, cuando este peso es menor que el peso inicial, y se le resta en el caso contrario, dividiendo el volumen del muestreo, tal como indica la Ecuación 5.2:

$$C = \left\{ \frac{P_d \pm P_{dBlanco}}{V} \right\} \text{mg/m}^3 \quad (5.2)$$

donde:

- C** = Concentración de polvo en mg/m<sup>3</sup>.  
**P<sub>d</sub>** = Peso del polvo en la muestra en mg.  
**V** = Volumen de aire muestreado (tiempo de muestreo por el caudal de calibración de la bomba) en m<sup>3</sup>.  
**P<sub>dBlanco</sub>** = Diferencia de peso de la muestra "Blanco" (mg)

### **- Valoración de la Exposición Promedio Ocupacional (EPO)**

La EPO es el resultado de obtener los resultados de las concentraciones  $X_1, X_2, \dots, X_n$  tomadas durante toda la jornada, con su respectivo tiempo de muestreo empleado para cada una de estas concentraciones  $t_1, t_2, \dots, t_n$ . Es una estrategia de tomar

muestras consecutivas de período completo. Se calcula la EPO (TWA), mediante la Ecuación 5.3 (Londoño, 1996; MPSC, 2002a) y se calcula el grado de riesgo con la Ecuación 5.4.

$$EPO = \frac{\sum_{i=1}^n C_i T_i}{\sum_{i=1}^n \bar{T}_i} \quad (5.3)$$

$$GR = \frac{EPO}{TLV} \quad (5.4)$$

donde:

- EPO:** Exposición promedio ocupacional.  
**C<sub>i</sub>:** Concentración parcial de la muestra i.  
**T<sub>i</sub>:** Tiempo de muestreo i  
 $\bar{T}$ : Promedio del tiempo de muestreo.  
**GR:** Grado de riesgo.  
**TLV:** TLV teórico para polvo total NIOSH 10 mg/m<sup>3</sup> (ACGIH, 2004)

Cuando  $GR > 1$  se considera que existe alto riesgo de exposición y se requiere una intervención inmediata de control (Londoño, 1996).

### **- Ruido**

Cuando se utiliza la expresión ruido como sinónimo de contaminación acústica, se está haciendo referencia a un sonido, con una intensidad alta, que puede resultar incluso perjudicial para la salud humana. La exposición a ruido entraña riesgos para la salud. Concretamente desde hace más de 200 años se sabe que el ruido ocasiona una pérdida de la capacidad auditiva del individuo expuesto. El resultado es que continúan observándose casos de pérdida de capacidad auditiva inducida por ruido entre la población trabajadora en una proporción que no parece acorde con lo esperable teniendo en cuenta los conocimientos y tecnologías disponibles en la actualidad. En los talleres de carpinterías y ebanisterías se utilizan máquinas y herramientas generadoras de ruido, entre las más comunes tenemos: sierras péndulas, sierras circulares, sierras radiales, planeadoras o canteadora, cepillos calibrados, sierras radiales, espigadoras, escopladoras, trompos (3000 y 10000

rpm), ruteadora industrial, figuradoras (sierras sin fin), cosedoras, grapadoras, compresores, etc.

Para conocer la exposición ocupacional a ruido ocupacional, el nivel de presión sonora continuo equivalente ( $L_{eq}$ ), en decibelios ponderados en **dB**A con respuesta lenta del sonómetro, y para determinar el tiempo de exposición y el grado de riesgo, se utilizaron las Ecuaciones 5.5, 5.6 y 5.7 (MPSC, 2002c):

$$L_{eqA} = 20 \log \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_p}{20}} \right) \quad (5.5)$$

$$T_P = \frac{8}{2^{((L_{eqA}-85)/5)}} \quad (5.6)$$

$$GR = \frac{T}{T_P} \quad (5.7)$$

donde:

$L_{eqA}$ :	Nivel de presión sonora instantánea con ponderación A
$L_p$ :	Nivel de presión sonora
N:	Numero de mediciones
T:	Tiempo de exposición
$T_P$ :	Tiempo de exposición permitido
GR:	Grado de riesgo

El límite máximo permisible de ruido ocupacional en Colombia es de 85 dBA (MPSC, 2002c).

### **- Iluminación**

Dentro de las actividades que realiza el hombre a lo largo de su vida, una de las que ocupa la mayor parte de ella, no sólo en el tiempo sino también en el espacio, es el trabajo. En este sentido la actividad laboral, para que pueda desarrollarse de una forma eficaz, precisa que la luz (característica ambiental) y la visión (característica personal) se complementen, ya que se considera que el 50% de la información sensorial que recibe el hombre es de tipo visual, es decir, tiene como origen primario la luz. Un tratamiento adecuado del ambiente visual permite incidir

en los aspectos de seguridad, confort y productividad. La integración de estos aspectos comportará un trabajo seguro, cómodo y eficaz (MPSC, 2002 b).

“Iluminación” es el flujo luminoso por unidad de superficie. Cuando la luz emitida por una fuente incide sobre una superficie, se dice que esta se encuentra iluminada, siendo entonces la iluminación la cantidad de flujo luminoso.

“Iluminancia” es la relación de flujo luminoso incidente en una superficie por unidad de área, expresada en Lux. La falta de visibilidad y el deslumbramiento son causa de accidentes. La visibilidad depende de: tamaño del objeto con el que se trabaja, la distancia a los ojos, persistencia de la imagen, intensidad de la luz, color de la pieza, contraste cromático y luminoso con el fondo. Las Tablas 5.2 y 5.3 se han tomado de referencia para determinar la categoría de iluminancia y valores de iluminancia para las labores de las carpinterías.

Tabla 5.2. Categorías de iluminancia y valores de iluminancia por tipos genéricos y actividades en interiores (MPSC, 2002b)

Tipo de actividad	Categoría de iluminancia	Rangos de iluminancia (Lux)	Referencia en plano de trabajo
Espacios Públicos con áreas oscuras alrededor de estas.	A	20-50	Iluminación general en espacios abiertos.
Orientación simple para visita cortas.	B	50-100	
Espacios de trabajo donde la tarea visual es exigente ocasionalmente.	C	100-200	
Ejecución de la tarea visual con altos contrastes y tamaño grande.	D	200-500	
Ejecución de la tarea visual con contrastes medios de tamaño pequeño.	E	500-1000	Iluminación localizada sobre el puesto de trabajo:
Ejecución de la tarea visual de bajo contraste o tamaño pequeño.	F	1000-2000	
Ejecución de tareas visual de bajo contraste y tamaño muy pequeño por periodos prolongados.	G	2000-5000	Iluminación sobre el puesto de trabajo obtenida por una combinación general y localizada ( iluminación suplementaria).
Ejecución de tareas visuales exactas y muy prolongadas.	H	5000-10000	
Ejecución de tareas muy especiales de extremadamente bajo contraste y pequeño tamaño.	I	10000-20000	

Tabla 5.3. Actividades económicas y categorías de iluminación (MPSC, 2002b)

Área/actividad	Categoría de iluminación
Trabajo con madera	
Cortes gruesos y puestos de trabajo	D

Área/actividad	Categoría de iluminación
Clasificación de acuerdo al tamaño, plantación, lijado grueso, maquinas de mediana capacidad y puestos de trabajo, pegado, enchapado, tonelería	D
Trabajos finos y maquinas de trabajo, lijado fino y acabados	E
Ensamble	
Simple	D
Dificultad moderada	E
Dificultad	F
Alto grado de dificultad	G
Exactitud	H

**Determinación de la iluminación promedio (Ep):** El cálculo del nivel promedio de iluminación para el método de la constante del salón, se realizó con la Ecuación 5.8; y se utilizó un luxómetro Foot Candle/Lux Meter Extech en los puestos de tallado de madera y pulido.

$$E_p = \frac{1}{N} (\sum E_i) \quad (5.8)$$

donde:

**E<sub>p</sub>** = Nivel promedio en lux

**E<sub>i</sub>** = Nivel de iluminación medido en lux en cada punto

**N** = Número de medidas realizadas

Una iluminación deficiente en el puesto de trabajo contribuye a la fatiga visual y puede propiciar errores y accidentes. A pesar de ello, resulta frecuente encontrar puestos de trabajo mal iluminado o con un mantenimiento deficiente del sistema de iluminación.

### **- Valoración de los factores de riesgo**

La metodología que se utilizó en la valoración de riesgos fue la de William T. Fine mencionada por Estrada (1995), que propone la evaluación de riesgos laborales mediante la expresión:

$$\mathbf{Riesgo = Consecuencias \times Exposición \times Probabilidad}$$

y asigna valores a estos parámetros de manera que se cuantifica el resultado y en dependencia del valor que este asuma, así será la magnitud del riesgo y las acciones a tomar (Estrada, 1995) (ver anexo B).

- ***Análisis de absentismo e incapacidad laboral en los trabajadores del sector maderero***

En Colombia, riesgo profesional es: "el accidente que se produce como consecuencia directa del trabajo o la labor desempeñada y la enfermedad que haya sido catalogada como profesional por el gobierno nacional" (MPSC, 1994).

Es accidente de trabajo todo suceso repentino que sobrevenga por causa o con ocasión del trabajo, y que produzca en el trabajador una lesión orgánica, una perturbación funcional, una invalidez o la muerte. Se considera enfermedad profesional todo estado patológico permanente o temporal que sobrevenga como consecuencia obligada y directa de la clase de trabajo que desempeña el trabajador, o del medio en que se ha visto obligado a trabajar, y que haya sido determinada como enfermedad profesional por el gobierno nacional (MPSC, 1994).

La Ley 1295 de 1994 del Sistema General de Riesgos profesionales está destinada a prevenir y atender a los trabajadores de los efectos de las enfermedades y los accidentes que puedan ocurrirles con ocasión o como consecuencia del trabajo que desarrollan. Siendo la salud de los trabajadores una pieza fundamental de la seguridad social en cualquier sociedad, su estudio conlleva necesariamente el análisis de la dimensión jurídica y por ende a la definición exacta de ciertos términos como son el "riesgo profesional" y el "accidente de trabajo". Para el cumplimiento de minimizar la incidencia de los eventos ocupacionales es importante la realización de desarrollar programas y sistemas de vigilancia epidemiológica.

### **5.1.2 Condiciones de salud**

Las condiciones de salud son un conjunto de actividades tendientes a la evaluación de la morbimortalidad y absentismo laboral por eventos ocupacionales o ATEP generada por las condiciones de trabajo (Parra, 2003; ISTAS, 2008).

Para la información recogida en las encuestas, primó el salvaguardar el secreto profesional y la confidencialidad de los datos obtenidos a través de los trabajadores, de acuerdo a lo establecido de las Normas Científicas y Administrativas para la Investigación en Salud, establecidas por la Resolución

08430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia. En las encuestas no se incluyó el dato del nombre del trabajador, ni la dirección de su domicilio, y antes de diligenciar la encuesta, al trabajador se le notificó del consentimiento informado (ver anexo A).

### **- Características de las condiciones sociodemográficas de los trabajadores encuestados de carpinterías y ebanisterías de Armenia**

Para determinar las condiciones sociodemográficas de los trabajadores del sector objeto de estudio, se tomaron en cuenta las siguientes variables: edad, género, tiempo en el oficio, tiempo en el cargo, hábitos insaludables (tabaquismo, alcoholismo), deportes, estudio, grado de escolaridad, jefe de familia o mujer cabeza de hogar, y estado civil. Dichas variables hacen parte de los autorreportes de las condiciones de trabajo y salud.

## **5.2 RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO DE LAS CONDICIONES DE TRABAJO Y SALUD**

En este apartado se presentan, por una parte, los resultados obtenidos en el diagnóstico de las condiciones de trabajo en que laboran los trabajadores del sector, y por otra, las condiciones de salud con el fin de detectar las posibles enfermedades que pueden estar desarrollando al estar expuestos al polvo de madera sin el control higiénico adecuado.

### **5.2.1 Diagnóstico de las condiciones de trabajo**

#### **5.2.1.1 Utilización de máquinas, equipos, herramientas, materiales e insumos**

En la visita de inspección a las fábricas de muebles, se detectó el uso de maderas duras y blandas. En la Fig. 5.1 se muestran los pasos de la transformación de la madera en mueble.

- **Premaquinado:** se realizan cortes con sierras péndulas, sierras circulares, sierras radiales, planeadoras o canteadora, cepillos calibrados.

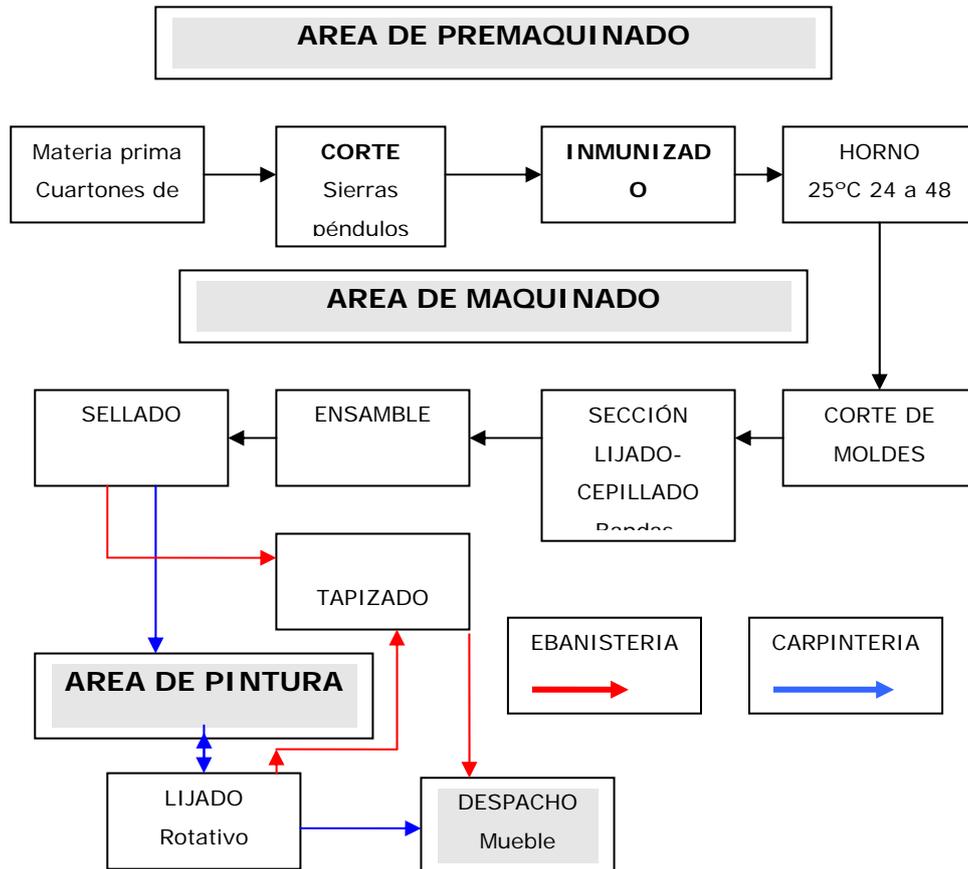


Fig. 5.1 Procesos de la transformación de la madera noble en mueble.

- **Maquinado:** en esta sección se utilizan sierras radiales, espigadoras, escopladoras, trompos (3000 y 10000 rpm), ruteadora industrial, figuradoras (sierras sinfín).
- **Suavizado:** en esta sección se utilizan lijadoras mecánicas de banda, calibradores, lijadora de plato, rodillo lijador, lijado manual.
- **Ensamble:** en esta sección para procesos pequeños se utilizan sierras sinfines pequeños, selladores, canteadoras pequeñas, prensas neumáticas grapadoras neumáticas, prensa manual.

- **Tallado de línea dorada:** es realizada por mano de obra especializada y es manual.
- **Lijado en blanco:** en esta sección se repasa con selladores, se realiza un lijado manual máquina rotoorbital.
- **Pintura:** se utilizan pistolas neumáticas.
- **Empaque:** se utilizan herramientas manuales como cuchillos, bisturí, taladro para atornillar herrajes, grapadoras.
- **Tapicería y poltronas:** se utilizan pistolas grapadoras, tijeras, máquinas de coser industriales.

En la Tabla 5.4 se relacionan los materiales e insumos que las empresas han utilizado en la transformación de la madera, y como se puede ver son sustancias químicas peligrosas para la salud.

Tabla 5.4. Relación de materiales e insumos utilizados en las empresas visitadas

Materiales e insumos	Productos utilizados en las empresas visitadas
Tipos de madera	Maderas duras (cedro y nogal) maderas blandas (Laurel mora, nazareno, Perillo antioqueño, pino canadiense, Pino romero, romero liso, Sajo, Vakera), conglomerada (Tablex, Triples, MDF).
Tipos de espumas para tapizado	Bloques de espuma de poliuretano de diferentes densidades recubiertas de algodón.
Tipos de acabado y/o terminados	Resinas sintéticas que le dan el color y el aspecto terminado a la madera, se utilizan bases de tipo Sellador caramelo, Sellador Mocca, Veta simulado, Terminado caramelo, Terminado Mocca.
Tipos de pinturas, tintas, lacas	Estas tintillas son a base de pinturas sintéticas con una mezcla de solventes orgánicos volátiles. Tintilla, Catalizadores. Resinas sintéticas Extralaca, Laca semibrillante, Laca Mate.
Tipos de pegantes	Boxer (Base de polipropilenos), Uregin 50
Tipos de sellantes	Presellantes (Resinas epóxicas), Sellantes, Sellantes PL-285, Carpincol (Base de polivinilos de acetato), Adhesivos, Alquitrán.
Tipos de solventes	Thinner (Solvente orgánico volátil SOV), Barsol (SOV), Gasolina (SOV).
Tipos de inmunizantes y/o plaguicidas	Dursban (Plaguicida organofosforado - Organotiofosfato piridina), el piretroide Demon o Cipemetrina.

### 5.2.1.2 Trabajadores encuestados

En la Tabla 5.5 se relacionan los trabajadores encuestados de las áreas de lijado, cepillado y pintura, más expuestos a material particulado (trabajadores con mayor riesgo de padecer enfermedades respiratorias crónicas (ERC)). Aunque el tabaco es el principal factor de riesgo (el 90% de los pacientes con ERC son fumadores), sólo el 20% de los fumadores desarrolla una ERC y un 10% no son fumadores, por lo que también hay que tener en cuenta factores genéticos y ambientales (exposición laboral, contaminación atmosférica y/o doméstica) (Lucas-Ramos *et al.*, 2008).

El término engloba la bronquitis crónica y el enfisema pulmonar. La bronquitis crónica se define por criterios clínicos: tos y expectoración durante más de tres meses al año y durante más de dos años consecutivos, siempre que se hayan descartado otras causas. El enfisema pulmonar se define por criterios anatomopatológicos: agrandamiento permanente de los espacios aéreos distales a los bronquiolos terminales, con destrucción de la pared alveolar y sin fibrosis manifiesta (Lucas-Ramos *et al.*, 2008).

Tabla 5.5 Descripción de las 10 empresas visitadas y relación de trabajadores encuestados de las áreas de lijado, cepillado y pinturas

Empresa	Característica de producción	No. total de trabajadores	Trabajadores encuestados
1	Ebanistería	136	34
2	Ebanistería	100	38
3	Carpintería	2	2
4	Carpintería	3	1
5	Carpintería	11	9
6	Ebanistería	35	24
7	Carpintería	160	20
8	Carpintería	6	3
9	Ebanistería	12	9
10	Ebanistería	150	37

La población económicamente activa (PEA) representa la fuerza laboral y productiva de cualquier región y contiene las personas en edad de trabajar, que trabajan o están buscando empleo. En el departamento del Quindío la población en edad de trabajar (PET), en la zona urbana, es a partir de los 12 años, y en la zona rural es a los 10, siendo esto común en los extractos socioeconómicos bajos y medios-bajos (DANE, 2009).

Las edades de los 177 trabajadores que respondieron el autorreporte de morbilidad sentida se distribuyeron por grupos quinquenales, dando como resultado que el 50% de los trabajadores tienen edades comprendidas entre 20 y 29 años. El trabajador más joven tiene 15 años y el mayor 65, la media es de 28 años con una desviación estándar de 9.8 años y la moda es de 24. De los trabajadores encuestados, había un 60.1% de hombres y un 39.9 % de mujeres pero es de anotar que pasados los 30 años, son las mujeres que predominan en el sector debido a que son cabeza de hogar. En la figura 5.2 se puede observar el género y la edad de los trabajadores encuestados.

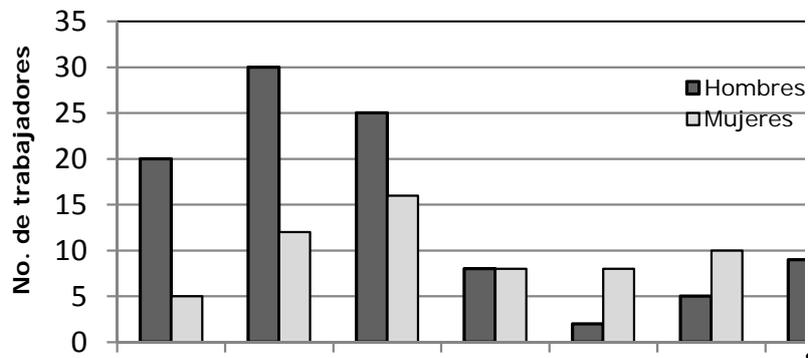


Fig. 5.2 Género y edades de los trabajadores seleccionados y encuestados de las áreas de pulido, cepillado y pinturas, tomadas del autorreporte de morbilidad sentida hecho por los trabajadores.

## 5.2.2 Autorreporte de las condiciones de trabajo

### 5.2.2.1 Condiciones de seguridad en el trabajo

El desarrollo de un trabajo depende de los espacios disponibles, accesos, condiciones de iluminación, condiciones ambientales, los cuales influyen directamente en la proporción de accidentes dentro de una empresa. En la visita de inspección de las 10 empresas del sector en estudio, se observó que el 80% presentaban deficiencias en las condiciones de trabajo y no cumplen con las normas legales vigentes con respecto a las instalaciones y condiciones de seguridad, en especial de la Resolución 2400 de 1979 (MPSC, 1979).

En la Fig. 5.3a se ve que los trabajadores reportaron deficiencias en un 45% en las áreas de trabajo, instalaciones y de circulación, un 68% de deficiencias con las instalaciones eléctricas, y un 56% en la cantidad insuficiente de equipos contra incendios acordes a las dimensiones del área y tipo de material combustible. La concentración de partículas pequeñas de polvo en el aire puede formar una mezcla explosiva si se incendia, y el polvo de serrín no es una excepción; un motor sobrecalentado o una chispa pueden iniciar un incendio de polvo de serrín y causar un desastre en la fábrica. En la Fig. 5.3b, se puede observar que los trabajadores reportaron un 90% de desorden en el puesto de trabajo; el transporte y almacenamiento inadecuado de materia prima y subproductos de madera un 68%. Argumentaron que se trabaja al destajo y no queda tiempo de ordenar los espacios de trabajo. El polvo de aserrín depositado sobre el suelo puede causar resbalones o tropezones y por ende un evento ocupacional. Además, 78 trabajadores (un 44%) reconoció utilizar herramientas en mal estado.

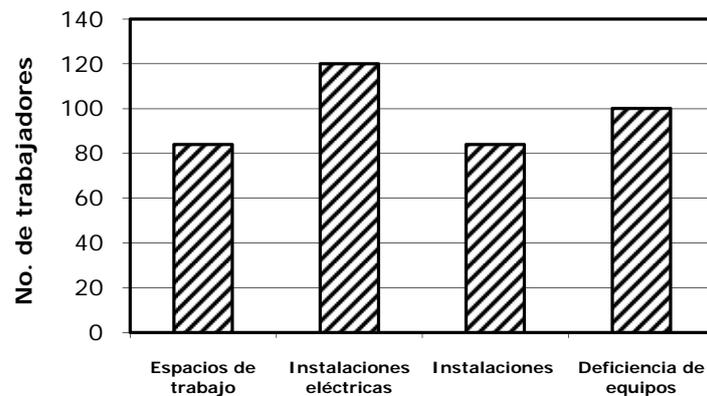


Fig. 5.3a. Condiciones de seguridad en el trabajo, tomadas del autorreporte hecho por los trabajadores.

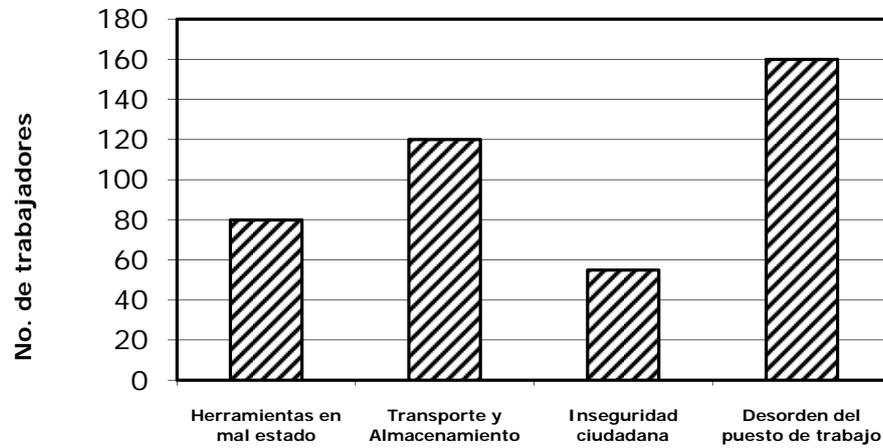


Fig. 5.3b. Condiciones de seguridad en el trabajo, tomadas del autorreporte hecho por los trabajadores.

A modo de ejemplo, en la observación de las condiciones de trabajo en la que están expuestos los trabajadores del sector, el 80% de las empresas visitadas presentaban similares deficiencias en los puestos de trabajo antes mencionados, como se pueden apreciar en las Figs. 5.4 a 5.7, incumpliendo la norma de seguridad industrial colombiana (Resolución 2400/79).

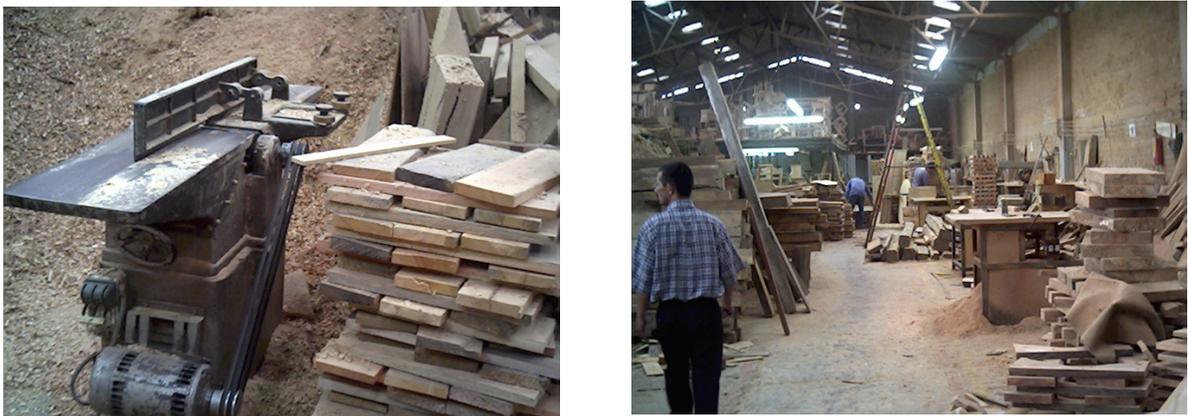


Fig. 5.4 Fotografía del área de corte. Se observa un cúmulo de serrín y materia prima en forma desordenada obstaculizando vías peatonales y áreas de manipulación de las herramientas de trabajo, incumpliendo la norma que se refiere a la distancia entre máquinas, aparatos, equipos, para que el trabajador pueda realizar su labor sin dificultad o incomodidad, evitando los posibles accidentes por falta de espacio entre maquinas no debe ser menor de 0.80 m. Igualmente en lo establecido en orden y aseo (Resolución 2400/79).



Fig. 5.5 Fotografía de las áreas de maquinado y corte con iguales condiciones deficientes de seguridad

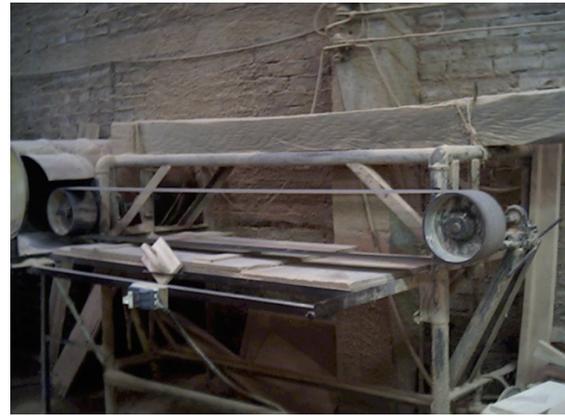


Fig. 5.6 Fotografía del área de tapizado de los muebles y lijadora de banda. Se observa desorden, polvo con el agravante de generar un incendio y/o explosión. Se detectó un número insuficiente de extintores apropiados para el material combustible del área de trabajo, según la norma de seguridad industrial (Resolución 2400/79)

En la Fig. 5.7 se observan deficiencias de seguridad industrial en el área de pinturas, material combustible sin precauciones de manipulación, humedad y sin extractores con filtros para evitar la contaminación del medio ambiente circundante.



Fig. 5.7 Fotografía de las áreas de pintura con iguales condiciones deficientes de seguridad.

### 5.2.2.2 Condiciones de trabajo del medio ambiente físico

En el 70% de las empresas se observó el ambiente laboral impregnado de material particulado (nubes de polvo visible) en todos los espacios de las fábricas (exceptuando áreas administrativas), y en las áreas de pinturas se detectó olores de pinturas, lacas y pegantes. Los sistemas de extracción del polvo de madera en algunos casos son inexistentes, y en los demás son inadecuados. En la Fig. 5.4 se observa que 140 trabajadores (el 79% de los trabajadores encuestados) está expuesto a material particulado, 82 trabajadores que representan un 46% a exposición de gases y vapores generados en las áreas de pinturas y acabados del mueble, y cerca del 21% (38 trabajadores) están expuesto a productos químicos sólidos y líquidos. El uso de los elementos de protección personal es inadecuado en el 100% de los trabajadores del sector.

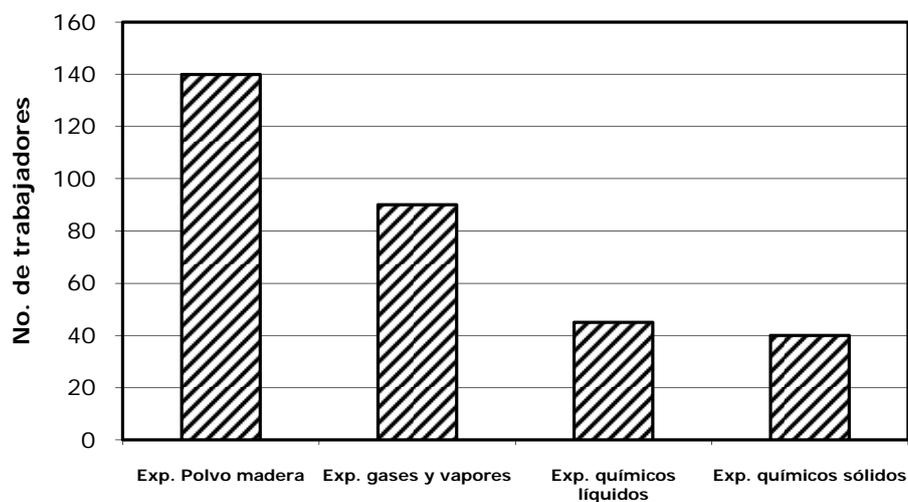


Fig. 5.4 Condiciones del medio ambiente físico.

En el trabajo cotidiano de las fábricas de muebles hay una serie de riesgos higiénicos que, a la larga, pueden producir eventos ocupacionales. Para serios problemas de exposición a riesgos físicos y químicos es fundamental la higiene industrial que estudia la relación entre los contaminantes ambientales y el organismo humano con el fin de evitar estos eventos. En la Fig. 5.5 se observa que 140 trabajadores que representa un 79% están expuestos al ruido de las máquinas; el 56% dice no tener una adecuada ventilación; en las áreas de tallado el 17% declaró trabajar en penumbra. Por lo detectado en las visitas de inspección, un 80% de las fábricas no cumple con lo requerido en la seguridad industrial, lo que hace pensar que están evadiendo sus deberes en el cumplimiento de la normatividad legal con respecto a la salud ocupacional de los trabajadores, lo que conlleva a desarrollar proyectos de concientización tanto para empleadores como trabajadores en la salud y seguridad en los lugares de trabajo, aunque esto hace parte de otro tipo de estudio.

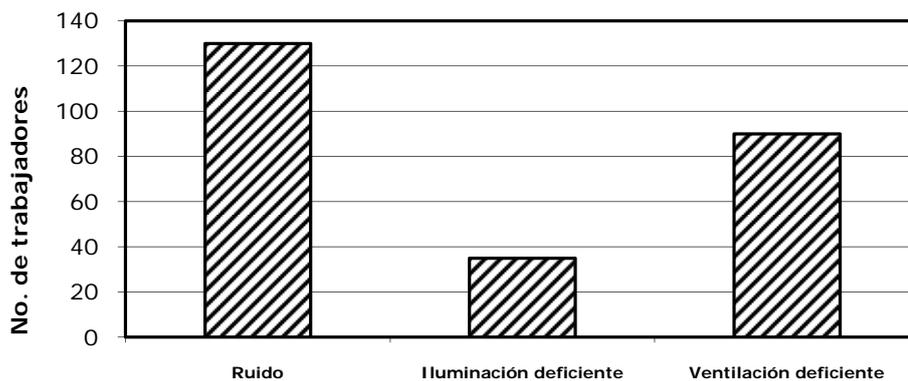


Fig. 5.5 Condiciones del medio ambiente físico, tomadas del autorreporte hecho por los trabajadores.

### **5.2.2.3 Condiciones de trabajo de carga laboral y organizacional**

La cultura organizacional determina el desenvolvimiento de una empresa u industria en todas las áreas que ésta posea, es decir la interacción de todas sus partes como sus recursos humanos, su administración, su eficiencia, etc., de manera que la empresa pueda enfrentarse a los cambios y obtener resultados positivos. En una organización saludable, el ambiente de trabajo permite al trabajador utilizar plenamente todo su potencial. Esto implica no sólo una gestión responsable de los riesgos para la salud y la seguridad, sino también una

posibilidad para el trabajador de desarrollarse y crecer hasta su máximo potencial. Es esencial mantener un equilibrio adecuado con relación al clima laboral, formación, estilo de gestión, así como asegurar una comunicación, unos comportamientos y unas actitudes de apoyo en la organización. Esto requiere un trabajo de equipo y el asesoramiento de expertos en salud y seguridad laboral (Cuadra-Zelaya, 2008).

En las Fig. 5.6 y 5.7 se puede observar que el 28% de los trabajadores reportaron estar expuestos a sobrecargas posturales, pues deben cargar y descargar tramos de madera y muebles que superan los 50 kg. Además, se observó que trabajan de pie durante toda la jornada. El 18% de los trabajadores reportaron ritmos de trabajo intenso, carga mental y horario de trabajo intenso (jornadas que superan las 8 horas al día). El cansancio y la fatiga son causantes de accidentes de trabajo y la disminución de la calidad de la productividad, lo que pone en manifiesto la deficiencia de la ejecución del programa de salud ocupacional de las empresas visitadas. El 28% de los trabajadores reportaron inconformidad del régimen salarial (devengan un salario inferior al mínimo, que aproximadamente equivalen en la actualidad de 198.3 €), trabajan a destajo y no hay ascensos laborales en un 17% de los reportados. Además, el 25% de los trabajadores desconoce las normas de seguridad e incluso el uso adecuado de los elementos de protección personal (EPP), lo que aumenta la probabilidad de ocurrencia de eventos ocupacionales.

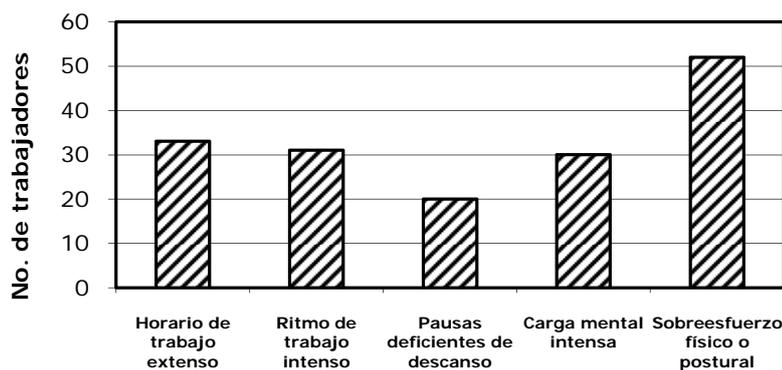


Fig. 5.6 Condiciones de trabajo de carga laboral y organizacional, tomadas del autorreporte hecho por los trabajadores.

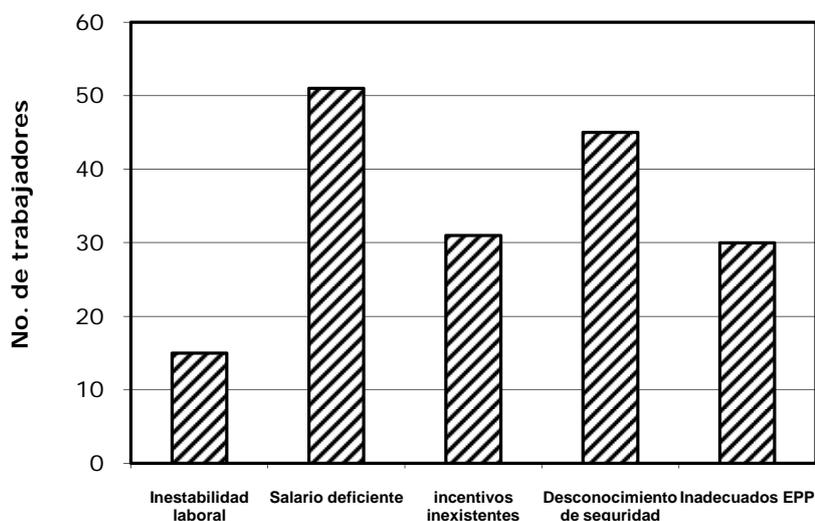


Fig. 5.7 Condiciones de trabajo de carga laboral y organizacional, tomadas del autorreporte hecho por los trabajadores

#### 5.2.2.4 Condiciones de trabajo a agentes biológicos

El riesgo biológico consiste en la presencia de organismos, o sustancias derivadas de los organismos, que plantea (sobre todo) una amenaza a la salud humana. Esto puede incluir los residuos con riesgo biológico, muestras de microorganismos, virus o toxinas (de una fuente biológica) que pueden resultar patógenas. En este caso el 18% de los trabajadores informó de la presencia de plagas (ratones y pulgas) en los centros de trabajo, que pueden ser transmisores de enfermedades de tipo zoonótico como leptospirosis, peste, tifus murino, coriomeningitis linfocítica, fiebre por mordedura de rata, salmonelosis, himenolepiasis, enfermedad de chagas, síndrome pulmonar por hantavirus, triquinosis, entre otras, agravando en forma directa (por mordeduras) los eventos ocupacionales y también en forma indirecta al producir daños a la propiedad como el roer cables eléctricos generando un riesgo potencial de incendio. En la Fig. 5.8, se aprecia el reporte de los trabajadores a la exposición a riesgos biológicos, donde el 13% de los trabajadores reportó contar con un suministro deficiente de servicios higiénicos.

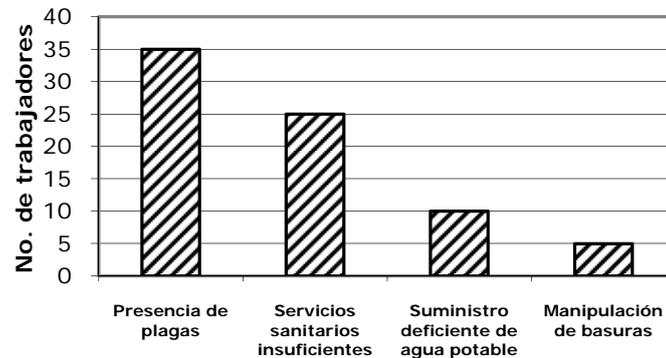


Fig. 5.8 Condiciones de trabajo a agentes biológicos, tomadas del autorreporte hecho por los trabajadores

## 5.2.3 Condiciones básicas de higiene en material particulado, iluminación y ruido

### 5.2.3.1 Material particulado

Para la recolección de la muestra de polvo de madera, se utilizó una bomba muestreadora de aire marca GilAir5 Gilian Multi Fol. No. 800519 con calibrador tipo Sensidyne Filian Gilibrator TM 2 803024B, Bubble Generator Rang 20 CC-6LPM P7N 800286. Los filtros utilizados fueron de silical 5.0  $\mu\text{m}$  PH-PVC 37 mm. Desecador con silica gel y balanza analítica Precisa 405M-200<sup>a</sup> calibrada el 01/03/06. El método analítico utilizado fue NIOSH norma 500 "Polvo total no respirable" (NIOSH, 1994) (ver anexo B)

En la Tabla 5.6 se puede observar que el 50% de las empresas presenta un nivel que supera el grado de riesgo de 1. Se observó que los trabajadores utilizaban protector respiratorio tipo mascarilla para polvo de barrido y respiradores con filtros sobresaturados. El 100% de los trabajadores desconocían las normas de mantenimiento y la reposición de los elementos de protección respiratoria se realizaba en forma inadecuada en cuanto a periodicidad y cuidados.

Tabla 5.6. EPO de las empresas visitadas

Empresa	EPO (mg/m <sup>3</sup> )	Grado de Riesgo
1	21.6	2.16
2	14.55	1.46
3	3.36	0.36
4	1.6	0.16
5	34	3.4
6	7.04	0.704
7	57.4	5.74
8	2.61	0.261
9	1.95	0.2
10	61.4	6.14

### 5.2.3.2 Iluminación

De acuerdo con el Reglamento Técnico de Iluminación del Ministerio de Protección Social 2002, se tuvieron en cuenta los parámetros para la valoración de la iluminación y la intensidad lumínica mínima en los puestos de trabajo, como se detalla en las Tablas 5.7 y 5.8.

En la Tabla 5.7 se puede observar que en el 50% de las empresas visitadas, la iluminación está por debajo de los niveles recomendados para trabajos en madera. En algunos puestos de trabajo se observó penumbra. A las empresas se les recomendó que apliquen los procedimientos para el cumplimiento de la iluminación adecuada acordes a la tarea con madera exigidos por el ministerio de Protección Social de Colombia.

Tabla 5.7 E<sub>p</sub> de las empresas visitadas

Empresa	E <sub>p</sub> medido (lux)	E <sub>p</sub> recomendado (lux)
1	212 Y 267	500-1000
2	307 Y 176	500-1000
3	0	0
4	652 Y 842	500-1000
5	263	500-1000
6	107	500-1000
7	38.3	500-1000
8	956 Y 780	500-1000
9	200 Y 500	500-1000
10	240 Y 333	500-1000

### - Descripción de paredes, pisos y techos

En la Tabla 5.8 se pueden observar las condiciones de las instalaciones de las empresas visitadas, las cuales no cumplen con el mínimo de normas de seguridad de orden y aseo (Ministerio de Protección Social, 1979), lo que dificulta la adecuada iluminación en las áreas de trabajo. Además, se observaron capas de material particulado que cubrían las lámparas. En algunos casos la luminaria estaba muy alta dispersando el haz de luz en el puesto de trabajo (por encima de los 3 m), como se puede ver en la Tabla 5.9.

Tabla 5.8 Condiciones de las empresas en el análisis de iluminación

Descripción	Condición de la superficie					
	Material	Color	Textura	Limpia	Media	Sucia
Paredes	Ladrillo vista (Bodega)	Gris, ladrillo	Lisa y rugosa			X
Techo	Cinc, eternit	Gris	Lisa y rugosa			X
Piso	Mortero, tierra	Gris	Lisa y rugosa			X
Superficie de trabajo	Mesas de madera	Café	Lisa			X
Herramientas de trabajo	Formones y gubias		lisa			X

Tabla 5.9 Descripción de las lámparas en el puesto de trabajo.

Descripción	Condición de la lámpara
Aparatos luminosos, tipo	Lámparas fluorescentes con carcasa blanca doble tubo de 39 y 75 W, en algunos puestos (kioscos) tipo bombillas tunstegno.
Especificación de las lámparas	Lámparas fluorescentes de 39 y 75 W
Lámparas por puesto de trabajo	1
Número de puestos	2
Número de filas	1
Aparatos por fila	1
Altura del montaje	Entre 2.30 m a 5 m
Condición de las luminarias	<b>Limpio</b> <b>Sucio: X</b> (Polvo de madera impregnado)

### 5.2.3.3 Ruido

De acuerdo con el Reglamento Técnico de Ruido del Ministerio de Protección Social 2002, se tuvieron en cuenta los parámetros para la valoración del ruido en las

fábricas. Se utilizó un sonómetro Simpson 899 TYPE 2 con calibrador 890-2 Simpson.

Se puede observar en la Tabla 5.10 que todas las empresas visitadas están por encima del nivel máximo permisible de 85 dBA, generado por las máquinas de las áreas de premaquinado y maquinado, donde es muy común el uso de sierras circulares, radiales, péndulos, trompos, entre otros. Los trabajadores utilizaban los protectores auditivos de tipo inserción y auricular; sin embargo, sería importante la realización de un estudio de higiene para valorar las frecuencias de octavas y recomendar el uso de los protectores auditivos adecuados. Las áreas no están subdivididas por paredes ni paneles de absorción de ruido, por lo que en todos los puestos de trabajo se detectó el ruido de las máquinas en funcionamiento. En las horas de descanso, sólo el compresor quedaba funcionando y el ruido no superó los 70 dBA.

Tabla 5.10 Leq de las empresas visitadas

Empresa	Leq ambiental medido dB (A)	Grado de riesgo GR	Tiempo de exposición permitido	Leq recomendado dB (A) (Ministerio de Protección Social de Colombia, 2002 )
1	93.4	3.2	2.5	85
2	96.62	5	1.6	85
3	97	5.3	1.5	85
4	93.6	3.21	2.4	85
5	91.14	2.35	3.4	85
6	91.3	2.4	3.34	85
7	95.7	4.4	1.8	85
8	89.5	1.87	4.3	85
9	103	6	0.66	85
10	93.75	3.36	2.38	85

#### 5.2.4 Valoración del riesgo de los puestos analizados de las condiciones de trabajo

Como se puede apreciar en la Tabla 5.11, la valoración del riesgo dió como resultado que el grado de peligrosidad es alto y el grado de repercusión fue medio.

Tabla 5.11 Valoración del riesgo

Área de estudio	No. de trabajadores expuestos	Tiempo de exposición	Valoración del riesgo								
			C	E	P	GP	INT GP	F P	GR	INT. GR	
Inmunizado	17	12	5	10	10	500	Alto	5	2500	Medio	
Lijado/ cepillado	101	12	5	10	10	500	Alto	5	2500	Medio	
Pintura	60	12	5	10	10	500	Alto	5	2500	Medio	

**C:** Consecuencia                      **E:** Exposición                      **P:** Probabilidad  
**GP:** Grado de Peligrosidad            **INT GP:** Interpretación grado de peligrosidad  
**FP:** Factor de ponderación            **INTGR:** Interpretación grado de repercusión

## 5.2.5 Diagnóstico de las condiciones de salud

A partir de las 177 encuestas realizadas a los trabajadores, el médico especialista en Salud Ocupacional seleccionó aquellas encuestas de morbilidad sentida con resultados positivos a las preguntas de problemas respiratorios que de alguna manera tenían que ver con los contaminantes químicos presentes en la fabricación de muebles para elaboración de las historias clínicas ocupacionales. Del total de los trabajadores encuestados se seleccionaron 40, o sea, el 22.5% de los trabajadores encuestados.

### 5.2.5.1 Autorreporte de morbilidad sentida e historias clínicas ocupacionales

La percepción de las condiciones de salud en los trabajadores se valoró mediante un instrumento compuesto por 59 preguntas orientadas a síntomas dependientes de los diferentes sistemas orgánicos, con especial énfasis en aquellos que más se pueden comprometer por las tareas e insumos propios del quehacer de la industria del mueble.

Con respecto a las diferentes variables del autorreporte, se realizó una agrupación de aquellas que están representando unas inadecuadas condiciones en el ambiente de trabajo en el proceso de la fabricación de los muebles de madera, y son las siguientes:

- Ardor, irritación o enrojecimiento en los ojos: ésto fue referido por el 40.4% de los trabajadores, lo que nos da una idea de las condiciones de contaminación ambiental y/o de la falta de un adecuado uso de protección visual.
- Congestión nasal y/o frontal, referido por el 17.4% de los trabajadores que puede estar dando luces con respecto a los eventos que afectan la vía respiratoria superior, incluyendo los eventos en los que puede participar la contaminación ambiental propia de este tipo de industrias.
- Secreción nasal, mal olor nasal: sólo fue referido por el 6.7% de los trabajadores y hace referencia a la complicación de tipo infeccioso de un evento de la vía aérea superior.
- Ataques (accesos) de tos, indicado por el 14.6% del personal; desgarrros, 10.6%; ronquera, 14.6%; carraspera en la garganta, 28.6%, que pueden relacionarse con la exposición prolongada al polvo presente en el medio ambiente laboral.
- Falta de aire al subir escalas o escaleras, el 21.9%, aunque las fábricas visitadas en su inmensa mayoría son de una sola planta y el 50% de los trabajadores se encuentran en la segunda década de la vida. No se debe olvidar en este punto las condiciones de adaptación física.
- Sensación de opresión en el pecho, 11.8%, al igual que otros síntomas referidos al esfuerzo.
- Falta de aire nocturno (cuando se está en cama), 3.3%, y de ellos sólo dos trabajadores son mayores de cuarenta años. Aquí la subjetividad en la valoración del síntoma juega un papel muy importante.
- Ha tenido enfermedad profesional un 3.9%, aunque en los reportes revisados no aparece notificación alguna de este tipo de evento ocupacional.

- Alergia en la piel, 15.7%, sin hacer en este punto una discriminación de si el evento de salud se ha iniciado en la empresa o fuera de ella.
- Sequedad en la piel en un 26.4%, que puede estar asociada con el tipo de elementos químicos que se emplean en el proceso de fabricación de los muebles de madera.
- Hongos en alguna parte del cuerpo en un 9.5%, principalmente asociados a condiciones de humedad.

Todos los puntos indagados en la encuesta de condiciones de salud se muestran en la Tabla 5.12.

Tabla 5.12 Respuesta de las encuestas de las condiciones de salud de los trabajadores de las áreas de lijado, cepillado y pinturas (Universidad del Quindío, 2006)

Condiciones de salud	No. de trabajadores	%
Sobrepeso	25	14.0
Cefaleas al menos dos veces por semana	78	43.8
Irritación en los ojos	72	40.4
Dificultad para ver	62	34.8
Gripas frecuentes	54	30.3
Congestión nasal o en la frente	31	17.4
Secreción nasal, mal olor	12	6.7
Dolor dental	15	8.4
Accesos de tos	26	14.6
Desgarro	19	10.6
Perdida de la audición	12	6.7
Otorrea	4	2.2
Vértigo	40	22.4
Alteraciones de la voz	26	14.6
Alteraciones de la garganta	51	28.6
Sofocación al subir escaleras	39	21.9
Opresión en el pecho	21	11.8
Hinchazón de los pies en la tarde	21	11.8
Falta de aire en la noche	6	3.3
Agrieras o acidez	44	24.7
Gastritis	60	33.7
Vómito con sangre	1	0.56
Estreñimiento	13	7.3
Diarrea	16	8.9
Prurito anal	14	7.8
Ardor al orinar	18	10.1
Aumento de la frecuencia para orinar	34	19.1
Dolor muscular	61	34.2
Dolor en miembros inferiores	40	22.4
Dolores articulares	15	8.4
Dolor lumbar	51	28.6
Dolor dorsal	47	26.4
Heridas	16	8.9
Accidentes de trabajo	25	14.0
Accidentes deportivos empresariales	2	1.1

Condiciones de salud	No. de trabajadores	%
Enfermedades profesionales	7	3.9
Varices	53	29.7
Ulceras varicosas	3	1.68
Alergias en piel	28	15.7
Resequedad en piel	47	26.4
Hongos piel	17	9.5
Cansancio al levantarse	79	44.3
Agotamiento o fatiga	99	55.6
Irritación fácil	52	29.2
Dificultad para dormir	36	20.2
Hospitalización por enfermedad mental	3	1.68
Pesadillas	15	8.4
Tristeza	48	26.9
Irritabilidad	70	39.3
Problemas actividad sexual	11	6.1
No uso de condón	51	28.6
Pareja sexual estable	82	46.0
Masa senos	9	5.0
Galactorrea	5	2.8
No citología	32	17.9
Flujo vaginal	12	6.7
Alteración menstrual	18	10.1
Lesión de pene	3	1.68
Alteración calibre chorro (hombres)	10	5.6

### 5.2.5.2 Historias clínicas ocupacionales de los trabajadores

Tras analizar las encuestas de morbilidad sentida de los 177 trabajadores, se seleccionaron 40 trabajadores y se les realizó la historia clínica ocupacional por el médico especialista en Salud Ocupacional, y cuyos resultados más relevantes se indican a continuación.

Con respecto al estado civil (Fig. 5.9), llama la atención cómo la modalidad predominante es la unión libre, mostrando la estratificación socioeconómica de procedencia de los trabajadores de este tipo de empresas y sus preferencias por el tipo de vinculación marital, con todas las implicaciones que esto conlleva.

Del total de los trabajadores, el 17.5% (7) no están afiliados a una Empresa Promotora de Salud, sino que cuentan con afiliación a una Administradora del Régimen Subsidiado, lo que está mostrando un incumplimiento por parte de los empleadores con la normatividad vigente en materia de seguridad social. Con respecto a la afiliación a un fondo de pensiones, solamente el 25% (10) están afiliados y el 37.5% (15) tienen Administradora de Riesgos Profesionales. Este punto es muy importante si tenemos en cuenta los riesgos tan relevantes a los

cuales están expuestos los trabajadores de las empresas dedicadas a la fabricación de muebles de madera.

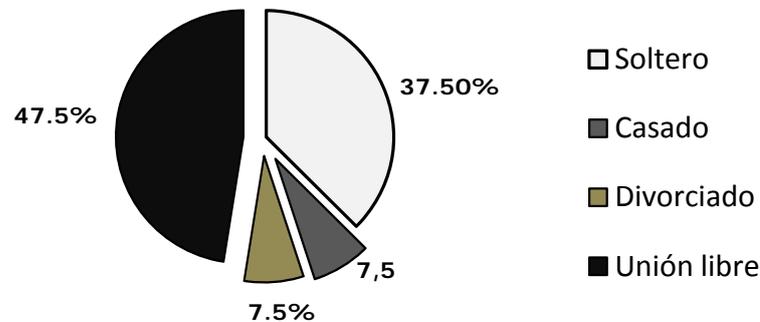


Fig. 5.9 Estado civil de los trabajadores, registro tomado de las historias clínicas ocupacionales (HCO)

**Edad:** Del total de los trabajadores escogidos para las historias clínicas, el 45% fueron mujeres y el restante 55% hombres. El promedio de edad fue de 31 años, el más joven de 19 y el mayor de 51 años con una desviación estándar de 10.1

**Antigüedad:** Analizando la antigüedad en la empresa, el 62.5% de los trabajadores están dentro del primer año de trabajo, muy pocos sobrepasan la barrera de los cinco años y en todos los casos se trata de empleados de confianza o de aquellos que se desempeñan en labores muy especializadas, y por lo tanto representan un gran valor para la empresa. Los cargos de los trabajadores a los que se les realizó la historia clínica son: 37.5%, lijadores; el 15%, operarios de maquinaria, y un 47.5% están en cepillado, inmunizado y pintura.

**Hábitos:** El 20% de los examinados prefiere fumar y el 45% ingerir licor. En el primero de los hábitos influye el hecho de entenderse el efecto negativo que para la salud representa el consumo de cigarrillo, mientras que el consumo de licor está arraigado como un hecho social y su efecto nocivo para la salud no es comprendido tan fácilmente como el del tabaco.

**Ejercicio físico:** El 45% de los trabajadores refiere practicar algún tipo de actividad deportiva al menos una vez a la semana, manifestando adicionalmente

que su jornada de trabajo es la razón de no poder tener una mayor dedicación al deporte.

**Eventos ocupacionales:** Con respecto a la ocurrencia de accidentes de trabajo o enfermedades ocupacionales durante su vida laboral, encontramos que el 27.5% refieren haber tenido un accidente reconocido como tal y el 100% niegan tener una enfermedad profesional.

**Revisión por sistemas:** Interrogados los trabajadores, el 65% refiere que durante los últimos dos meses ha presentado algún síntoma relacionado con diversos eventos de salud que si bien no han sido incapacitantes los han llevado a requerir consultar o a auto-formularse algún tipo de medicamento.

#### ***- Hallazgos en el interrogatorio importantes para su ocupación***

- Empleo de aditamentos extraños (papel) dentro de los protectores respiratorios con la falsa idea de aumentar su eficacia.
- Inadecuada frecuencia de cambio de los filtros de los protectores respiratorios.
- No uso de los EPI durante toda la jornada de trabajo.
- Algunos trabajadores manifestaron que los protectores respiratorios no son de una adecuada calidad para retener el polvo.

Como se puede observar en la Fig. 5.10, el 26.5% de los trabajadores tiene problemas de salud visual (razón que nos lleva a pensar en una elevada concentración de polvo de madera en el ambiente), un 15% de varices en los miembros inferiores, un 15% de escoliosis y un 15% de faringitis.

#### ***5.2.5.3 Análisis de absentismo e incapacidad laboral en los trabajadores del sector maderero***

Los coordinadores de Salud Ocupacional y de Seguridad Industrial de las empresas manifestaron no presentar ningún tipo de absentismo con respecto a la exposición del polvo de madera. Sin embargo, son frecuentes los accidentes de trabajo relacionados con la manipulación de herramientas y maquinaria. Respecto a la ocurrencia de eventos ocupacionales, encontramos que el 27.5% de los

trabajadores encuestados refiere haber tenido un accidente reconocido como tal y el 100% niega tener una enfermedad profesional. Se detectó que el 100% de las empresas no lleva el programa de vigilancia epidemiológica de material particulado; sin embargo, se considera un subregistro debido a que el personal entrevistado se quejó de sufrir de tos, ronquera, rinitis y gripes frecuentes. (En las estadísticas epidemiológicas, el subregistro es la cantidad de X que se deduce que no ha sido registrado, por ejemplo, el subregistro de nacimientos es la cantidad de nacimientos que no han sido registrados).

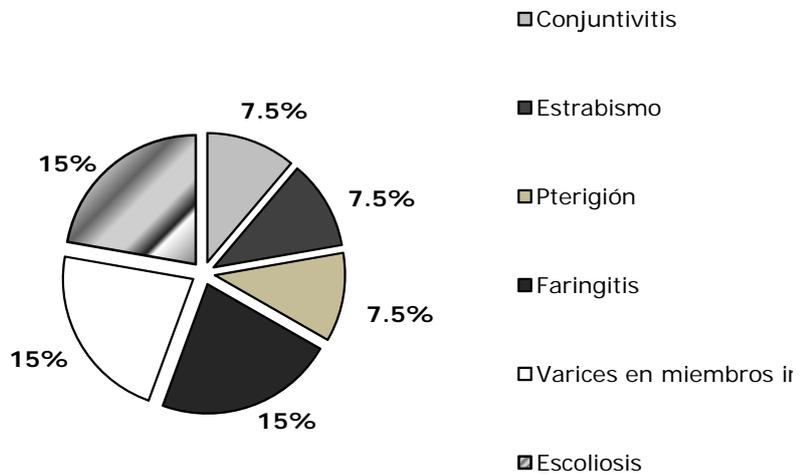


Fig. 5.10 Resultados del examen físico realizado a los trabajadores seleccionados para la realización de las historias clínicas ocupacionales (Universidad del Quindío, 2006).

## **6. ANÁLISIS DE DATOS DE MORBI-MORTALIDAD LABORAL DE LOS TRABAJADORES POR PATOLOGÍAS RESPIRATORIAS**

### **6.1 ESTUDIO EPIDEMIOLÓGICO DE LA ENFERMEDAD RESPIRATORIA CRÓNICA NO ESPECÍFICA**

El Comité mixto OIT/OMS sobre Higiene del Trabajo se reunió en Ginebra en 1987, para tratar la epidemiología de las enfermedades relacionadas con el trabajo y las lesiones causadas por accidentes de trabajo. Considera que la epidemiología es muy útil para identificar problemas, establecer objetivos, definir estrategias, movilizar los recursos multidisciplinarios requeridos para mejorar las condiciones y el ambiente de trabajo, y promover la salud de los trabajadores (OMS, 1989).

#### **6.1.1 Análisis de los datos**

Un estudio epidemiológico de una enfermedad relacionada con el trabajo es predominantemente no experimental y sujeto a dificultades inherentes, especialmente cuando en una asociación observada entre dos fenómenos proporciona pruebas a favor o en contra de la casualidad (OMS, 1989).

El análisis de los datos consiste en calcular la incidencia de la variable resultado (enfermedad y muerte) y compararla entre los sujetos expuestos y los no expuestos al potencial factor de riesgo. Cuando la mayoría de los sujetos ha sido seguida aproximadamente durante el mismo tiempo, la medida más adecuada de incidencia es la llamada incidencia acumulada (riesgo). Si no es así, debe calcularse la tasa. La información sobre la exposición y la enfermedad suele presentarse para

su análisis en forma de tablas de contingencia, como se aprecia en la Fig. 6.1 (Piédrola-Gil *et al.*, 2003).

		<b>Enfermedad</b>			
		Sí	No	Total	
Exposición	Sí	<b>a</b>	<b>b</b>	a+b	$I_e = a/a+b$
Exposición	No	<b>c</b>	<b>d</b>	c+d	$I_o = c/c+d$
<b>A</b>	Total	a+b	b+d	a+b+c+d	$I_{total} = a+c/a+b+c+d$
		<b>Enfermedad</b>			
		Sí	No	Total	
Exposición	Sí	<b>a</b>	-	PA <sub>e</sub>	$I_e = a/PA_e$
Exposición	No	<b>c</b>	-	PA <sub>o</sub>	$I_o = c/PA_o$
<b>B</b>	Total	a-c	-	PA <sub>e</sub> +PA <sub>o</sub>	$I_{total} = a+c/PA_e + PA_o$

Fig. 6.1 Análisis de un estudio de cohortes mediante tablas de contingencia: A) Tabla para un estudio con incidencias acumuladas; B) Tabla para un estudio con densidades de incidencia. I: Incidencia; e: expuestos; o: no expuestos; PA: personas-años de seguimiento (Piédrola-Gil *et al.*, 2003).

En los estudios de cohortes, las tablas se leen de izquierda a derecha, es decir, desde la exposición a la enfermedad. Las diferencias absolutas o relativas (razones) de las incidencias de la enfermedad en los dos grupos de comparación constituyen medidas de la asociación entre la exposición al factor de riesgo y la enfermedad. Si se considera que la relación es causal, constituyen medidas del efecto de la misma forma y tienen el mismo significado para la incidencia acumulada y para la densidad de incidencia (ver Tabla 6.1).

Tabla 6.1 Medidas de asociación en estudios de cohortes (Piédrola-Gil *et al.*, 2003)

Medida	Significado	Cálculo
Riesgo relativo (RR)	Cuántas veces más frecuente es la incidencia de la enfermedad en los expuestos que en los no expuestos al factor de riesgo	$RR = I_e/I_o$
Riesgo atribuible (RA) (diferencia de riesgos)	Incidencia de la enfermedad que es atribuible a la exposición al factor de riesgo	$RA = I_e - I_o$
Proporción de riesgo atribuible (RA%)	Proporción de la enfermedad que es atribuible a la exposición al factor de riesgo	$RA\% = (I_e - I_o) / I_e \times 100$
Índice de intervención (II)	Número de sujetos en los que hay que impedir la exposición para evitar una enfermedad	$II = 1/RA$
Riesgo atribuible poblacional (RAP)	Incidencia de la enfermedad que es atribuible a la exposición al factor de riesgo en la población	$RAP = I_t - I_o = RA \times P_e$
Proporción de riesgo atribuible poblacional (RAP%)	Proporción de la enfermedad que es atribuible a la exposición al factor de riesgo en la población.	$RAP\% = (I_t - I_o) / I_t \times 100$
Fracción preventiva (FP)	Representa la proporción de la incidencia de enfermedad evitada entre los expuestos por la acción del factor protector, donde $I_o$ es la incidencia en los no expuestos, e $I_e$ la incidencia en los expuestos al factor de riesgo.	$FP = (I_o - I_e) / I_o \times 100 = (1 - RR) \times 100$

### **6.1.1.1 Riesgo relativo (RR)**

Es una medida de la fuerza de asociación y proporciona información útil para juzgar si una asociación que no se debe al azar ni a errores sistemáticos, puede ser causal; por ello, es la más habitual para presentar los resultados de los estudios etiológicos. Carece de unidades, su límite inferior es 0 y superior es infinito. Si  $RR = 1$ , significa que ambas incidencias son iguales y, por tanto, el potencial factor de riesgo carece de efecto sobre la aparición de la enfermedad. Valores superiores a 1, significan que el factor aumenta el riesgo de sufrir la enfermedad. La mayoría de los factores de riesgo toman valores entre 1 y 2. Se trata de efectos pequeños o moderados que requieren muestras de gran tamaño para alcanzar la significación estadística, es decir, que son diferentes a 1. En general, hay que desconfiar de valores muy altos del RR; suelen deberse a errores de cálculo o son hallazgos obvios. Cuando el RR es  $<1$  significa que aquellos sujetos expuestos al factor en estudio tienen un menor riesgo de presentar la enfermedad.

### **6.1.1.2 Riesgo atribuible (RA)**

Es una medida del efecto absoluto del factor de riesgo que produce la enfermedad, es decir, el exceso de riesgo de enfermar, entre los expuestos, atribuible al factor de riesgo. Por tanto, el cálculo del RA establece el riesgo adicional de enfermar relacionado con la exposición estudiada y responde a la pregunta ¿Cuál es el riesgo de enfermar atribuible al factor estudiado?, a diferencia del RR. El límite inferior del RA es 0 y el superior es 100 o infinito, según se manejen tasas o densidades de incidencia, respectivamente. Si la incidencia se mide como densidad, el RA se divide por unidades de tiempo. Una medida derivada del RA es la proporción de riesgo atribuible (RA%), también llamada "*fracción etiológica o factor etiológico*"; es otra forma más de presentar el impacto del factor de riesgo entre los expuestos a él.

El factor etiológico varía en relación con el tiempo y el lugar; es mayor cuando los niveles de exposición son elevados y puede ser modificado por otros factores de riesgo, que varían de una población a otra, tales como la ingestión de grasas y el hábito de fumar.

La fracción etiológica laboral correspondiente al estudio se aplica exclusivamente a ese estudio en particular, ya que depende de la intensidad de la exposición encontrada en ese estudio y de la fuerza de otros factores etiológicos en ese grupo específico. Por otra parte, la suma de distintas fracciones etiológicas a menudo supera el 100%, ya que muchas causas tal vez no sean causas suficientes y su efecto sólo se manifiesta en presencia de otras causas. En consecuencia, la suma de las fracciones etiológicas puede ser cualquier cifra igual o superior al 100%. También puede estimarse el número de sujetos cuyo hábito tabáquico habría que interrumpir para evitar una muerte o evento adverso; es el llamado "*índice de intervención*".

Si se trata de un factor protector, puede calcularse una medida análoga a RA%, la llamada "*fracción preventiva*" (FP), que representa la proporción de la incidencia de enfermedad evitada entre los expuestos por la acción del factor protector.

"*El riesgo atribuible en la población general*" (RAP) es una medida de impacto del factor de riesgo en la población en general, que ha de ser menor que en los expuestos al factor de riesgo, al estar formada por expuestos y no expuestos a dicho factor. Representa el exceso de incidencia de enfermedad que se evitaría en la población general si se interrumpiera la exposición al factor de riesgo. Es junto con el RAP%, la medida de efecto de mayor importancia en salud pública.

"*La proporción de riesgo atribuible en la población general*" (RAP%) se obtiene dividiendo el RAP por la incidencia total de enfermedad en el conjunto de la población. Representa la proporción de la incidencia de enfermedad que se evitaría en la población general si se erradicara la exposición al factor de riesgo (Piédrola-Gil *et al.*, 2003).

### **6.1.2 Hábito de fumar en los trabajadores objeto de estudio**

Es imprescindible que en todo estudio de las enfermedades respiratorias relacionadas con el trabajo se tenga en cuenta el consumo de tabaco en la población estudiada. Se debe señalar que el consumo pasivo de tabaco puede también producir o agravar las enfermedades respiratorias crónicas no específicas.

Por medio de cuestionarios debe obtenerse información detallada sobre los hábitos de fumar actuales y pasados. Con frecuencia la información más importante se obtiene mediante comparaciones entre grandes fumadores expuestos y no expuestos, debido a que la exposición laboral bajo estudio y el tabaco pueden actuar en forma sinérgica. En otros casos, sin embargo, el efecto del tabaco sobre una determinada variable (por ejemplo, el volumen de cierre) quizás sea tan abrumador que impida determinar el factor etiológico más débil correspondiente al trabajo, en cuyo caso las comparaciones entre no fumadores proporcionarían la mejor información (OMS, 1989).

En la clasificación de los exfumadores siempre se presentan problemas. A veces, es posible incluirlos entre los no fumadores (siempre que haya transcurrido cierto tiempo, como uno o dos años desde que dejaron de fumar), pero a menudo los efectos del tabaco son irreversibles, como en el caso del enfisema. Se debe recordar también que el exfumador pudo haber abandonado el hábito por razones de salud. Si el grupo estudiado es suficientemente grande, quizá sea conveniente excluir por completo a los exfumadores. También debe tenerse en cuenta el consumo pasivo del humo de cigarrillos, que puede ser una causa relacionada con el trabajo de enfermedades respiratorias crónicas no específicas, o bien puede actuar como un posible factor de confusión en el estudio de otras causas. En ambos casos es necesario contar con información detallada.

## **6.2 ESTUDIO EPIDEMIOLÓGICO DE LA ENFERMEDAD RESPIRATORIA CRÓNICA NO ESPECÍFICA EN COLOMBIA EN TRABAJADORES DE LA MADERA**

El Ministerio de la Protección Social de Colombia en el 2007 reportó que en el período 2004-2005 se reconocieron como enfermedad profesional 34 casos de asma (MPSC, 2007).

## 6.2.1 Afiliación y cobertura del Sistema General de Riesgos Profesionales (SGRP) en Colombia

El SGRP prevé afiliaciones obligatorias y voluntarias. Deben afiliarse al sistema, con carácter obligatorio, los trabajadores dependientes vinculados mediante contrato de trabajo o como servidores públicos, sin importar su nacionalidad, los pensionados que se reincorporen a la fuerza laboral como trabajadores dependientes, mediante contrato de trabajo o como servidores públicos, y los estudiantes que ejecuten labores que impliquen un riesgo ocupacional y cuya labor, además de representar ingresos para la institución en que laboran, sea requisito para la culminación de sus estudios (ARP ISS, 2003).

### 6.2.1.1 Información estadística de la población de Colombia, del departamento del Quindío y del municipio de Armenia

El Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) es la entidad responsable de la planeación, levantamiento, procesamiento, análisis y difusión de las estadísticas oficiales en Colombia. En la Tabla 6.2 se aprecia la población total del país, del departamento del Quindío y del municipio de Armenia (ver anexo C) (DANE, 2009).

Tabla 6.2 Total de la población en Colombia, el departamento del Quindío y Armenia (DANE, 2009)

Población (PG)	Total (no. de habitantes)	%
Colombia (PGC)	44 450 260	100
Quindío (PGQ)	612 719	1.37

Nota: PGC = población general de Colombia PGQ = Población general del Quindío

### 6.2.1.2 Cobertura del aseguramiento de empresas y trabajadores por el SGRP

La afiliación de las empresas y los trabajadores a las ARP desde 1995 hasta el 2004 ha venido aumentando en forma dinámica, con algunos estancamientos entre 1998 y el 2000. En noviembre de 2004, había registrados 4836939 trabajadores

afiliados, lo que significa un incremento total de 7.6% durante este decenio (MPSC, 2005).

En cuanto a la cobertura de la Población Económicamente Activa (PEA), la dinámica es diferente, pues el SGRP ha cubierto aproximadamente el 21.3% en el decenio y un promedio de cerca de 24.9% de la población ocupada.

La población económicamente activa (PEA) comprende a todas las personas en edad para trabajar que trabajan o están buscando empleo. Las personas en edad para trabajar: son las comprendidas entre los 12 y 64 años en zonas urbanas y entre los 10 a 64 años en zonas rurales (DANE, 2009). Colombia tiene una PEA de 35591323 personas (ver anexo C).

Esta limitación en la cobertura obedece a dos fenómenos: la definición de la población ocupada, en la que se incluyen los trabajadores temporales, los subempleados y los informales, que no se pueden afiliar al SGRP, pues la ley limitó la afiliación a los trabajadores ocupados definidos mediante contrato de trabajo de los subsectores público y privado desocupados. Es decir, que tanto población desocupada (los aspirantes y cesantes) como los sectores independiente e informal de la economía no han tenido acceso a la afiliación por carencia de mecanismos legales que lo permitan, además de las dificultades para su caracterización, identificación y financiamiento, aspectos que aún no han sido cabalmente resueltos (MPSC, 2005). En la Tabla 6.3 se observa el número total de trabajadores afiliados al Sistema General de Riesgos Profesionales, llamado Régimen Contributivo, que es la cotización de los trabajadores al Sistema General de Seguridad Social en Colombia (Salud, Pensión y Riesgos Profesionales).

Tabla 6.3 Total de trabajadores afiliados al Régimen Contributivo (MPSC, 2009)

Trabajadores	Total de trabajadores afiliados	% nacional	% en el Quindío
Colombia (TTC)	6 146 709	14.50	
Quindío (TTQ)	174 984	0.41	
Trabajadores de la madera del Quindío (TTm)	6018	0.09	
Trabajadores de 10 empresas de la madera (muestra del Quindío)	<b>615</b>	<b>0.010</b>	<b>10.2</b>

Nota: TTC= total de trabajadores      TTQ = Total trabajadores del Quindío  
TTm = total trabajadores de la madera del Quindío

El departamento del Quindío tiene una población de 612719 personas, de las cuales el PEA es del 90.62% y sólo un 28.56% están afiliados al SGRP. En el municipio de Armenia, la población es de 321378, de los cuales el PEA es del 90.52% y sólo un 46.63% de los trabajadores están afiliados al SGRP. En el anexo C se puede apreciar los indicadores demográficos del país y del departamento del Quindío (MPSC, 2009; ISSQ, 2009).

Los datos obtenidos para el análisis de datos de morbi-mortalidad laboral de los trabajadores de la madera, se tomó de aquellos que cotizan al SGRP que trabajan en las empresas que permitieron el estudio de esta Tesis. Se desconoce el número de trabajadores de la madera de la economía informal que no cotizan al SGRP y la morbi-mortalidad por la exposición del polvo de madera, esta población está implícitamente incluida en los datos de morbi-mortalidad de la población general (PG).

## 6.2.2 Morbilidad por enfermedad profesional en Colombia

Al revisar las estadísticas históricas de enfermedad profesional, se deben tener presentes varios aspectos importantes en materia de estrategias de búsqueda de casos, así como de competencias en esta materia. Antes de la reforma a la seguridad social en 1993 y 1994, tanto el ISS como el Ministerio de Salud realizaban proyectos para la búsqueda activa de casos, bien para el estudio de alguna situación particular de exposición y daño o bien para estudiar y solucionar algún impacto relevante sobre la salud pública. En la Tabla 6.4 se registran los seis principales diagnósticos de enfermedad profesional realizados en las Administradoras de Riesgos Profesionales (ARP) privadas para el año 2002, destacando la presencia de las alteraciones osteomusculares como las patologías emergentes y la persistencia de patologías tradicionales, como la hipoacusia, las afecciones respiratorias y las dermatosis.

Tabla 6.4. Enfermedades profesionales diagnosticadas en 2002 (Fuente: Sistema de Información Gremial. Cámara Técnica de Riesgos Profesionales. Fasecolda, 2004) (MPSC, 2005)

Enfermedad profesional	No. de casos	%
S. túnel carpo	151	20%
Hipoacusia neurosensorial	143	19%

<b>Enfermedad profesional</b>	<b>No. de casos</b>	<b>%</b>
Trastornos columna lumbosacra	136	18%
Dermatitis de contacto	23	3%
<b>Afecciones respiratorias</b>	<b>23</b>	<b>3%</b>
Infecciones parasitarias	23	3%

En el año 2004, se identificaron en Colombia un total de 51861 casos de eventos ocupacionales, de los cuales 813 eran del departamento del Quindío y de éstos 110 en el sector económico de manufactura blanda (ARP ISS, 2004).

En el 2006, el Ministerio de Protección Social registró 3650 casos de eventos ocupacionales, de los cuales 42 casos eran de las empresas madereras y sólo 3 correspondían a afecciones al sistema respiratorio (EPOC, asma mixta y hallazgos anormales en órganos respiratorios torácicos) (ver anexo C).

A pesar de que existen los protocolos para el diagnóstico de la enfermedad profesional, sigue siendo un subregistro estadístico real de las enfermedades del sistema respiratorio por causas de la exposición al polvo de madera.

El conocimiento de la prevalencia de EPOC en Colombia es incompleto. En el país existe un sensible infradiagnóstico de la enfermedad, pero en general se sabe que varía apreciablemente dependiendo de los factores de riesgo de exposición, la susceptibilidad de que un trabajador expuesto a un agente causante pueda desarrollar una EPOC.

### **6.2.3 Registros de absentismo general aprobados por MPSC**

Estos registros permiten codificar estadísticas exigidas por la normativa legal vigente. Se requiere que antes de compilar dichos registros sean definidos cada uno de los términos: accidentes de trabajo, enfermedad profesional, enfermedad común, absentismo, etc. Estas definiciones pueden variar de empresa a empresa teniendo en cuenta no sólo los aspectos legales, sino también los convencionales. Una vez definidos los términos, se pasa a establecer los indicadores, o sea, las definiciones operacionales de las variables determinadas previamente que permitan compararlas (MPSC, 1989).

Los indicadores de morbilidad laboral utilizados en esta Tesis, han sido tomados de la Norma Técnica Colombiana (NTC) 3701, en el anexo C se pueden apreciar las ecuaciones para la determinación de los indicadores aquí mencionados:

- Proporción de prevalencia general de enfermedad profesional (PPGEP)
- Proporción de prevalencia específica de enfermedad profesional (PPEEP)
- Tasa de incidencia global de enfermedad o problema respiratorio (TIGEPR)
- Tasa de prevalencia global de enfermedad o problema respiratorio (TPGEPR)
- Indicadores de absentismo por causa de enfermedad o problema respiratoria (EPR)
- Índice de frecuencia de absentismo (IFA); para problema y enfermedad respiratoria es IFAPER
- Índice de severidad del absentismo (ISA); Para problema y enfermedad respiratorio es ISAPER
- Porcentaje de tiempo perdido (%TP) Para problema y enfermedad respiratorio es %TPPER
- Prevalencia de período por problema y enfermedad respiratoria (PPPER)

La causa del absentismo laboral, se clasificaron de acuerdo con los códigos de la Clasificación Internacional de Enfermedades CIE-10. La Jornada laboral permitida para las fábricas de madera es de 48 horas a la semana (51 semanas laborales al año); por lo tanto, el número total de horas-hombre trabajadas es de 2448 horas al año.

#### **6.2.4 Función Exposición- Respuesta ( $f_{ER}$ )**

La evaluación de un riesgo se realiza a partir del valor de las concentraciones de las sustancias a evaluar en el ambiente durante el tiempo de exposición, por tanto, hay que determinar concentraciones ambientales de los contaminantes, que responden a valores medios referidos a un periodo de tiempo definido (ya que las concentraciones no suelen ser constantes a lo largo del tiempo).

Las medidas de una exposición se realiza mediante el valor de las concentraciones promediadas de unos contaminantes concretos, y la evaluación de la exposición se

realiza comparando el resultado obtenido con el valor límite que se determina para cada contaminante. Este valor límite supone un criterio de valoración con el que comparar para evaluar de forma objetiva el riesgo debido a la exposición de un agente.

Las concentraciones máximas permisibles o TLV son valores de referencia para que las concentraciones de los agentes químicos en el aire, basándose en los conocimientos del momento en que se enjuicia tal situación, en que la mayoría de trabajadores pueden estar expuestos a un agente químico durante una jornada labora sin sufrir efectos adversos para la salud. Esto hace que se necesite cuantificar la relación entre la exposición a una sustancia (dosis) y la intensidad del efecto (relación dosis-efecto) o el número de personas que presenten un efecto determinado (dosis-respuesta).

Con referencia a la relación dosis-efecto, ésta suele tener una representación gradual que se traduce en una gráfica logarítmica. Se determina el umbral de efecto como aquella dosis por debajo de la cual no se aprecia ningún efecto, aunque no todas las sustancias tienen este tipo de comportamiento.

Con referencia a la relación dosis-respuesta es habitual que se observe que al aumentar la dosis aumente el número de individuos que alcancen un nivel de efecto hasta que, si se sigue aumentando la dosis, lo presenten el 100% de casos. Al igual que en el caso dosis-efecto se obtiene una gráfica análoga con la particularidad de que, en este caso, se controla la respuesta y por tanto el nivel de efecto significativo que se predefine. Así, se obtendrán resultados (y gráficas) que clasificarán a las personas en aquellas que presentan respuestas iguales o superiores a la predefinida, y las que no la alcanzan.

#### **6.2.4.1 Relación dosis-efecto**

Describe la relación existente entre la magnitud de la exposición y la intensidad del efecto o es la relación entre la exposición a una sustancia (dosis) y la intensidad del efecto (**relación dosis-efecto**), como se aprecia en la Fig. 6.2

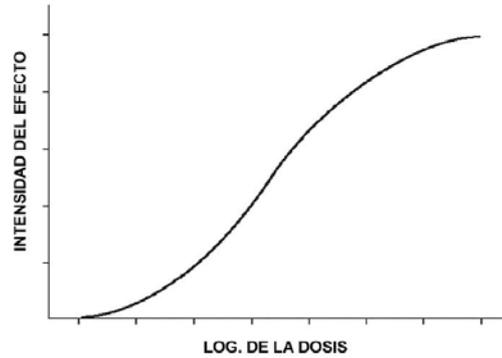


Fig. 6.2 Relación dosis-efecto

#### 6.2.4.2 Relación dosis-respuesta

El número de individuos que presentan un efecto determinado (**relación dosis-respuesta**), tal como se aprecia en la Fig. 6.3

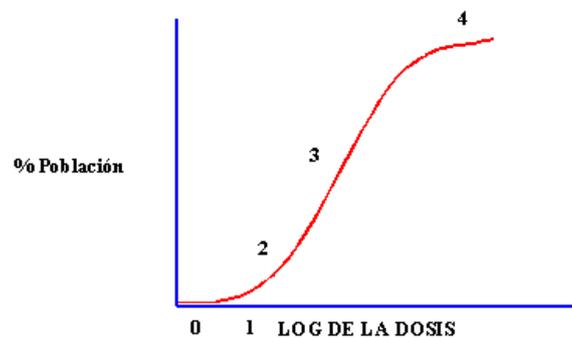


Fig. 6.3 Curva Dosis-Respuesta. De 0 a 1: región NOAEL; 2: LOAEL; 3: región lineal; y 4: respuesta máxima. NOAEL (*Not Observed Adverse Effect Level*: nivel sin efecto adverso observado). LOAEL (*Lowest Observed Adverse Effect Level*: nivel más bajo con efecto adverso observado)

#### 6.2.4.3 Criterios de valoración (TLV)

La relación dosis-efecto reside en que al hablar de respuesta se define previamente cuál es el nivel del efecto que se considera significativo.

Se define siguiendo estos razonamientos el concepto de dosis efectiva media (dm) que corresponderá a la dosis para la que el 50% de las personas manifiesta el

efecto considerado. Asimismo, para el establecimiento de TLV y las distintas etapas de investigación y estudios que deben desarrollarse se utilizan animales especialmente escogidos a los que se administran dosis únicas buscando el efecto predefinido de la muerte, así se establecen criterios de toxicidad. Estos criterios se pueden definir a través de unos índices (UPCplus, 2007):

- **DL<sub>50</sub>**: Dosis letal 50, es aquella dosis en la que se produce el 50% de muertes en los animales de experimentación. Puede ser por ingestión oral o por penetración cutánea.
- **CL<sub>50</sub>**: Concentración letal al 50% por inhalación, corresponde a la concentración ambiental que por exposición durante un tiempo determinado produce la muerte del 50% de los animales de experimentación en un plazo de tiempo definido.

Estos índices permiten clasificar las sustancias en función de su toxicidad aguda, aunque de modo similar se realizan estudios de exposición repetida o sobre dosis más bajas a la que se describe un efecto (ver Fig. 6.4).

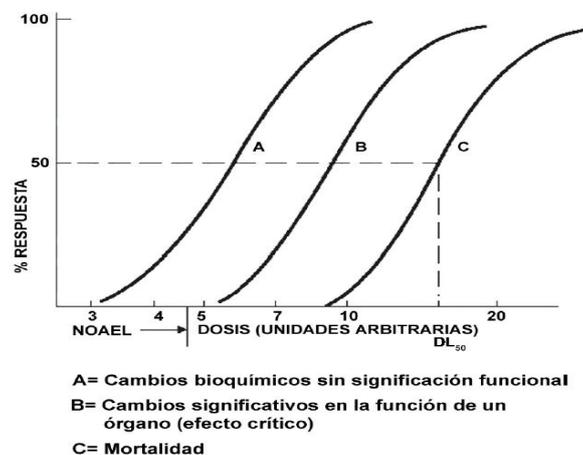


Fig. 6.4 Relación de la respuesta y DL<sub>50</sub>

## 6.3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE DATOS DE MORBI-MORTALIDAD

El capítulo 5 concluyó la falta de estilos de vida saludables de los trabajadores objeto de estudio, ya que persisten hábitos con serias repercusiones en las

condiciones de salud y en el trabajo, como la ingesta de bebidas alcohólicas y consumo del tabaco. Todo ello, unido a las condiciones ambientales existentes en sus áreas de trabajo, genera un importante factor de riesgo para eventos crónicos de salud, como la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y el asma ocupacional.

### ***Limitaciones del estudio***

El estudio tiene validez sólo para el grupo estudiado, puesto que el muestreo es no probabilístico y no se contó con un universo numeroso de trabajadores del sector (6018 trabajadores del sector) (ver apartado 3.2.1).

En el 2008 se volvieron a visitar a las 10 empresas de la madera con las que iniciamos la investigación. Se encontró que: el 30% cerró la empresa, el 30% no aceptó participar en la segunda parte de la investigación y un 40% permitieron recolectar la información requerida para el análisis de morbi-mortalidad laboral de los trabajadores. El instrumento para la recolección de la información se puede ver en el anexo C.

Se observó recelo de las empresas al suministrar la información de morbi-mortalidad de absentismo por problemas y enfermedades respiratorias. En la Tabla 6.6, tomada de la Tabla 5.5, se puede apreciar el número de datos suministrado por las empresas. El programa de Salud Ocupacional de la Universidad del Quindío (Colombia), conserva las encuestas originales y para este análisis de la Tesis fue entregado en archivo Excel (Universidad del Quindío, 2008).

Tabla 6.6 Descripción de las 10 empresas visitadas y relación de trabajadores con absentismo laboral en el año 2008 (Gómez-Yepes, 2008; Universidad del Quindío, 2008)

<b>Empresa</b>	<b>Característica de producción</b>	<b>No. total de trabajadores</b>	<b>Trabajadores encuestados</b>	<b>Casos de absentismo laboral</b>
1	Ebanistería	136	34	405
2	Ebanistería	100	38	NP
3	Carpintería	2	2	3
4	Carpintería	3	1	4
5	Carpintería	11	9	0
6	Ebanistería	35	24	NP

Empresa	Característica de producción	No. total de trabajadores	Trabajadores encuestados	Casos de absentismo laboral
7	Carpintería	160	20	148
8	Carpintería	6	3	0
9	Ebanistería	12	9	0
10	Ebanistería	150	37	NP

NP: no permitieron el suministro de la información

La información recopilada fue de todas las áreas de las empresas, desde administración hasta ventas.

Las causas de absentismo de las empresas se agruparon así:

- Accidentes de trabajo
- No específico (NE)
- Permisos personales
- Enfermedades respiratorias comunes
- Enfermedades comunes
- Enfermedades profesionales

No todas las empresas dieron la información completa de la edad y tiempo en el oficio del trabajador, por lo que se optó en variables comunes como: sexo (femenino, masculino), días perdidos y área de trabajo. En el anexos C se pueden observar los datos estadísticos que suministraron las empresas y a partir de estos datos procesar la información de absentismo (para el análisis sociodemográfico, ver el apartado 5.1 de las condiciones de trabajo y salud de los trabajadores).

### **6.3.1 Análisis de datos de enfermedades respiratorias y la exposición al polvo de madera de los trabajadores del sector.**

Como se explicó en el apartado 6.2.2 el Ministerio de Protección Social de Colombia reconoció 42 casos de eventos ocupacionales del sector maderero. De estos 42 eventos, 28 eran por accidente de trabajo y 14 por enfermedad profesional. De los eventos por enfermedad profesional, sólo 3 casos fueron por enfermedad respiratoria (EPOC, asma mixta y hallazgos anormales en órganos respiratorios

torácicos). En el departamento del Quindío no se han reconocido enfermedades profesionales del sistema respiratorio a trabajadores de la madera. Sin embargo, en el 2006, el Instituto Seccional de Salud del Quindío (ISSQ) informó que la morbilidad de los quindianos era de 212 731 casos consultados por medicina general, de los cuales 25 535 casos eran por infecciones agudas de las vías respiratorias (ver anexo C). En cuanto a la morbilidad por egreso hospitalario, de los 3 956 casos, 2195 casos eran de neumonía, bronquitis, enfisema y otras EPOC (ver anexo C) Con respecto a la mortalidad, de los 3 063 casos reportados, 410 eran casos de enfermedades y problemas respiratorios (ver anexo C).

De los 560 eventos ocupacionales reportados por las empresas en estudio, dieron como resultado los datos de absentismo que se puede apreciar en la Tabla 6.7 (ver anexo C).

Tabla 6.7 Número total de eventos ocupacionales obtenidos de los datos de las empresas visitadas en el periodo de 2008 (Universidad del Quindío, 2009)

Eventos ocupacionales	Hombres		Mujeres	
	No. casos	No. días perdidos	No. casos	No. días perdidos
Accidente de trabajo	33	375	9	19
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
Enfermedades comunes	113	323	76	279
<b>Enfermedades y problemas respiratorios (lijado, cepillado, inmunizado, pinturas)</b>	<b>101</b>	<b>206</b>	<b>37</b>	<b>50</b>
(Administración y otras áreas)	44	75	31	35
Permisos personales	57	6	15	15
Eventos no especificados (NE)	83	87	53	54
<b>Total</b>	<b>368</b>	<b>1134</b>	<b>192</b>	<b>440</b>

El total de trabajadores de las áreas de lijado, cepillado, inmunizado y pinturas es de 177 personas y 438 trabajadores de otras áreas incluyendo el área de administración.

De acuerdo con los indicadores mencionados en la Tabla 6.1 y de los datos de las Tablas 6.2 y 6.3, el RR PGQ es 0.043; el RRTTm 0.28; el RA PG y TTm es 0.0178, el RA% dio un 81% lo que significa que los problemas o enfermedades respiratorias puede ser atribuida a la exposición al polvo de madera. Un 19% de los casos de problemas o enfermedades respiratorios en este grupo habrían ocurrido por otra causa.

El RA% TTm dio un 64.3% lo que significa que de los problemas o enfermedades respiratorias de los trabajadores de la madera puede ser atribuida a la exposición al polvo de madera y un 35.7% de los casos de enfermedades o problemas respiratorias se deban a otras causas.

El II de 6, requiere retirar 6 trabajadores expuestos al polvo de madera para evitar un problema o enfermedad respiratoria. Y un FETT da un 72% de los trabajadores que pueden evitar los problemas o enfermedades respiratorias por la acción del factor de protector

En el apartado 5.2.5.2 los resultados de las historias clínicas ocupacionales arrojaron resultados de los hábitos de los trabajadores encuestados: El 20% de los examinados prefiere fumar y el 45% ingerir licor. En el primero de los hábitos influye el hecho de entenderse el efecto negativo que para la salud representa el consumo de cigarrillo, mientras que el consumo de licor está arraigado como un hecho social y su efecto nocivo para la salud no es comprendido tan fácilmente como el del tabaco.

### **6.3.2 Análisis epidemiológico de problemas y enfermedades respiratorias de los carpinteros del Quindío**

De acuerdo al apartado 6.2.3 el análisis de los indicadores de morbimortalidad laboral registrados por las empresas visitadas durante el año 2008, arrojaron los siguientes resultados:

La tasa de incidencia global de problema y enfermedad respiratoria fue de 166 casos y la tasa de prevalencia global de enfermedad o problema respiratorio fue de 248 casos por cada 1000 trabajadores.

Los eventos de absentismo por causa de problema y enfermedad respiratoria por cada 240000 HHT, dio como resultado que

- IFA = 89.3
- IFAPER = 22.2

- ISA = 254
- ISAPER= 44
- %TP= 259 %
- PP= 910.6

Para determinar el impacto económico y social de estos indicadores, se debe realizar otro tipo de estudios macroeconómicos, que en esta Tesis no se aplican. Sin embargo, al ver los resultados de %TP y PP se aprecia un elevado indicador de absentismo laboral, por lo que podemos asumir que la exposición al polvo de madera influye notablemente en las causas del absentismo.

Durante el período analizado de 2008, no se registraron datos de mortalidad laboral ni enfermedades profesionales relacionadas con los carpinteros.

### 6.3.3 Función Exposición-Respuesta ( $f_{ER}$ )

Como se aprecia en la Fig. 6.5 a mayor concentración del polvo de madera, mayor son las probabilidades de sufrir patologías respiratorias por lo que es mayor el número de trabajadores expuestos o afectados (donde todos son fijos en las áreas de trabajo).

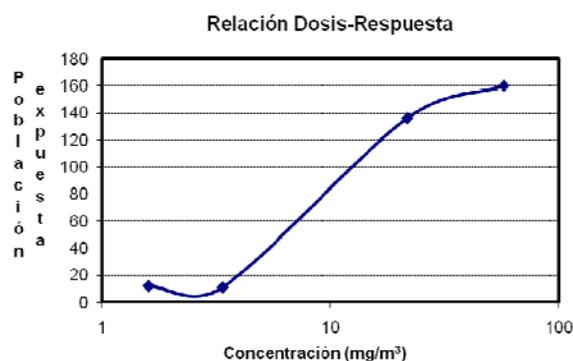


Fig. 6.5 Relación dosis-respuesta de la exposición al polvo de madera de los carpinteros

## 7. SISTEMA DE MUESTREO Y CARACTERIZACION DEL POLVO DE MADERA

Tradicionalmente, la caracterización de partículas se limitaba a la determinación de la concentración másica. La razón para elegir la masa como un parámetro básico de medida hay que buscarla en su relativa independencia respecto al instrumento utilizado y en la facilidad para ser determinada (Rodríguez-Maroto, 2003).

Con el fin de caracterizar las partículas en un intervalo amplio de tamaños, el sistema de muestreo se tomará en base a las consideraciones, el método analítico de NIOSH 0500 con el fin de optimizar la eficacia de muestreo y transporte.

Durante el proceso y manejo de la madera, paneles contrachapados y aglomerados se genera el polvo de serrín que contiene partículas minúsculas de madera conocidas también con el nombre de virutas. La viruta es un fragmento de material residual con forma de lámina curvada o espiral que es extraído mediante cepillado, lijado u otras herramientas al realizar trabajos sobre madera o metales en forma de dispersión. El polvo formado por dispersión suele ser más irregular, en cuanto a forma y tamaño, que el formado por condensación, porque la nucleación, coagulación y crecimiento tiene lugar en pequeñas regiones del fluido y en condiciones similares. Las máquinas emiten partículas, cuyos tamaños varían de acuerdo a la maquina a utilizar desde partículas mayores de 100  $\mu\text{m}$  hasta mm y partículas por debajo de 10  $\mu\text{m}$ , con una velocidad de decenas de metros por segundo. Las partículas de madera muestreadas con diámetros aerodinámicos entre 10-100  $\mu\text{m}$  ha sido la mayor preocupación en el estudio de enfermedades de tracto respiratorio superior, causante del cáncer nasal o enfermedades asociadas a la exposición del polvo de madera (Harper *et al.*, 2002; Harper *et al.*, 2004).

A mediados del decenio de 1990, la Organización Internacional de Normalización (ISO), el Comité Europeo de Normalización (CEN), y la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH) acordaron las definiciones de partículas de inhalables, torácicas y respirables que penetran y/o depositan en diversos compartimentos del tracto respiratorio del ser humano, como se puede observar en la Fig. 7.1 (Liden *et al.*, 2006)

La **fracción inhalable** es equivalente a la cantidad de partículas peligrosas que entrará en la nariz y/o boca. La cantidad de partículas que penetran en el sistema respiratorio más allá de la laringe es la **fracción torácica**, y la cantidad que depositará dentro de la región de intercambio gaseoso de los pulmones es la **fracción respirable**.

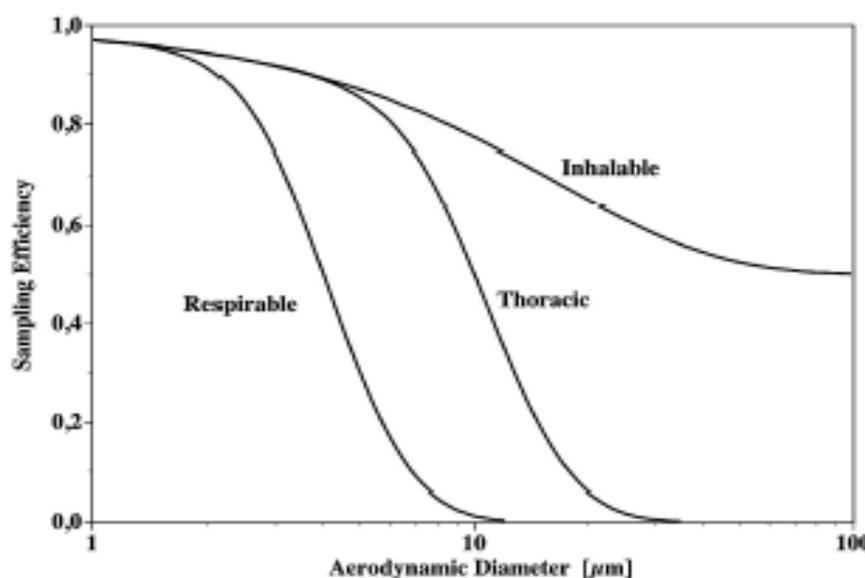


Fig. 7.1. Convenciones del muestreo ISO/CEN/ACGIH para fracciones de aerosol inhalable, torácico y respirable (Liden *et al.*, 2006).

## 7.1 PROPIEDADES DE LAS PARTÍCULAS (POLVO DE MADERA)

La mayoría de las propiedades físicas de un sistema de partículas se establecen como valores estadísticos de las propiedades geométricas de partículas, dimensión

(tamaño y distribución), forma, y características de la superficie (área específica y porosidad). De estas propiedades, el tamaño de las partículas y las características de la superficie son de vital interés. Las propiedades que caracteriza la partícula del polvo de madera son:

- Tamaño de partícula.
- Densidad de la partícula.
- Morfología. En el análisis morfológico se suele usar el microscopio electrónico para observar las formas, superficie (por replicación), y el análisis de energía dispersiva de rayos X, más conocido por sus siglas en inglés EDXRA (*Energy-Dispersive X-Ray Analysis*).
- Concentración de partículas en masa y número.
- Composición química de las partículas.

### **7.1.1 El tamaño de partícula**

Es la característica más influyente en el comportamiento de las partículas; el tamaño de 1  $\mu\text{m}$  marca la principal línea divisoria entre el límite superior del rango submicrométrico (menor que 1  $\mu\text{m}$ ) y el límite inferior del rango micrométrico (mayor que 1  $\mu\text{m}$ ). En general, polvos, pólenes, etc. están en el rango micrométrico o mayor, y los humos y similares están en el submicrométrico, como se puede observar en la Fig. 7.2; las de mayor tamaño son visibles y poseen propiedades descritas por la física de Newton.

### **7.1.2 Densidad de la partícula**

Otra propiedad física de interés es la densidad de la partícula, normalmente expresada en  $\text{g}/\text{cm}^3$ . Se refiere a la masa por unidad de volumen de la partícula en sí misma. Las partículas líquidas tienen una densidad igual que el material origen. Las partículas sólidas pueden tener densidades aparentes significativamente menores que las predichas a partir de su composición química. Esto es consecuencia de la presencia de porosidad en la estructura de la partícula.

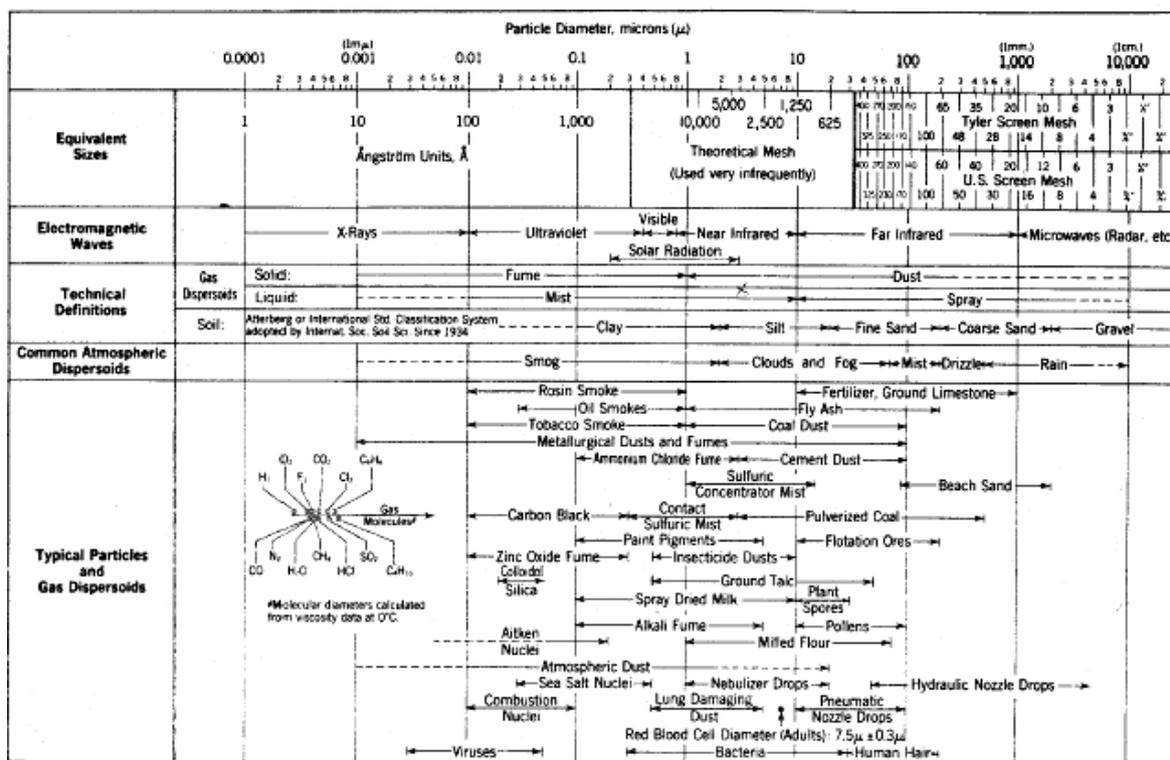


Fig. 7.2 Intervalos de tamaño de partícula para aerosoles (Hinds, 1982).

### 7.1.3 Morfología

La forma, el tamaño, la textura y el aspecto son elementos diferenciadores en el mundo microscópico que son asumidos intuitivamente por el ser humano. Las partículas de polvo de madera son generalmente grandes y con formas de prismas rectangulares (Harper *et al.*, 2002). Sin embargo, en esta Tesis se describirá la forma de la partícula de acuerdo con la morfología de las partículas de la muestra tomada directamente de las fuentes de emisión objeto de estudio.

#### - Métodos microscópicos

El método microscópico es el único que realiza una medida directa y facilita una imagen gráfica de las partículas, permitiendo estudiar tanto su tamaño como su morfología, siendo exclusivo en este último caso.

Las técnicas microscópicas más utilizadas en la caracterización de partículas son la microscopia óptica y la electrónica. Dentro de esta última, cabe diferenciar la de barrido, SEM (*Scanning Electron Microscopy*), y la de transmisión, TEM (*Transmission Electron Microscopy*). La microscopia óptica posee una capacidad de aumento menor que la electrónica, pudiendo utilizarse para tamaños desde 0.3 a 20  $\mu\text{m}$ , mientras que los microscopios electrónicos son capaces de observar 0.01  $\mu\text{m}$  (SEM) y 0.2 nm (TEM), siendo estos los más utilizados en el campo de los aerosoles.

Un microscopio electrónico de barrido consta básicamente de un cañón de electrones con un filamento que actúa como emisor, un sistema de lentes electromagnéticas para focalizar el haz, un sistema de barrido y sistemas de detección para captar el resultado del haz y la muestra, y transformarlo en señal eléctrica.

La técnica de microscopía electrónica de barrido tiene la ventaja de poder analizar las partículas una a una, tanto si se encuentran aisladas como formando conjuntos, de tal forma que, si entre ellas existen diferencias morfológicas o químicas se pueden clasificar y posteriormente deducir su origen (Renliang, 2002).

#### **7.1.4 Forma de la partícula de madera y diámetro equivalente aerodinámico**

El parámetro utilizado convencionalmente para cuantificar la forma de las partículas ha sido el factor de forma, que se define como la relación entre la superficie de la esfera del mismo volumen que la partícula y la superficie de la partícula. Este valor puede estar entre 0 y 1, y da la idea de la esfericidad de las partículas (Reina-Hernández, 1999).

Basándose en este parámetro, Lucas *et al.* (Reina-Hernández, 1999) clasificaron las partículas en tres categorías que se presentan en la Tabla 7.2.

Tabla 7.2 Clasificación de las partículas según su factor de forma (Reina-Hernández, 1999)

Grupo	Factor de forma
I	$0.8 \leq \phi \leq 1$
II	$0.5 \leq \phi < 0.8$
III	$0.1 < \phi < 0.5$

En la práctica, a las partículas del grupo I se les denomina esféricas y a las del grupo II irregulares; las partículas del grupo III raramente son fluidizadas (Reina-Hernández, 1999).

Las partículas de la madera son de forma irregular y pueden ser clasificadas como no esféricas. Su forma corresponde, por citar un ejemplo, a las fibras, espirales o virutas, por lo que se puede plantear que estos sistemas de partículas son raramente fluidizables (Reina-Hernández, 1999).

El factor de forma para partículas individuales fue calculado mediante esta ecuación:

$$K_D = 0.864 \left[ \frac{1}{3} + \frac{2}{3} \left( \frac{d_s}{d_n} \right) + 0.0739 \left( \frac{d_{max}}{d_n} \right) + 0.0108(AR) \right] \quad (7.1)$$

donde  $K_D$  es el factor de forma teórico dinámico;  $d_s$  es el diámetro de la esfera con un área de superficie igual a la del objeto (volumen del diámetro equivalente), y  $d_n$  es el diámetro de la esfera con un área proyectada igual a la del objeto.  $d_{max}$  es la máxima dimensión del objeto medido en dirección del movimiento;  $AR$  es la relación entre la dimensión más larga y la más corta del objeto en el área normal proyectada en dirección al movimiento (Lee *et al.* 1989).

El volumen de diámetro equivalente se puede convertir a diámetro equivalente aerodinámico por corrección de la densidad y factor de forma, mediante esta ecuación:

$$d_{ea} = d_s \sqrt{\left( \frac{\rho}{\rho_p} \bar{K} \right)} \quad (7.2)$$

donde  $d_{ea}$  es el diámetro equivalente aerodinámico;  $d_s$  es el diámetro del volumen equivalente;  $\rho$  es la densidad de la partícula;  $\bar{K}$  es la media de todas las

orientaciones del factor de forma dinámico (Johnson *et al.*, 1987). Se tomo como referencia la densidad de McCrone de 1.5 (McCrone, 1973).

Las expresiones geométricas fueron tomadas del *The Particle Atlas* (McCrone, 1973). Ver anexo D.

**El diámetro equivalente aerodinámico,  $d_{ea}$ :** es el diámetro de la esfera de densidad unidad que tiene la misma velocidad de deposición que la partícula. El  $d_{ea}$  de la partícula inhalable por boca y nariz es de 100  $\mu\text{m}$  y la longitud de las partículas es  $> 10 \mu\text{m}$  (Harper *et al.*, 2002; Harper *et al.*, 2004).

**Cilindro:**

$$D_s = \sqrt{d h + \frac{d^2}{2}} \quad (7.3)$$

donde  $d$  es el diámetro y  $h$  es la longitud de la partícula.

$$D_{n1} = \sqrt{\frac{0.7854 d^2}{\pi}} \quad (7.4)$$

Forma 1 proyectada como círculo

$$D_{n2} = \sqrt{\frac{d h}{\pi}} \quad (7.5)$$

Forma 2 proyectada como rectángulo

**Cono:**

$$D_s = \sqrt{\frac{1.5708 d \sqrt{\frac{d^2}{4} + h^2}}{\pi}} \quad (7.6)$$

$$D_{n1} = \sqrt{\frac{0.7854 d^2}{\pi}} \quad (7.7)$$

Forma 1 proyectada como círculo

$$D_{n2} = \sqrt{\frac{2 d h}{\pi}} \quad (7.8)$$

Forma 2 proyectada como triángulo

donde  $d$  es el diámetro y  $h$  es longitud.

**Prisma rectangular:**

$$D_s = \sqrt{\frac{a b c}{\pi}} \quad (7.9)$$

donde  $a$ ,  $b$  y  $c$  son las longitudes de los lados del prisma.

$$D_{n1} = \sqrt{\frac{a b}{\pi}} \quad (7.10)$$

Forma 1 proyectada como rectángulo

$$D_{n2} = \sqrt{\frac{b^2}{\pi}} \quad (7.11)$$

Forma 2 proyectada como cuadrado

**Esfera:**

$$D_s = d \quad (7.12)$$

donde  $d$  es el diámetro

**7.1.5 Concentración de partículas en masa y número**

La propiedad del aerosol más comúnmente medida es la concentración y una de las más importantes desde el punto de vista de la salud y efectos medioambientales. La concentración másica, masa de materia particulada por unidad de volumen del aire, normalmente se expresa como  $\text{g}/\text{m}^3$ ,  $\text{mg}/\text{m}^3$  o  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Otra magnitud medida habitualmente es la concentración en número, número de partículas por unidad de

volumen de aire, normalmente expresada como partículas/cm<sup>3</sup>. La concentración del muestreo del polvo de madera en diferentes industrias de la madera realizada por la NIOSH en EEUU en el 2002, fue de 7.4 mg/m<sup>3</sup> con un 90% de partículas > 100 µm, y de 147 mg/m<sup>3</sup> con un 79% de partículas > 100 µm (Harper *et al.*, 2002; Harper *et al.*, 2004). Las áreas de trabajo en las que más concentraciones de polvo se han medido han sido las de lijado con herramientas estacionarias o de banda, lijado con herramientas manuales eléctricas, serrado, ensamble, sierras, limpieza manual de polvo y con pistola aspiradora (Brosseau *et al.*, 2002; Harper *et al.*, 2002; Hamill *et al.*, 1991; Friesen *et al.*, 2005; Bullock and Laird, 1994). Los niveles del polvo de madera aumentan cuando se operan lijadoras de banda (Brosseau *et al.*, 2002).

Para el proceso del análisis de la distribución de partículas se realizó un barrido de imágenes con un microscopio *Scanning JEOL JSM 6400* (JMS) en el laboratorio de Microscopia Electrónica de la ETSEIB-UPC utilizando el programa Omnimet Enterprise. El tamaño del grano se determinó por el método de intercepción según la norma ASTM E-112 (ASTM E112, 2004).

El software Omnimet Enterprise de la casa Buehler es un programa de análisis de imagen que también incluye la opción de visualizar y capturar imágenes digitales. Se utiliza principalmente para determinar el tamaño de grano, porcentaje de fases y toma de medidas independientes.

Los cálculos se basan en la cantidad de píxels de la imagen original que han sido pintados en color rojo como puede apreciarse en la Fig. 7.6. A partir de las micrografías tomadas se selecciona las partículas que quedaron atrapadas en la malla y se pasa a un mapa de bits, en este caso lo sombreado por el rojo, y utilizando la rutina del ASTM-E112 se saca las medidas del tamaño de partícula.

### **7.1.6 Composición química**

Por último, la determinación de la composición química es fundamental, porque indica la mayor o menor presencia de compuestos tóxicos y las condiciones que favorecen su formación o su eliminación. En otro orden diferente, pero

complementario para la caracterización completa de las partículas, se encuentra el análisis de la composición elemental mediante la técnica de EDXRA, que aporta una información adicional de gran interés, para diferenciar y deducir el origen o procedencia de la partícula a nivel de inmisión de contaminación atmosférica. La composición química de las partículas de madera está condicionada a los componentes que acompañan al acabado del mueble (conteniendo Si, Ca, Fe, K, S, Ti y elementos traza potencialmente tóxicos, como Be, Cr, Mn, Co, Ni, As, Se, Cd, Sb, Hg, Pb, V, etc.).

La determinación de las propiedades hasta ahora vistas proporciona una caracterización bastante completa de las partículas del polvo de madera. La forma irregular de las partículas es decisiva en los procesos de filtración, ya que la irregularidad se relaciona en numerosas ocasiones con la formación de aglomerados, que son más fácilmente retenidos por boca y nariz.

## **7.2 PRESENTACIÓN DE DATOS Y ESTADÍSTICAS EN LA CARACTERIZACIÓN DE PARTÍCULAS DE LA MADERA**

En la presente Tesis se ha aplicado la estadística descriptiva como ya se ha explicado en el punto 3.1. La estadística descriptiva establece las principales características de las partículas a partir de la observación y el recuento. La media, la mediana y la moda son las expresiones más utilizadas de definir el centro de una distribución (Wonnacott and Wonnacott, 1997). Para calcular las funciones estadísticas se utilizó el programa Excel de Microsoft®.

Las expresiones más utilizadas como medidas de dispersión de una distribución son: la desviación estándar (DE ó  $\sigma$ ), y la desviación geométrica estándar (DGE ó  $\sigma_g$ ). De las dos, suele ser recomendable utilizar la última. Hay que tener en cuenta que la DGE no tiene unidades y es siempre mayor que 1. En la Tabla 7.1 se resumen todas las funciones matemáticas comunes en la presentación de los datos estadísticos descriptivos.

Tabla 7.1 Funciones comunes en la presentación de los datos estadísticos

Función	Ecuación
Media	$\bar{x} = \sum_{i=1}^n f_i$
Error típico	$Sx = \frac{\sigma}{N}$
	$\sqrt{\frac{1}{(n-1)} \left[ \sum (y - \bar{y})^2 - \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})^2}{\sum (x - \bar{x})^2} \right]}$
Mediana	$Me = \frac{X_{n+1}}{2}$
	$Me = X_{i_1} + \left( \frac{\left( \frac{N_M * N_{i-1}}{2} \right)}{f_i} \right) * (X_{i_2} - X_{i_1})$
Moda	$Md = X_{i, n_i} = \max\{f_j, j \in \{1, 2, \dots, k\}\}$
Desviación estándar (DE)	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}}$
Varianza de la muestra	$\sigma^2$
Curtosis	$g_2 = \left\{ \frac{n(n+1)}{(n+1)(n-2)(n-3)} \sum \frac{(x_i - x)^4}{\sigma} \right\} - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$
Coefficiente de asimetría	$g_1 = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3$
Rango	$R = X_{\max} - X_{\min}$
Mínimo	$X_{\min}$
Máximo	$X_{\max}$
Nivel de confianza	(95,0%)
Media geométrica (MG)	$MG_{\bar{y}} = \sqrt[n]{y_1 y_2 y_3 \dots y_n}$
Desviación geométrica estándar (DGE)	$\sigma_g = \sqrt{MG_{\bar{y}}}$

## **7.3 RESULTADOS DEL SISTEMA DE MUESTREO Y CARACTERIZACION DEL POLVO DE MADERA**

### **7.3.1 Sistema de muestreo para polvo total de madera**

Con el fin de caracterizar las partículas en un intervalo amplio de tamaños, se utilizó una bomba muestreadora de aire marca GilAir5 Gilian Multi Fol. No. 800519 con calibrador tipo Sensidyne Filian Gilibrator TM 2 803024B, Bubble Generator Rang 20 CC-6LPM P7N 800286. Los filtros hidrofóbicos utilizados con un tamaño del poro de la membrana entre 2 a 5  $\mu\text{m}$  de PVC 37 mm de cara abierta. Además, se usó un desecador con silica gel y una balanza analítica Gibertini E50-S calibrada para un peso mínimo de 0.001 mg. El método analítico utilizado fue la NIOSH norma 500 "Polvo total no respirable" (NIOSH, 1994). Se tomaron dos muestras por trabajador en un tiempo mínimo de 70 minutos y un caudal de 1.5 l/min en un tren de muestreo como se puede apreciar en la Fig. 7.4.

En el apartado 5.2.3.1 se realizó el diagnóstico de las condiciones básicas de higiene de material particulado y dió como resultado que el 50% de las empresas visitadas superaron el TLV para polvo total de 10  $\text{mg}/\text{m}^3$  (NIOSH, 1994b).

Se tomaron dos muestras más el blanco a cuatro empresas escogidas, para un total de ocho muestras y cuatro blancos. Fue un muestreo por conveniencia, debido a las dificultades que presentaron las demás empresas al ser muestreadas, además se tuvo en cuenta la similitud de las tareas en la elaboración del mueble. El tren de muestreo se aplicó a trabajadores de lijado. Las muestras fueron enviadas desde la Universidad del Quindío (Colombia) a la UPC (España) para el análisis de las partículas.

### - Tren de muestreo para polvo total

Es el conjunto conformado por la bomba, la manguera conectora y el portafilto con el filtro retenedor. En las Figs 7.3 y 7.4 se puede observar cómo se realizó el tren de muestreo y cómo llevó el equipo el trabajador.

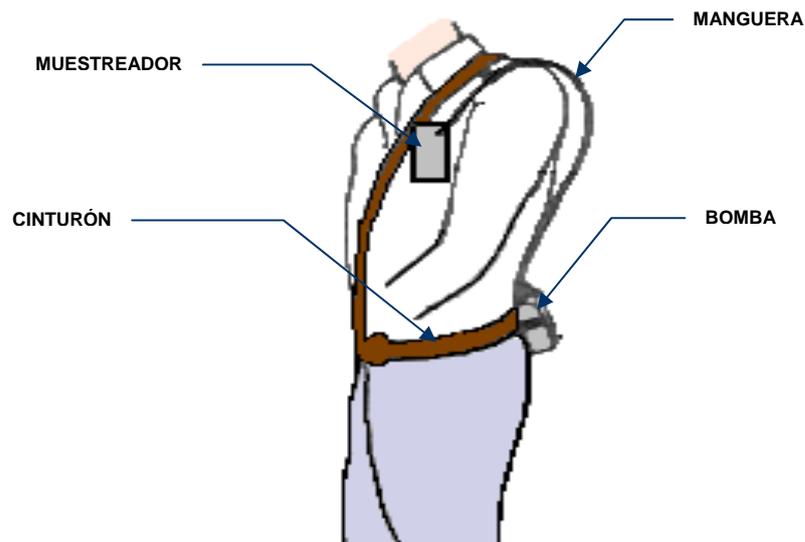


Fig. 7.3 Ubicación de la bomba en el trabajador

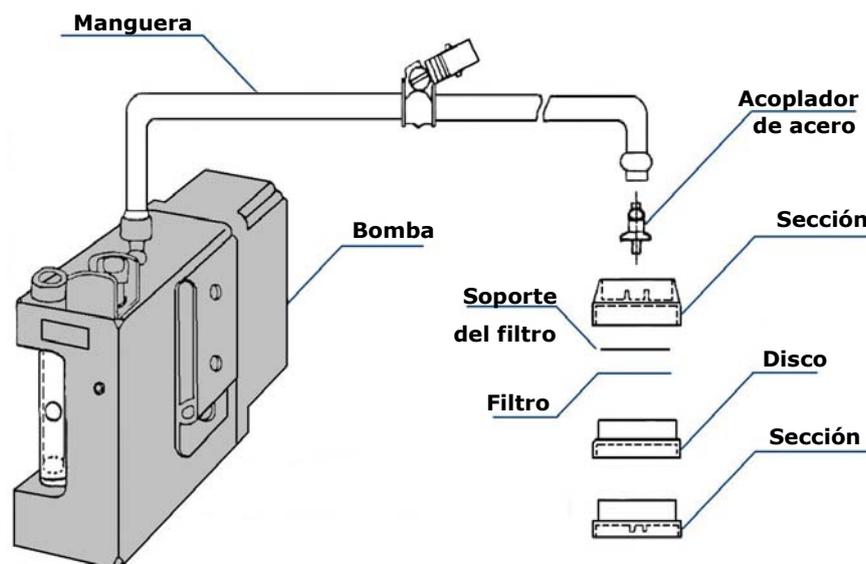


Fig. 7.4 Tren de muestreo para polvo total

## 7.3.2 Propiedades de las partículas del polvo de madera

### 7.3.2.1 Tamaño de la partícula

Las submuestras fueron preparadas con recubrimiento de oro al vacío para garantizar una imagen de calidad (debido a la excelente conductividad eléctrica del oro). Las muestras fueron examinadas mediante un barrido de imágenes digitales usando un microscopio *Scanning JEOL JSM 6400* (JMS).

- *Vista por lupa*

Como se puede apreciar en la Fig. 7.5 una vista por microscopio óptico a una escala de 1 mm, permite apreciar una gran variedad de partículas irregulares en la muestra: fibras largas y cortas. Se nota el desgarro de las fibras en la fricción mecánica de la lijadora de banda. En las empresas visitadas se utilizan varios tipos de madera en producción en cadena, pero a simple vista no se puede apreciar a qué tipo de madera pertenecen las partículas (ver la Tabla 5.4).

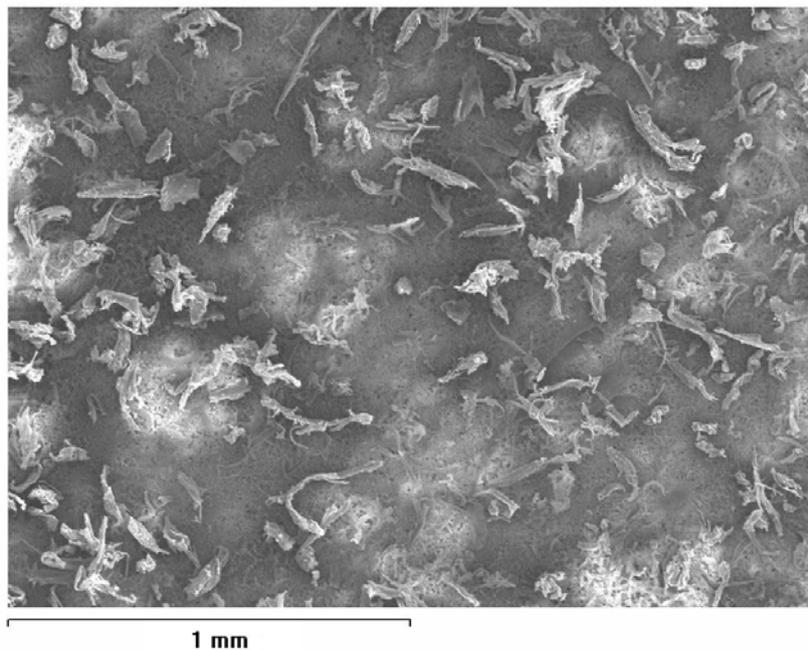


Fig. 7.5 Microfotografía de partículas del polvo de madera obtenida por el microscopio de lupa

Según el Particle Atlas de McCrone (McCrone, 1973), la identificación de las fibras de madera es posible a través de la observación de los poros. La diferencia entre las fibras de coníferas y no-coníferas no siempre es fácil. Las células alargadas y con múltiples filas de poros son la única característica reconocida y distintiva. Las fibras alargadas acompañadas de poros corresponden a las fibras de coníferas. Las fibras largas de coníferas son mucho más delgadas que las fibras de no-coníferas. La mayoría de las fibras de no-coníferas son de paredes gruesas, cortas y tienen una tonalidad variada de amarillo a anaranjado. La mayoría de las fibras coníferas son de paredes delgadas con una tonalidad de amarillo claro (McCrone, 1973). En la Fig. 7.6 se observan fibras largas y cortas, delgadas y gruesas lo que hace pensar la utilización de ambos tipos de madera (dura y blanda).

- ***Datos estadísticos de la distribución y tamaño de partículas***

A partir de los datos obtenidos del barrido de imágenes con el JMS y el método de tamaño de grano ASTM E-112, se realizó el análisis estadístico descriptivo de las partículas. En la Fig. 7.6 se puede observar la técnica utilizada para determinar el tamaño del grano de la partícula de madera (ver anexos D).

- ***Precisión del método utilizado***

El tracto respiratorio (TR) se divide en tres grandes regiones: la primera región superior incluye la nariz, la boca, nasofaringe, orofaringe, epiglotis y la laringe; la segunda región inferior incluye las vías respiratorias de la tráquea a través de los bronquiolos terminales; y la tercera región pulmonar incluye los bronquiolos respiratorios, conductos alveolares, sacos alveolares y alvéolos. La probabilidad de deposición en el TR de las partículas depende del diámetro aerodinámico, como se aprecia en la Tabla 7.3.

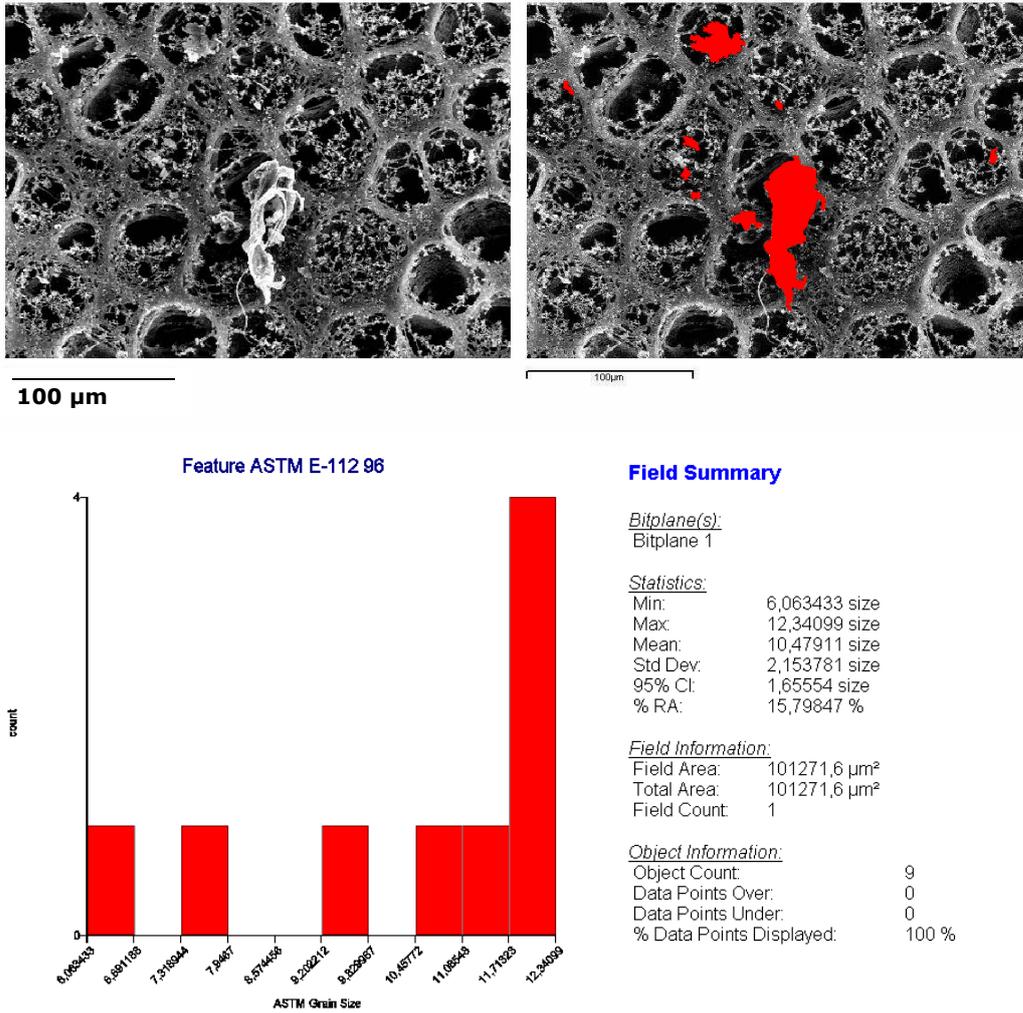


Fig.7.6 La microfotografía de la izquierda fue tomada por microscopía electrónica JEM y la microfotografía de la derecha fue tratada con el programa de Omnimet Enterprise; la calibración es de 0.55249 µm/Píxel.

Tabla 7.3 Distribución de la partícula dependiendo del  $d_{ea}$  en TR (Liden *et al.*, 2006)

Región del TR	$d_{ea}$
Deposición en la región superior	10->50 µm
Deposición en la región inferior	5-<10 µm
Deposición en la región pulmonar	2.5-<5 µm
Deposición en la región alveolar	<2.5 µm

Por medio de la medición del tren de muestreo según la NIOSH 0500 (ver apartado B), las partículas de la muestra de la empresa 2 tienen un rango de  $d_{ea}$  entre 4.3 y 63.4 µm, y de la muestra de la empresa 4, el rango  $d_{ea}$  obtenido fue de 2.4 y 72.9 µm. La concentración determinada de la empresa 2 fue de 77.1 mg/m<sup>3</sup> (DE=13.0;

MG=0.6; DGE=1.8) y de la empresa 4 fue de 12.3 mg/m<sup>3</sup> (DE=14.7; MG=0.7; DGE=2.0), tal como se puede observar en la Tabla 7.4.

Tabla 7.4 Análisis estadístico descriptivo de las muestras obtenidas de las empresas 2 y 4

Variable estadística	Muestra de la empresa 2 ( $\mu\text{m}$ )	Muestra de la empresa 4 ( $\mu\text{m}$ )
Media, $\bar{x}$	22.72	14.26
Error típico	0.71	1.35
Mediana, Me	20.47	9.09
Moda, Mo	18.58	8.21
Desviación estándar, $\sigma$ (DE)	13.05	14.77
Varianza de la muestra, $\sigma^2$	170.21	218.21
Media geométrica (MG)	0.60	0.73
Desviación geométrica estándar (DGE)	1.81	2.08

El  $d_{ea}$  medio de ambas muestras fue de 22.72 y de 14.26  $\mu\text{m}$ ; por lo tanto, es probable que la deposición de la partícula en el sistema respiratorio humano ocurra en la región superior del tracto respiratorio. Las Figs. 7.7 a 7.9 muestran las diferentes distribuciones  $d_{ea}$  de las partículas que podrían relacionarse con el TR.

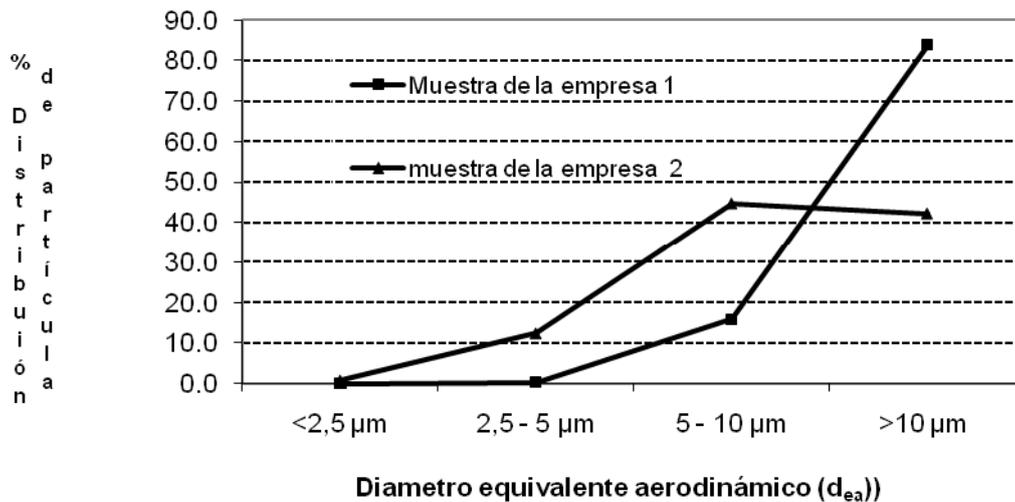


Fig. 7.7 Distribución del tamaño de partícula de las muestras de las empresas 2 y 4

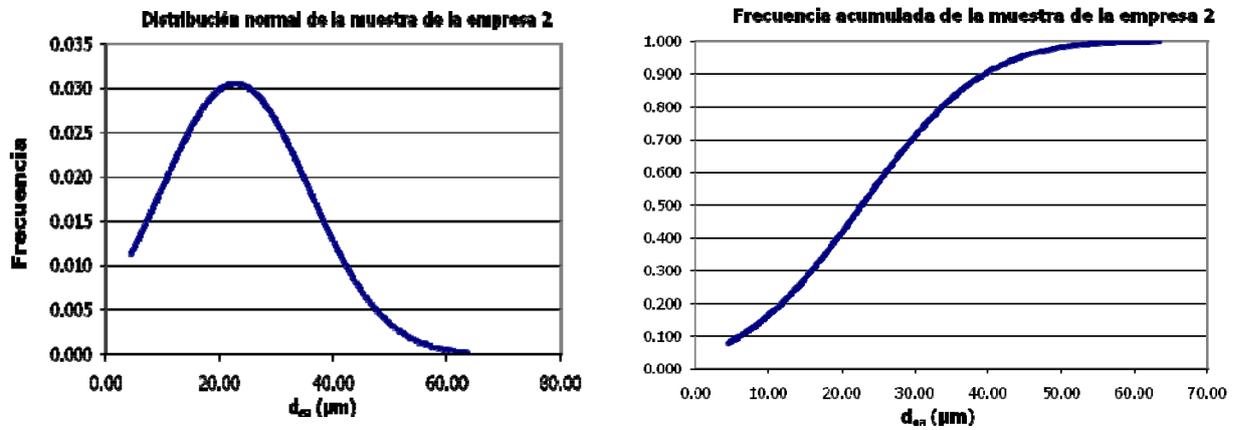


Fig. 7.8 Distribución normal y frecuencia acumulada de las partículas de la muestra de la empresa 2

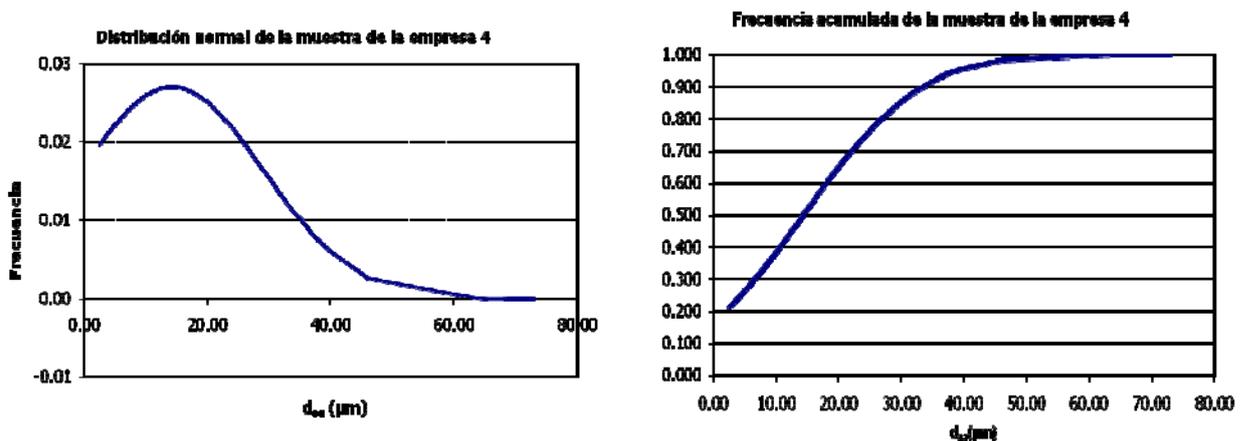


Fig. 7.9 Distribuciones normal y frecuencia acumulada de la muestra de la empresa 4

### 7.3.2.2 Densidad de la partícula

La densidad aparente de la madera es, por lo general, inferior a la unidad, en tanto que la de la sustancia madera, sin poros, llega alrededor de 1.5. Esta última es prácticamente constante para los diversos tipos de madera, pese a las diferencias de sus densidades en estado natural. Así, el peso por volumen unidad de la mayoría de maderas de no coníferas secas al aire varían entre 0.5 y 0.7; el de la mayoría de coníferas, se halla por debajo de 0.6 con un promedio de 0.5 (Reina-Hernández,

1999). McCrone promedió la densidad de ambos tipos de madera en 1.5 (McCrone, 1973); esta densidad es la que se ha tomado como referencia en el análisis del  $d_{ea}$ . La densidad aparente de la madera a sequedad absoluta viene a ser de 0.44 en el abeto rojo; 0.49 en el pino; 0.71 en el roble, y 0.67 en la haya (Reina-Hernández, 1999). En la Tabla 7.5 se reportan datos de las densidades relativas respecto al agua de diferentes tipos de maderas (Reina-Hernández, 1999).

Tabla 7.5 Densidades de diversos tipos de maderas utilizadas en la construcción secadas al aire (Reina-Hernández, 1999).

<b>Madera</b>	<b>Densidad relativa</b>
Manzano	0.66-0.74
Fresno negro	0.55
Fresno blanco	0.64-0.71
Abedul amarillo dulce	0.71-0.72
Cedro, blanco, rojo	0.35
Abeto del Canadá	0.48-0.55
Abeto, blanco, rojo	0.45
Caoba	0.46-0.85
Algarrobo	0.67-0.77
Roble, castaño	0.74
Roble, rojo, negro	0.64-0.71
Pino de Noruega	0.55
Pino de Oregón	0.51
Pino rojo	0.48
Pino blanco	0.43
Álamo	0.43

### **7.3.2.3 Morfología**

En esta Tesis las muestras fueron examinadas por microscopía óptica y electrónica para determinar los diámetros de partículas aerodinámicas. Este método es especialmente apropiado para partículas de polvo de madera (Harper *et al.*, 2002). Los resultados obtenidos se muestran en las microfotografías por SEM. En la Fig. 7.10 se puede apreciar en la microfotografía del filtro blanco (sin polvo de madera) una serie de partículas esféricas y el tejido poroso cavernoso característico de las membranas del PVC (ver anexo D).

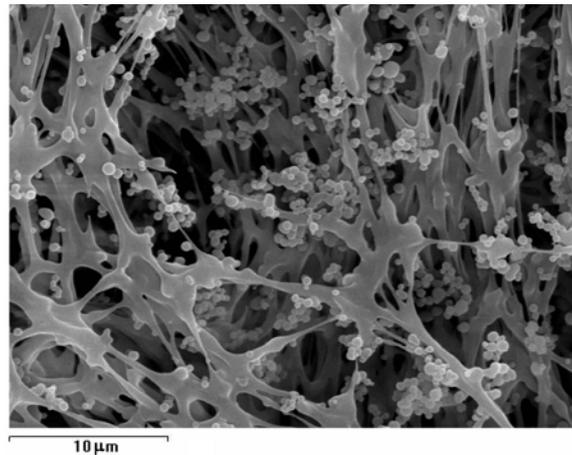


Fig. 7.10 Microfotografía del filtro blanco sin partículas de polvo de madera, obtenida por el microscopio electrónico

- ***Descripción de la sub-muestra 1 de la empresa 1 y microfotografías por JSM***

Se pueden apreciar en la Fig. 7.11 fibras largas e irregulares, encintadas y con desgarramiento, lo que es característico de las coníferas. Además, se observan fibras cortas, planas y compactas, lo que es característico de las no-coníferas.

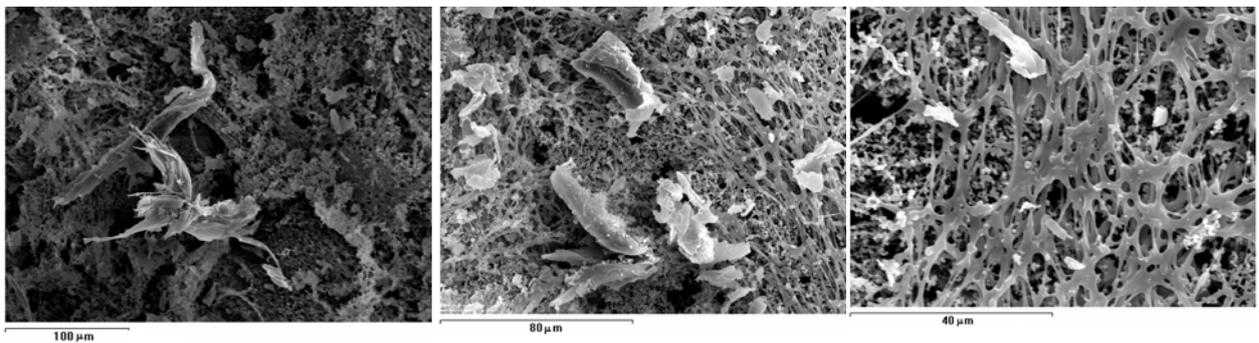


Fig. 7.11 Microfotografías de la submuestra 1 de la empresa 1 con partículas de polvo de madera, obtenidas por el microscopio electrónico

- ***Descripción de la sub-muestra 2 de la empresa 2 y microfotografías por JSM***

En la Fig. 7.12 se observan partículas de formas tipo cristal, lo que es debido a la cubierta de pinturas u otros químicos que se le añaden a la madera. A estas partículas se les hizo un EDXRA, confirmando la presencia en el espectro de

sustancias tóxicas (ver Figs. 7.20 y 7.21). Esta muestra fue tomada de la sección de un segundo lijado. El segundo lijado consiste en que, después de ser pintada la pieza de madera, se vuelve a lijar y luego a pintar para darle un acabado de excelencia a la madera. Al ser pintado el mueble no se aprecia con claridad qué tipo de fibra es (conífera o no conífera).

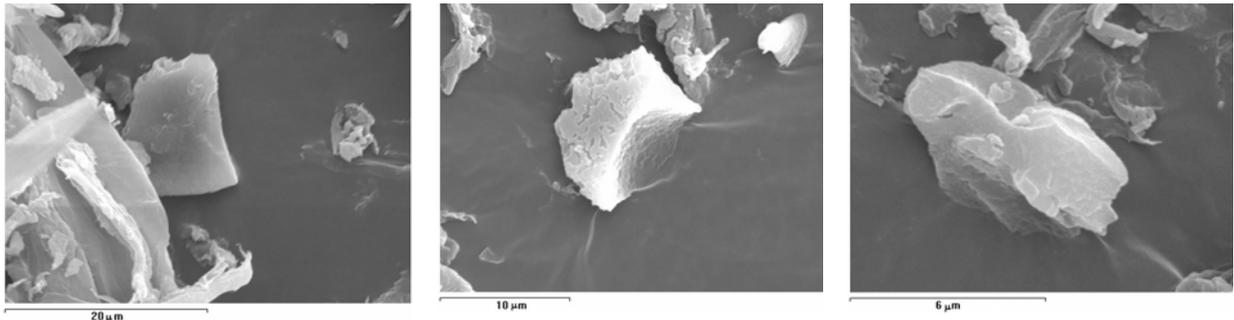


Fig. 7.12 Microfotografías de la submuestra 2 de la empresa 2 con partículas de polvo de madera, obtenidas por el microscopio electrónico

- ***Descripción de la sub-muestra 2 de la empresa 4 y microfotografías por JSM***

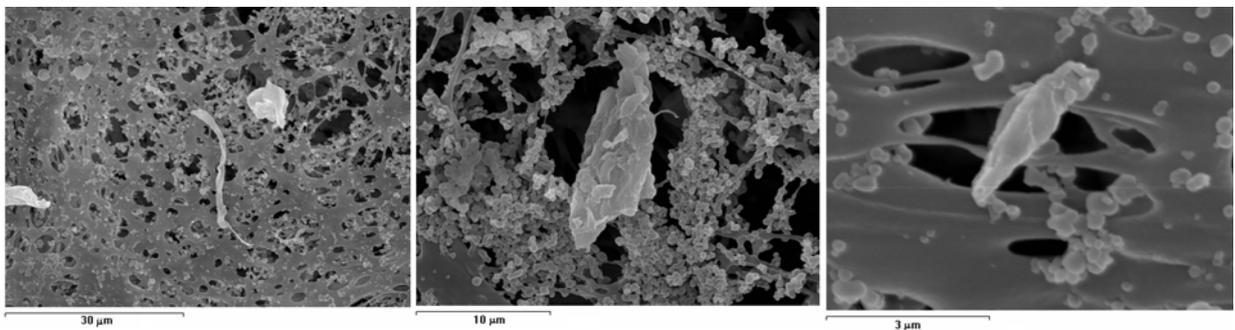


Fig. 7.13 Microfotografías de la submuestra 2 de la empresa 4 con partículas de polvo de madera, obtenidas por el microscopio electrónico

En la Fig. 7.13 se aprecian partículas pequeñas de formas irregulares, fibras largas aglomeradas e individuales. Se aprecia en la microfotografía con escala de 3 μm una partícula de forma encintada, típicamente una microviruta, que por su tamaño es de alto riesgo para las vías aéreas inferiores (tejido pulmonar y alveolos).

### 7.3.2.4 Factor de forma de la partícula de madera y diámetro equivalente aerodinámico

La fracción inhalable está formada por las partículas con diámetro aerodinámico inferior o igual a  $100\ \mu\text{m}$ ; no obstante, las partículas de tamaño superior a  $100\ \mu\text{m}$  con suficiente inercia pueden viajar distancias considerables y son susceptibles de ser inhaladas. Con el fin de determinar la cantidad de aerosoles gruesos que podrían ser aspirados por boca y nariz humanas, varios investigadores realizaron pruebas de vida en el túnel de viento utilizando un maniquí de tamaño normal al que se le colocó un respirador que cubría la nariz y boca. Se muestrearon diversos tamaños de partículas bajo las condiciones de velocidad del viento de  $8\ \text{m/s}$ . Los resultados mostraron que la inhalación de los aerosoles de hasta  $100\ \mu\text{m}$  en suspensión en el aire disminuye con su diámetro aerodinámico.

En este trabajo, las formas escogidas para hallar el factor de forma de la partícula de madera y el  $d_{ea}$  han sido: prismas rectangulares, esferas, conos y cilindros.

Se tomó una primera muestra de la empresa 4 de concentración de  $21,90\ \text{mg/m}^3$  con tamaños de partículas en los rangos de  $32,92$  a  $229,79\ \mu\text{m}$   $d_{ea}$  obtenidas de la muestra 1 y una segunda muestra de  $12,38\ \text{mg/m}^3$  con tamaños de partículas en rangos de  $0,65$  a  $25,10\ \mu\text{m}$   $d_{ea}$  (ver anexo D).

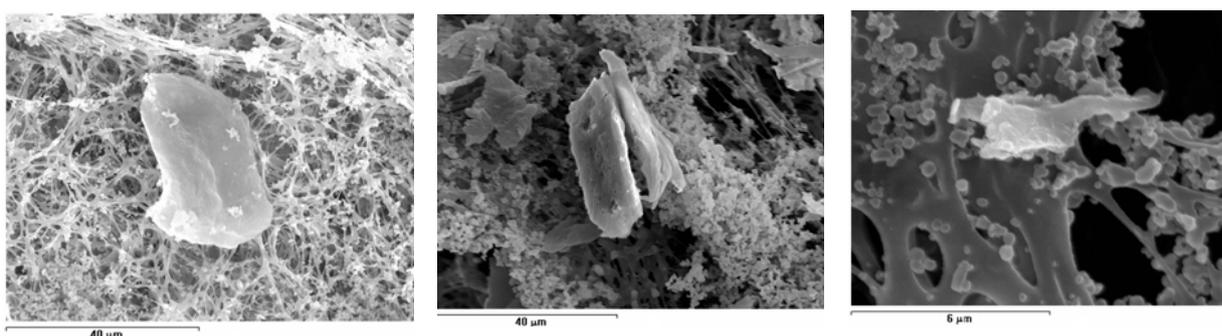


Fig. 7.14 Microfotografías de partículas de polvo de madera de forma irregular aproximada a un prisma rectangular, obtenidas por el microscopio electrónico

En las microfotografías de la Fig. 7.14 se observan las partículas irregulares con forma de prisma rectangular; el rango de los  $d_{ea}$  obtenidos fue de  $154,42$  a  $229,79$

$\mu\text{m}$  en la muestra 1; el rango de la muestra 2 fue de 0.65 a 25.10  $\mu\text{m}$  (ver anexo D).

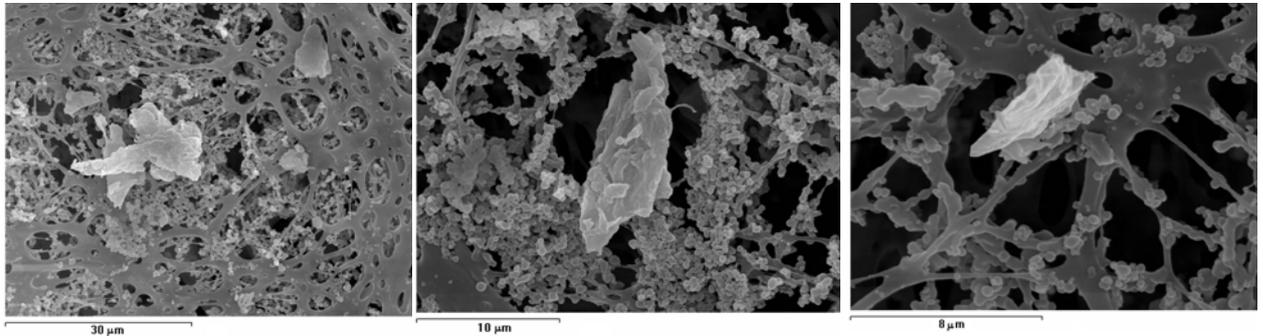


Fig. 7.15 Microfotografías de partículas de polvo de madera de forma irregular aproximada a un cono, obtenidas por el microscopio electrónico

En las microfotografías de la Fig. 7.15 se pueden observar las partículas irregulares de forma cónica, los rangos de  $d_{ea}$  obtenidos fueron de 32.92 a 48.79  $\mu\text{m}$  en la muestra 1 y de 2.09 a 16.25  $\mu\text{m}$  en la muestra 2 (ver anexo D).

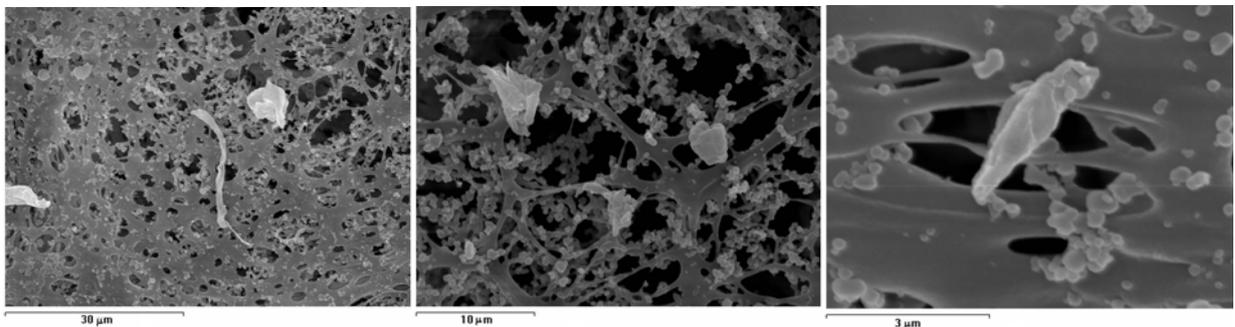


Fig. 7.16 Microfotografías de partículas de polvo de madera de forma irregular aproximada a un cilindro, obtenidas por el microscopio electrónico

En las microfotografías de la Fig. 7.16 se observan partículas irregulares con forma de cilindro, los  $d_{ea}$  obtenidos fueron de 33.57  $\mu\text{m}$  (muestra 1), y de 1.5 a 12.08  $\mu\text{m}$  (muestra 2) (ver anexo D).

Como se puede observar en la Fig. 7.16, en cuanto a la forma esférica, se obtuvieron unos rangos de  $d_{ea}$  de 9.08 y 51.93  $\mu\text{m}$  (muestra 1), y de 2.61 a 10.40  $\mu\text{m}$  (muestra 2) (ver anexo D).

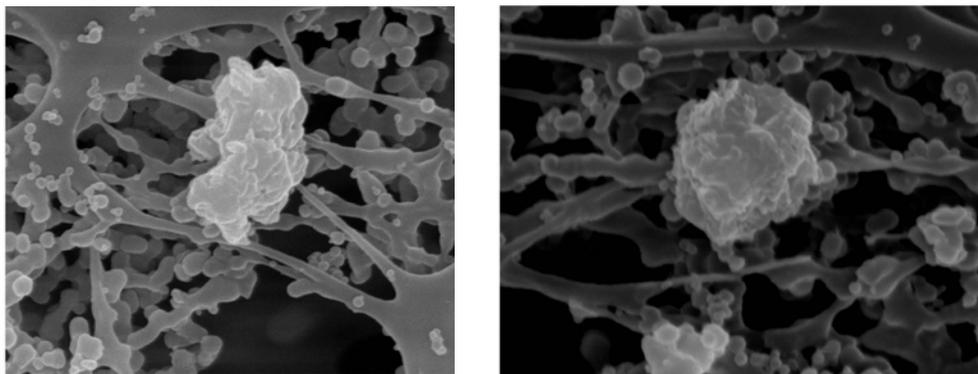


Fig. 7.17 Microfotografías de partículas de polvo de madera de forma irregular aproximada a una esfera, obtenidas por el microscopio electrónico

### 7.3.2.5 Concentración en masa y número

El equipo SEM realiza un barrido continuo de valores de potencial para ir seleccionando y midiendo en cada uno de ellos un número de partículas que corresponden a un intervalo de tamaño. Si la medida se realiza durante un largo período, se pueden cometer grandes errores cuando se producen cambios en la población de partículas. Para evitar esto, se realizan varias series de medidas y en cada una de ellas, se lleva a cabo el barrido de potencial. Finalmente, se considera la media de las series de medidas para cada tamaño. El instrumento de medida está conectado a un ordenador personal, con el software *Omnimet Enterprise* adecuado para visualizar y almacenar en pantalla los resultados a medida que se obtienen.

Los datos y el tamaño medio de grano fueron determinados por el método de intercepción según la norma ASTM E-112 (ver anexo D). En la Tabla 7.6 aparecen las diferentes concentraciones de las muestras realizadas en la visita de inspección de las empresas seleccionadas para este estudio.

Tabla 7.6. Empresas muestreadas para la caracterización de las partículas tomadas en el 2007.

Empresa	Concentración, mg/m <sup>3</sup> (muestra 1)	Concentración, mg/m <sup>3</sup> (muestra 2)
1	32.38	20.95
2	77.14	48.57
3	13.3	50.47
4	21.90	12.38

\*El TLV de referencia para polvo total es de 10 mg/m<sup>3</sup> del método analítico de NIOSH 0500.

Teniendo en cuenta la concentración de las muestras, la densidad constante y el área total del filtro de 1075.21 mm<sup>2</sup>, el número de partículas para la muestra de la empresa 2 sería de aproximadamente 336300 partículas, y para la muestra de la empresa 4 un total de 275700 partículas.

#### **- Composición química elemental de la partícula: Análisis elemental EDXRA**

Antes de poder describir los espectros realizados, es importante resaltar que el acabado de la madera noble en un mueble requiere de la utilización de inmunizantes (para combatir plagas) y de pinturas, lacas o barnices para darle el toque final al mueble.

Los pigmentos para pinturas son polvos finos que, o bien reflejan toda la luz para producir un efecto blanco, o bien absorben ciertas longitudes de onda de la luz para producir un efecto coloreado. Los componentes de los pigmentos blancos más corrientes son óxidos inorgánicos, como el dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>), el óxido de antimonio (SbO<sub>3</sub>) y el óxido de cinc (ZnO). Se usan también otros compuestos inorgánicos insolubles, como el sulfuro de cinc (ZnS), el albayalde (hidroxicarbonato, hidroxisulfato, hidroxifosfito o hidroxisilicato de plomo, (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>Pb<sub>3</sub>) y el sulfato de bario (BaSO<sub>4</sub>). Los óxidos inorgánicos más comunes para colorear son: el óxido de hierro (III), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (amarillo, rojo o color tierra), el óxido de cromo (III), Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (verde), y el óxido de plomo (IV), PbO<sub>2</sub> (rojo), litargirio (óxido plumboso, PbO), vermellón (sulfuro mercúrico, SHg), cerusita (bicarbonato de plomo, PbCO<sub>3</sub>H). Los cromatos de plomo, cinc, estroncio y níquel producen distintas gamas de amarillo y anaranjado (Bentley J y Turner GPA, 1999). Para preservar la madera se suelen utilizar sustancias químicas que se fijan a la madera protegiéndola. Entre estas sustancias se emplea óxido de cromo (VI) (CrO<sub>3</sub>). Los compuestos de cromo en el estado de oxidación +6 son muy oxidantes y son carcinógenos (Cohen *et al.*, 1993). La mayoría de los compuestos de cromo (VI) irritan los ojos, la piel y las mucosas. La exposición crónica a compuestos de cromo (VI) puede provocar daños permanentes en los ojos.

Las pinturas especiales o las pinturas de esmalte se componen de un óxido de cinc y litopón mezclado con aceite de linaza y un barniz de alto grado. Las pinturas

luminosas contienen distintos sulfuros fosforescentes de bario, estroncio y calcio. Los disolventes o diluyentes para pinturas de aceite secante generalmente consisten en aguarrás (una mezcla de hidrocarburos cíclicos) o una mezcla de hidrocarburos derivados del petróleo que se volatilizan adecuadamente. El disolvente para la mayoría de los aglutinantes sintéticos es un alcohol, una cetona o un éster. Los barnices son disoluciones transparentes que se producen mediante el calentamiento de un aceite secante, una resina, un secante y un disolvente juntos. Las lacas son algunos barnices naturales y sintéticos, y en particular los obtenidos de la savia del árbol del barniz, *Rhus verniciflua*, un árbol japonés que contiene una resina fenólica llamada "urushioi". Las lacas comerciales que se utilizan para pintar objetos metálicos tienen normalmente una base de piroxilina (Bentley J y Turner GPA, 1999). Los componentes de los inmunizantes utilizados por las empresas objeto del estudio son el Dursban (organofosforado organotiofosfato de piridina,  $(C_9H_{11}C_{13}NO_3PS)$ ), Demón o cipimetrina ( $C_{22}H_{19}Cl_2NO_3$ ) que es un piretroide, y fungicidas ( $ClCu_2H_3O_3/Cl_2Cu_4H_2O_2$ ) (Becerril, 2004).

La morfología de las partículas responde principalmente a formas no-esféricas, de superficie irregular encintadas ya sean individualmente o en fajos. La Fig. 7.17 muestra una partícula de madera, acompañada de su espectro correspondiente. Esta partícula se podría decir que es el blanco de los espectros que se verán a continuación. El espectro muestra la presencia de C y O en la escala de  $k_\alpha$  4.4000 y 2.3708, respectivamente, que son los elementos principales de la celulosa (madera). El Au ( $k_\alpha$  9.711) que se aprecia en el espectro es de la cubierta de la muestra para el barrido de EDXRA, y la presencia del Cl ( $k_\alpha$  2.622) es debida al filtro o puede ser un componente de un inmunizante organoclorado (ver anexo D3).

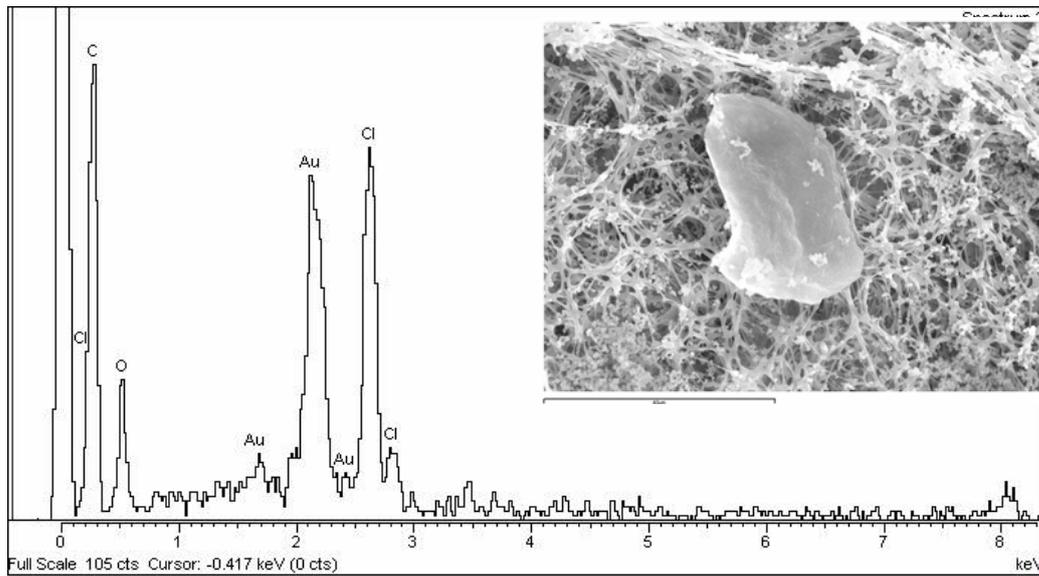


Fig. 7.18 Microfotografía de una partícula de polvo de madera sin tratamiento químico (submuestra 1 de la empresa 4) obtenida por el microscopio electrónico con su respectivo espectro

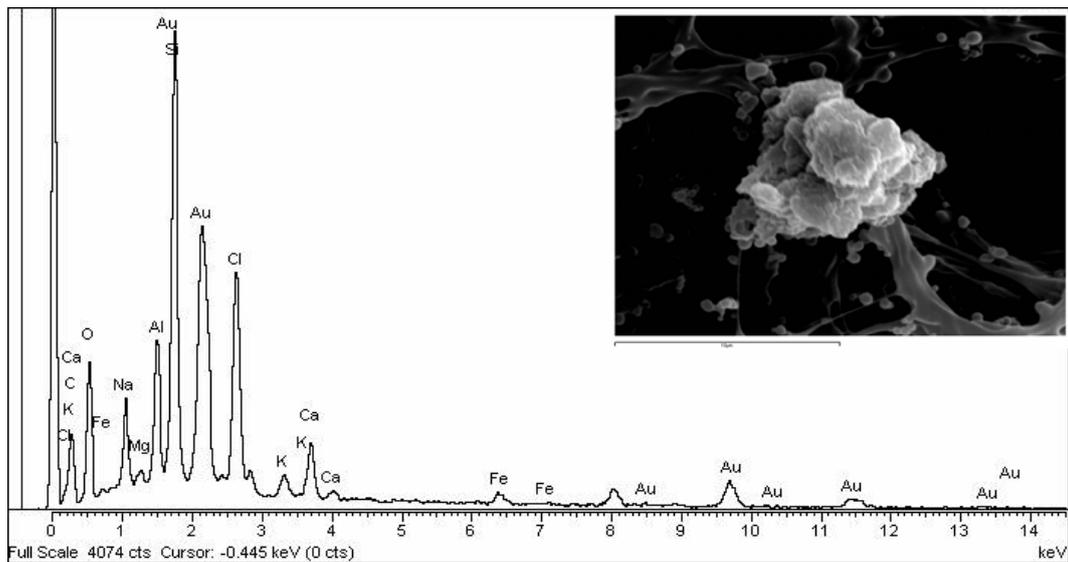


Fig. 7.19 Microfotografía de una partícula de polvo de madera obtenida por el microscopio electrónico con su respectivo espectro (submuestra 1 de la empresa 4)

En la Fig. 7.19, el espectro establece la presencia de Fe, Mg, K, Si y Ca, que pueden ser característicos de los componentes de pinturas y barnices.

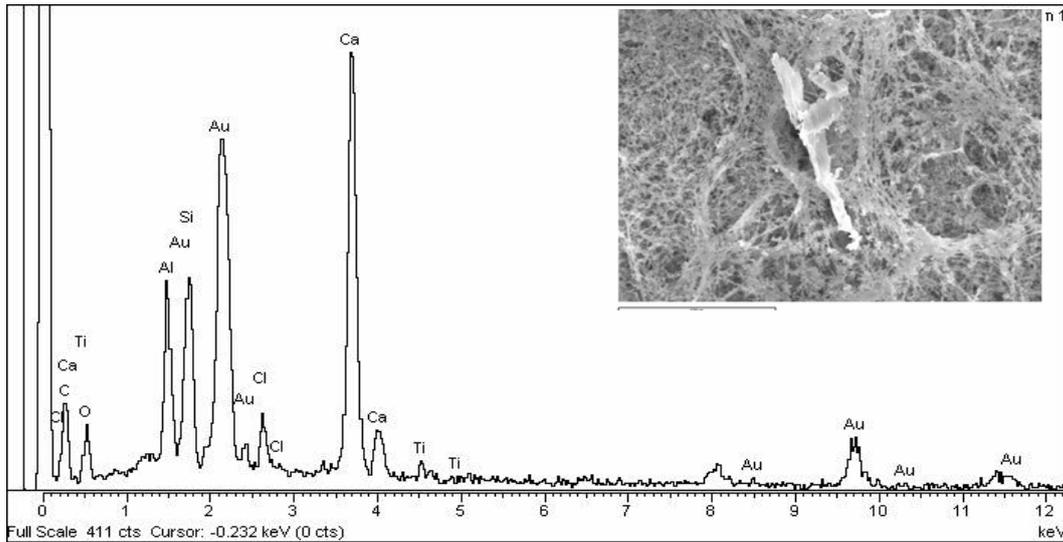


Fig. 7.20 Microfotografía de una partícula de polvo de madera obtenida por el microscopio electrónico con su respectivo espectro (submuestra 1 de la empresa 4)

De la submuestra 1 de la empresa 4 se obtuvo una microfotografía y espectro, que se pueden observar en la Fig. 7.20. El espectro establece la presencia de Ca, Ti, Si y Al, que pueden ser características de los componentes de pinturas y barnices.

En la Fig. 7.21, el espectro muestra la presencia de Ca, K y Cr, que pueden ser característicos de los componentes de pinturas y barnices.

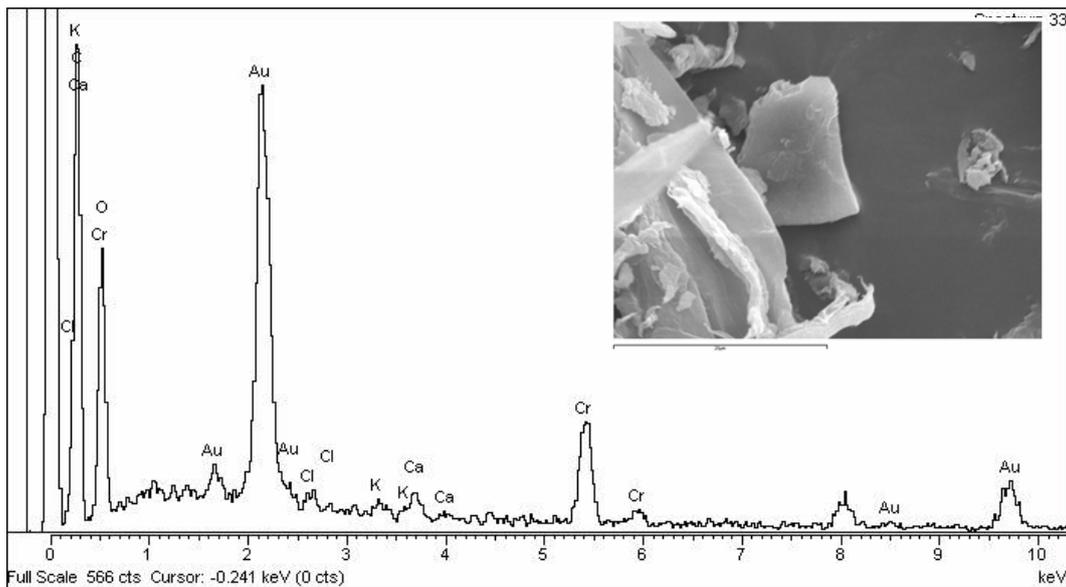


Fig. 7.21 Microfotografía de una partícula de polvo de madera obtenida por el microscopio electrónico con su respectivo espectro (submuestra 2 de la empresa 2)

## **8. EFICACIA EN LA RETENCIÓN DE PARTÍCULAS DEL POLVO DE MADERA. TRABAJO EXPERIMENTAL**

En el capítulo 7 se concluyó que el  $d_{ea}$  medio de las partículas de las dos muestras analizadas era de 22.7  $\mu\text{m}$  y de 14.3  $\mu\text{m}$ , por lo que es muy probable que la deposición de las partículas en el sistema respiratorio humano ocurra en la región superior del TR afectando la nariz, la boca, nasofaringe, orofaringe, epiglotis y la laringe. Sin embargo, se detectaron partículas con  $d_{ea}$  por debajo de 5  $\mu\text{m}$ , que podrían afectar la zona inferior del TR, pudiendo generar problemas o enfermedades pulmonares. La concentración del material particulado estaba por encima del TLV indicado para el polvo de madera (hasta 15 veces más), lo que confirma el escaso control del material particulado en el ambiente de trabajo, aumentando considerablemente las probabilidades de enfermar.

Estos hechos indican que nos enfrentamos a unas pobres condiciones socioeconómicas y culturales en referencia a la prevención de riesgos laborales tanto por parte de empleadores como de trabajadores del sector. Precisamente, con el fin de minimizar la existencia de estas deficiencias respecto a la protección respiratoria, es por lo que nos propusimos el desarrollo de esta investigación. Así pues, vamos a comparar los respiradores convencionales (mascarillas desechables) de tela no tejida con otros tipos de tela, con el fin de determinar la eficacia del tejido en condiciones extremas de exposición, con respecto a la retención de material particulado < 50  $\mu\text{m}$ .

## 8.1 TELAS Y TEJIDOS SELECCIONADOS

### 8.1.1 Tela no tejida

El tejido más comúnmente utilizado en la elaboración de protectores respiratorios (mascarillas desechables) es el llamado tela no tejida.

La tela no tejida (en inglés, *non-woven*) es un tipo de tela producida al formar una red con fibras que se unen por procedimientos mecánicos, térmicos o químicos, pero sin ser tejidas (ver Fig. 8.1). En este sentido, estos materiales se definen por lo que no son. En los "no-tejidos" las fibras no están tan unidas como en el papel. Las fibras pueden ser distinguidas, en muchos casos, a simple vista. Los no-tejidos son una hoja o red de fibras o filamentos artificiales o naturales, excluyendo al papel, sin haber sido tejidas donde las fibras están adheridas entre sí. Los no-tejidos tienen aplicaciones que van desde pañales para bebé hasta textiles industriales de alto rendimiento. Algunas de las áreas donde los no-tejidos son una alternativa principal son los geotextiles, materiales para construcción, aislantes de calor y sonido, higiene, tejidos en medicina y la industria automotriz. La fibra más utilizada es polipropileno (Winchester and Whitwell, 1970). Las mascarillas desechables de uso común en la protección respiratoria, generalmente tienen hasta 3 capas de tela no tejida.



Fig. 8.1 Fotografía de la tela no tejida

### 8.1.2 Tipos de tejido

Según el diccionario de la Lengua Española de la Real Academia (RAE), una tela es "obra hecha de muchos hilos, que, entrecruzados alternativa y regularmente en toda su longitud, forman como una lámina"; se usa especialmente hablando de la obra tejida en el telar y un tejido es "textura de una tela". La palabra textil es un adjetivo que viene del latín *textilis*. Se aplica a toda clase de confección de trama y la urdimbre o tejido. La tela es el producto textil resultante de tejer hilos, filamentos o fibras.

**Tejido de punto por trama:** Tiene una fila de un hilo que forma puntos transversales entre los bordes del punto, pasando por la fila acabada a una nueva fila. De esta forma es posible desenrollar cada pieza del nuevo tejido de punto por trama en un hilo sencillo. Podemos dividirlo en los siguientes subgrupos: ropa de una cara, doble jersey, punto aperlado.

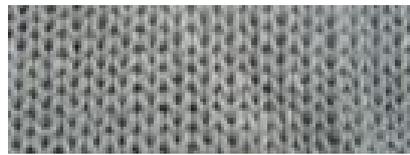


Fig. 8.1 Fotografía de un tejido de punto por trama

**Urdimbre:** sistema de hebras longitudinales en un tejido paralelas a los bordes. Normalmente son menos onduladas que las hebras de la trama, por lo que es posible establecer la posición de un tejido con una pequeña muestra. En la Tabla 8.1 se pueden observar algunos tipos de tejidos que se conocen para la elaboración de telas.

Tabla 8.1 Tipos de tejidos utilizados en la elaboración de las telas (Gacén, 1991)

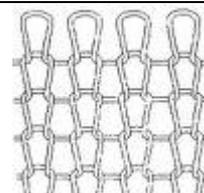
<b>Tipos de tejido</b>	
<p><b>Tejido plano</b> es cuando se entrecruzan los hilos a 90 grados en paralelo uno que se llama urdimbre y la perpendicular que se llama trama (Hoces de la Guardia, <i>et al.</i>, 2006; Bird, 1970).</p>	

---

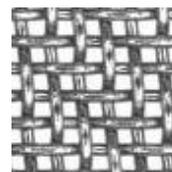
### Tipos de tejido

---

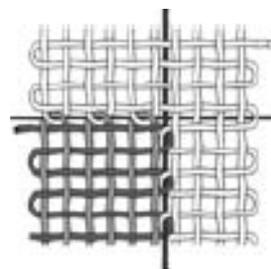
**Tejido de punto** se entrelazan por medio de unas mallas que son formados por las agujas (Bird, 1970).



**Tejido cruzado** posee líneas diagonales muy marcadas, que son producto del entrelazado de dos hilos de la urdimbre, con un hilo de la trama, en filas alternas. Son tejidos como la espiguilla, sarga, foulard, twill, cheviot, surah, gabardina, mezclilla, Denia, cutí. Estas telas son de gran resistencia, muy empleadas en prendas de trabajo.



**Tejido por urdimbres y tramas** en la construcción de los tejidos de punto por urdimbre o por trama, se debe tener a mano una lupa cuenta-hilos muy común entre textileros que determinan el tipo de construcción. En el punto urdimbre se utilizan fibras sintéticas (microfibras) mientras que el de trama se utilizan fibras naturales y sintéticas. Las microfibras básicamente son fibras con capacidad de absorción nula, pero con una alta capacidad de transpiración, un tacto excesivamente suave y tiene un comportamiento impermeable (Hoces de la Guardia, *et al.*, 2006; Bird, 1970).



Ver anexo E

Los distintos tipos de tejido textil comunes en el mercado encontramos los siguientes (Gacén, 1991):

1. **Tejidos liso o tafetán:** éste es el método básico de tejido. Cada hilo de la trama se entrelaza con cada uno de la urdimbre; la RAE lo define como "tela delgada de seda muy tupida".
2. **Tejido cruzado:** posee líneas diagonales muy marcadas, que son producto del entrelazado de dos hilos de la urdimbre, con un hilo de la trama, en filas alternas.
3. **Tejido de satén:** tiene una textura más densa que la de los tejidos cruzados, pero a la vez es suave, pero menos resistente. Para lograr la superficie suave, se pasan los hilos de la urdimbre sobre varios hilos de la trama, haciendo un entrelazado mínimo.
4. **Tejido de Jacquard y liso:** la combinación de ambos tejidos se emplea para crear telas con dibujo.

**5. Tejido sarga:** tiene el patrón más pequeño (s/3), que significa que tres hilos de la urdimbre y tres hilos de la trama se rotan en varios entrelazados que se repiten constantemente, formando así filas diagonales. Si los hilos de la urdimbre predominan en la cara, nos referiremos a este como tejido de sarga; un tejido de urdimbre tiene la mayoría de hilos de la trama en la cara. Se usa con una gran variedad de tejidos; los más importantes son: sarga cruzada, sarga quebrada, sarga discontinúa, tejido de sarga con piezas de tela, sargas combinadas, satén sombreado, sarga cosida, sarga graduada, satén reforzado y sarga reforzada.

## 8.2 ANÁLISIS DE LOS TEJIDOS SELECCIONADOS

Uno de nuestros objetivos de esta Tesis es determinar experimentalmente la eficacia en la retención de partículas del polvo de madera en las telas no tejidas de las mascarillas desechables y compararlas con otros tipos de tejido. Para ello es importante conocer la densidad o coeficiente de densidad del tejido y el coeficiente de ligadura del ligamento empleado (del coeficiente de ligadura de trama y del coeficiente de densidad de urdimbre), dos propiedades de los tejidos necesarias para nuestra investigación.

En el análisis de tejidos deben tenerse en cuenta tres clases de contracción: 1) la debida al ligamento, que es común a todos los tejidos; 2) la debida al encogimiento natural que experimentan los tejidos al ser mojados, y 3) el encogimiento que se produce, de forma natural o forzada, al ser sometidos a los diversos procesos de aprestos y acabados. Otro medio para estimar la cobertura que ofrecen los tejidos se realiza de forma indirecta, a partir de la permeabilidad al aire de los tejidos.

La contracción debida al ligamento depende, principalmente, de las ondulaciones que efectúan los hilos al **entrecruzarse**, de la **densidad** y del **título** de los hilos. Estas ondulaciones dependen de la disposición del entrecruzamiento de los hilos de urdimbre y trama (el ligamento) y de las tensiones de los mismos. El valor de este entrecruzamiento viene dado por el denominado coeficiente de ligadura, que se calcula mediante la relación entre el número de puntos de inflexión producidos por los hilos cuando pasan del haz al envés en el curso (dirección) y el curso del

ligamento (mínimo número de hilos de urdimbre y trama para representar el ligamento). Como se puede apreciar en la Tabla 8.2, es evidente que cada ligamento tendrá dos coeficientes, uno referido a la urdimbre y otra referida a la trama (excepto el tafetán, que es el único con coeficiente unitario) (Galceran, 1958; Algaba, 2004; Parés *et al.*, 2005)

Tabla 8.2 Coeficientes de ligadura ( $K_I$ ) para algunos de los principales ligamentos ampliamente utilizados por la industria textil (Algaba, 2004)

<b>Ligamento</b>	<b><math>K_I</math> Urdimbre</b>	<b><math>K_I</math> Trama</b>
Tafetán	1	1
Sarga de 3	0.666	0.666
Sarga de 4	0.5	0.5
Sarga de 5	0.4	0.4
Sarga de 6	0.333	0.333

Una tela no tejida, tiene una densidad global  $< 0.15 \text{ g/cm}^3$ , de fibras conjugadas de longitud corta; dichas fibras conjugadas están constituidas de polietileno y poliéster, en donde una porción substancial de las superficies de dichas fibras conjugadas comprenden dicho polietileno, estas fibras son ligadas térmicamente por lo que la tela no tejida tiene un coeficiente de cero.

El ligamento tela o tafetán tiene igual densidad de urdimbre-trama, se forma por el entrecruzamiento de hilos con pasadas, Gacén, 1995).

La estabilidad estructural de los tejidos depende del equilibrio entre la densidad, el hilo y el ligamento. De la combinación de estos tres elementos depende el grado de tupidez. Asimismo, para una misma tupidez, existen diferentes relaciones entre las densidades de urdimbre y trama, que variarán el aspecto del tejido (Mañosa, 2008). El tafetán es una tela de seda muy tupida. El grado de tupidez depende del grado de transpirabilidad.

**La transpirabilidad** es la capacidad que tiene un tejido de que el vapor de agua lo atraviese. El cuerpo humano en reposo produce unos 0.75 l de agua al día en forma de vapor ( $2500 \text{ g/m}^2$ , 24 h). Los fabricantes expresan la transpirabilidad del tejido en  $\text{g/m}^2$  en 24 h. Una prenda sucia reduce su transpirabilidad. El rango de elección puede ser entre  $2500 - 8000 \text{ g/m}^2$  de transpirabilidad (Gacén, 1995).

La permeabilidad al aire de una capa de material poroso es la medida de la velocidad de flujo bajo una presión diferencial entre sus dos caras. Es un parámetro importante para productos textiles, como filtros, tejidos para vestimenta, lonas, velas, tejidos para paracaidistas, etc. En los filtros, por ejemplo, la permeabilidad al aire está directamente relacionada con la eficiencia (diferencia de presión entre las dos superficies del filtro en uso). Las condiciones y las variables de los procesos de aprestos y acabados influyen muy significativamente sobre el valor de permeabilidad de un tejido. La ondulación en los hilos de urdimbre y de trama, y el tipo de ligamento, influyen sobre el espacio entre hilos y su forma. En tejidos destinados a vestimenta, considera la permeabilidad al aire como uno de los seis importantes factores del confort (Gacén, 1995).

Otra de las características estructurales del tejido que influye sobre la permeabilidad al aire del tejido, es el factor de cobertura. Cuanto mayor es este factor, más bajo es el valor de permeabilidad al aire (Naik *et al.*, 1984).

Debido a todas estas características de los tejidos, se escogió el tejido tafetán ( $K_T = 1$ ), para ser comparado con la tela no tejida ( $0.15 \text{ g/cm}^3$ ) de las mascarillas desechables.

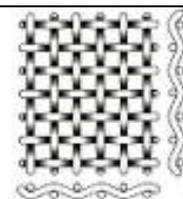
Las telas se escogieron por tener mayor densidad de urdimbre, más compacta, con hilos muy finos que cierran el poro mucho mejor que la tela no tejida. Las telas que mejor presentan estas características para el experimento son las telas tafetán, jacquard, crepe y charme (ver Tabla 8.3). Independientemente de su fibra (que no es nuestro objetivo en la Tesis), lo que se busca en esta experimentación es la eficacia de retención de la partícula con menor  $d_{ea}$ , cuyos datos fueron obtenidos del capítulo anterior.

Tabla 8.3 Tejidos seleccionados para la experimentación.

---

**Tafetán** cada urdimbre se entrelaza con cada uno de los hilos de trama a modo de un sencillo enrejado, es un tejido liso como el batista, manta, calicó, lino, cambray, crespón o crepe, muselina, organdi, percal, cloqué, tul, popelina, acanalado y el escocés. La fibra es 94% poliéster y 6% poliuretano.

---



---

**Jacquard** cada hilo de urdimbre se controla individualmente Hay un numero infinito de ligamentos posibles. El tejido combinado de jacquard y liso, se emplea para crear telas con dibujos como ojo de perdiz, brocados. La fibra del Jacquard pelo es 89% poliéster y 11% poliuretano. La fibra del Jacquard liso es 86% poliéster y 14% poliuretano.



---

**Crepe** un entrecruzamiento irregular de los hilos. Aparecen bastas de longitud decimal sin ningún patrón diferenciable.



---

**Charmes** es un tejido doble con urdimbre de una cara, creado con dos urdimbres muy trenzadas, una de las cuales forma un tejido de punto y la otra un tejido liso. El charmeuse se usa en la ropa interior, exterior. Charmeuse (tela tejida) es un tejido sedoso muy suave, de peso medio, con una superficie granulada y un revés muy brillante; está tejido con técnica de doble revestimiento, en la cual la trama superior de crepé se entrelaza con tela de lino, y la trama inferior con un alto retorcimiento en tela de satén. Se usa en vestidos de mujer, lencería y abrigos ligeros.

---



### 8.3 MÉTODO UTILIZADO

El método utilizado en la experimentación de la eficacia de los tejidos seleccionados, ha consistido en los siguientes pasos:

- Simulación del microambiente laboral de una sección de lijado o cepillado.
- Selección de las telas por medio de la concentración acumulada y peso acumulado.
- Comparación entre las telas y las mascarillas comerciales con las diferentes velocidades del aire.

Siguiendo los pasos del método analítico de la NIOSH 0500, se muestreó en un lapso de tiempo entre 6-8 horas, logrando un tiempo equivalente a una jornada laboral para determinar la efectividad de los tejidos en diferentes situaciones de exposición al polvo de madera.

En esta Tesis se ha realizado la prueba **t** de **Student**, con la ayuda del programa Excel de Microsoft ®, para conocer:

- a. **Grado de significancia de la eficacia** en la retención de partículas de tejidos diferentes a la tela no tejida. Se trata de ver si éstos tejidos, son una muestra representativa de tejidos para la protección respiratoria o no.

Para ello cabe hacer pruebas experimentales de exposición al polvo de madera. Por lo tanto se ha aplicado una prueba **t** para dos muestras suponiendo varianzas desiguales a cada una de las 2 variables por separado (tela no tejida de las mascarillas desechables de uso común y otros tipos de tejido), tomando los datos de la tela no tejida solamente (variable 1) y los datos de otros tejidos (variable 2).

Esta prueba se ha realizado en función del tiempo de exposición, peso y concentración acumulada. Las pruebas permiten identificar si hay alguna diferencia entre la eficacia del tejido tipo no tejida y otros tipos de tejido.

- b. **Grado de eficacia** en la protección respiratoria a la exposición al polvo de madera, a partir de los datos de experimentación.

Se ha utilizado la prueba **t** para dos muestras suponiendo varianzas desiguales a cada una de las 2 variables por separado (tela no tejida y otros tipos de tejido.) tomando los datos de experimentación del tejido tipo no tejido (variable 1) y los datos experimentales de otros tipos de tejido diferentes al no tejido (variable 2). Esta prueba se ha realizado en función del tiempo de exposición, concentración acumulada y peso.

De esta forma, se puede identificar qué tipo de tejido pueden relacionarse con la aplicabilidad de la protección respiratoria en la retención de partículas y cuáles no.

- c. **Medida de la eficacia de la retención** de partículas de los tipos de tejido, a partir de los datos de experimentación en el laboratorio. Para ellos se ha utilizado la prueba **t** para medias de dos muestras emparejadas a cada una

de las variables por separado. Esta prueba se ha realizado en función para el conjunto de muestras y también en función del tiempo de muestreo.

Esta prueba nos permite saber si ha habido diferencia significativa tras el muestreo a diferentes tiempos.

d. **Planteamiento de la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la hipótesis alternativa ( $H_A$ ):**

Se pretende saber si es posible encontrar un tejido diferente a la tela no tejida de las mascarillas desechables sean más eficaces en la retención de partículas del polvo de madera. Si resulta eficaz, se esperaría, entonces, que los pesos acumulados y las concentraciones acumuladas de los filtros cubiertos de los tejidos experimentales sean más bajos que los filtros cubiertos por las telas no tejidas de las mascarillas. Si, por lo tanto, el valor este por debajo del intervalo de confianza y que la media de las muestras sea significativa, bajo estas condiciones, nos preguntaríamos si es posible concluir que los tejidos escogidos sean más eficaces en la retención de partículas que la tela no tejida de las mascarillas. Es lo mismo preguntarse si el valor  $P(T \leq t)$  de dos colas estará por debajo del intervalo de confianza será entonces negativa (menor que cero). Las hipótesis nula y la alternativa son las siguientes:

$$H_0: \mu_d \geq 0$$

$$H_A: \mu_d < 0$$

Si se obtiene las diferencias entre los pesos y las concentraciones acumuladas, las hipótesis podrían ser:

$$H_0: \mu_d \leq 0$$

$$H_A: \mu_d > 0$$

Si la pregunta necesitaría una prueba bilateral, las hipótesis serías:

$$H_0: \mu_d = 0$$

$$H_A: \mu_d \neq 0$$

Si la hipótesis nula es verdadera, la estadística de prueba sigue una distribución  $t$  de Student con  $n-1$  grados de libertad.

Sea  $\alpha = 0.05$ . Si se rechaza  $H_0$  si el valor calculado de  $t$  es menor o igual que el valor crítico.

Si la hipótesis nula se rechaza, significa que dicha prueba produce diferencias significativas en la retención de partículas en tipos de tejido diferentes al no tejido de las mascarillas desechables.

### 8.3.1 Simulación del microambiente laboral de una sección de lijado o cepillado

Con el fin de simular la atmósfera contaminada de polvo de madera a la que están expuestos los trabajadores en una sección de lijado o cepillado de una carpintería, se prepararon dos montajes experimentales. El primero pretende simular condiciones normales de exposición, mientras que el segundo simula las condiciones extremas de exposición.

La experimentación se llevó a cabo en el laboratorio de Química Ambiental del Institut Politècnic del Campus de Terrassa de la UPC.

**Descripción del montaje 1** (Fig. 8.3): se dispuso de dos tubos de PVC: un tubo (A) con un diámetro de 12.5 cm x 3 mm de grosor y con una altura de 22 cm, con extremos abiertos, y otro tubo (B) con un diámetro de 13 cm y de altura 9 cm, en el que encajaba el tubo A por un extremo. El otro extremo del tubo B estaba cerrado salvo por un pequeño agujero.

Se recortaron dos trozos de malla metálica con las medidas del diámetro de los tubos y se colocaron una encima de la otra de forma que se entrecruzaran los poros. Se ubicaron entre los tubos A y B, y se encajaron de tal manera que ambos tubos quedaron unidos y sellados por las mallas. El montaje se colocó sobre un soporte (C). Por la parte superior de los tubos, se añadieron 100 g de serrín que reposaba sobre las mallas.

Por la parte inferior del montaje, a través del agujero de la base del tubo B, se ubicó la manguera de aire (D), de tubo de teflón de 3.6 cm de diámetro. La corriente de aire era impulsada por una bomba, con el fin de remover el serrín y éste ser captado por los casetes (E) del tren de muestreo. En el extremo del tubo de teflón se colocó un vaso cilíndrico de 3.6 cm de diámetro perforado en su parte inferior por la cual penetraba el tubo de teflón, para reducir la velocidad de salida de aire y aumentar el área de la dispersión. Con el mismo fin, en vez del vaso cilíndrico, también se probó a usar embudos de 9.5 y 7.5 cm de diámetro.

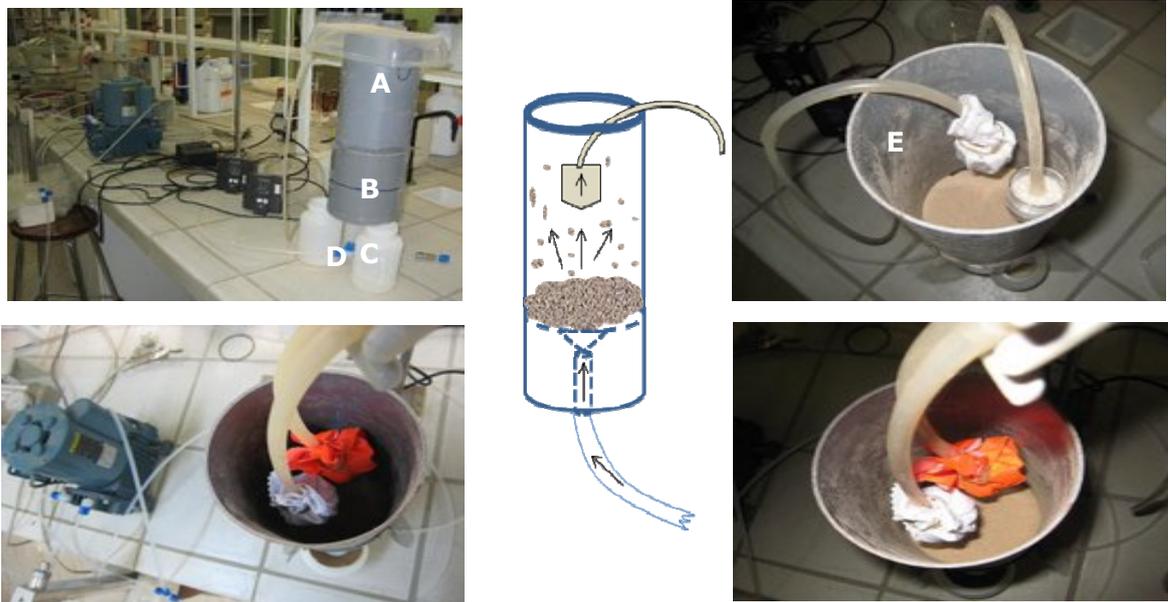


Fig. 8.3 Serie de fotografías y esquema del montaje 1 de la prueba de los tejidos realizada en el laboratorio de Terrasa

**Descripción del montaje 2** (Fig. 8.4): se recortó un recipiente de plástico (A) cuyo diámetro era compatible con el diámetro del porta-casete de 37 mm del tren de muestreo (D). Por la parte inferior (B) se ubicó la manguera de aire y por la parte superior (C) se colocó la manguera con el casete. En este montaje se compararon una a una las muestras de tejidos.



Fig. 8.4 Montaje 2 de la prueba de tejidos

### 8.3.2 Selección de las telas en función del peso acumulado en el filtro

- *Velocidades del aire*

La velocidad máxima del aire en un área de trabajo es 1.5 m/s. Para talleres de carpintería, se tienen velocidades extremas superiores a 8 m/s (Harper *et al.*, 2002a).

Las velocidades del aire utilizadas en los experimentos aparecen en la tabla 8.4. En el primer caso, la velocidad de aire de 41 m/s representa unas condiciones extremas. Se trata de una velocidad forzada para provocar una agitación violenta del serrín, generando de este modo una atmósfera polvorienta con energía suficiente como para poder atravesar la malla soporte del serrín. Esta gran velocidad es debida a que el tubo de salida del aire con diámetro interno de 3.2 mm, se dispuso sin ningún artilugio de expansión, mientras que en los otros casos, sí existió un vaso o un embudo. En estos casos, el vaso o embudo de expansión permitió reducir sensiblemente la velocidad del aire, representando así unas condiciones normales de trabajo: 0.18, 0.23 y 0.33 m/s.

Las condiciones extremas se refieren a una producción elevada de muebles en el taller, en especial en el área de pulimento de las piezas de madera, en el que se utilizan herramientas como lijadoras de banda y lijadoras manuales con motor.

Tabla 8.4. Velocidades del aire de acuerdo al diámetro de los tubos utilizados en los montajes.

	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Caudal (l/min.)</b>	<b>Velocidad del aire (m/s)</b>
Tubo sin vaso	*3.2 mm	20	41.1
Tubo con vaso	3.6	20	0.33
Tubo con embudo A	9.5	75	0.18
Tubo con embudo B	7.5	60	0.23

\*Diámetro en mm

- ***Muestras de serrín***

El serrín fue tomado de la sección de lijado de una carpintería de Barcelona ciudad, dedicada a la elaboración de muebles para el hogar.

- ***Muestreo del polvo de madera***

Los equipos que se utilizaron para el muestreo fueron 2 bombas muestreadoras de aire marca Escort ELF pump MSA 497702 y una balanza analítica Mettler AS 1000 e=1 mg d= 0.1 mg Aplicando el método analítico de la NIOSH, el caudal de la bomba muestreadora estuvo entre 1.5-2.0 l/min. Los filtros utilizados eran de PVC de 5 µm con un diámetro de 37 mm.

- ***Selección de los tipos de tejido***

Para el experimento se seleccionaron los siguientes tipos de tejidos:

- tafetán (94% de poliéster y 6% de poliuretano),
- Jacquard (86% poliéster y 14% de poliuretano),
- charme
- crepe

Las telas fueron sometidas a diferentes velocidades de aire en un tiempo de 1 hora cada una. Cada trozo de tela envolvió el porta-casete con filtro de PVC que conectaba a la bomba de muestreo. El porta-casete se aseguró casi herméticamente para evitar que pudiera pasar accidentalmente polvo por el revés de la tela (tal como se puede ver en la Fig. 8.2). Luego, las telas fueron llevadas al laboratorio de microscopía electrónica de la ETSEIB, donde se observaron ambos lados (derecho y revés), con un microscopio de lupa tipo TV2/3" C 0.63X, 1069-414 DP: 300 STEMI 2000-C Zeiss x,y/(0,407)=RGB (199/137/157) de alta definición, y verificar si había partículas en el revés de las telas.

- *Vista por microscopio de lupa*

Con una magnitud de hasta 160X, se pudo clasificar las telas que presentaron mejores resultados (poca muestra o nada de polvo de madera en el revés). Las telas seleccionadas fueron: Tafetán, Jacquard pelo y Jacquard liso. En las Figs. 8.5 a 8.9 se presentan los tejidos sin muestra y con muestra (en el anexo E2 se observan pruebas de otros tipos de tela).

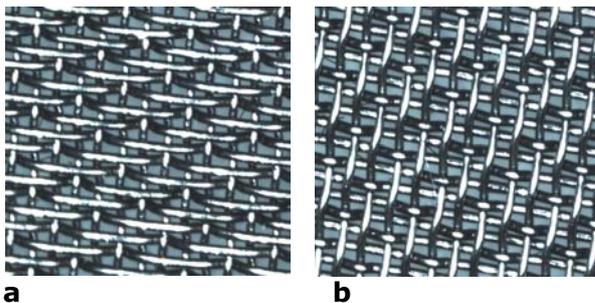


Fig. 8.5 Microfotografía de magnitud de **40X** de la malla metálica utilizada en las pruebas de los tejidos. Se observan ambos lados (**a** y **b**) de la malla, cuyo tamaño de poro es de 125 µm.

**40X**

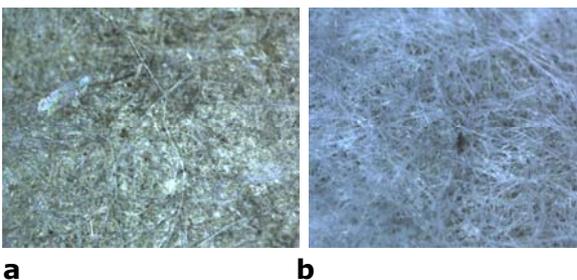


Fig. 8.6 Microfotografía de la tela no tejida (100% poliéster) de un respirador desechable comercial tipo concha a una magnitud de **100X**. Se aprecia en el lado (derecho) **a** de la mascarilla con exceso de material particulado y el lado **b** (revés); los tamaños de poro van de 6-20 µm.

**100X**

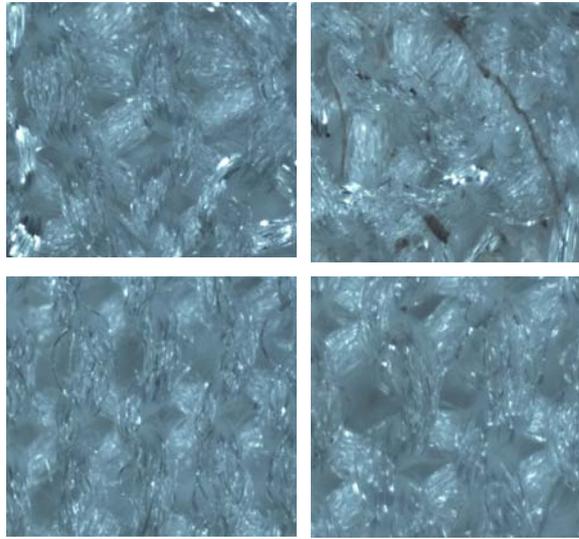


Fig. 8.7 Microfotografías a un aumento de magnitud de **160X** del tejido tipo Jacquard por el derecho (fotos superiores) y del revés (fotos inferiores). Se observa en las fotos **a** sin muestra y las fotos **b** con muestra. El tamaño de poro es aproximadamente de 63  $\mu\text{m}$ .

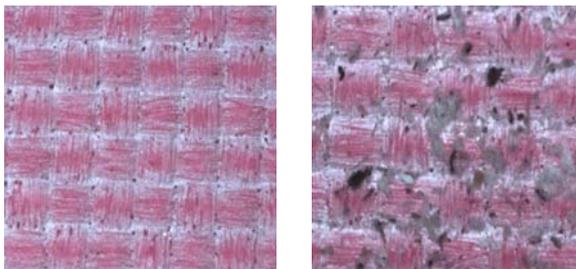
**a****b****160X****a****b**

Fig. 8.8 Microfotografías a un aumento de magnitud de **60X** del tejido tipo de tafetán por el derecho. Se observa en la foto **a** sin muestra y la foto **b** con muestra

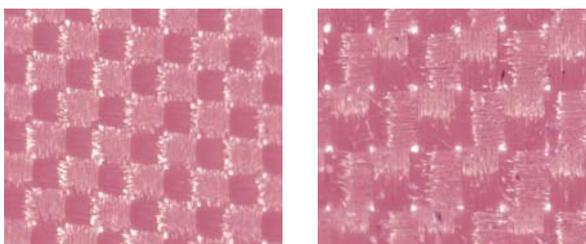
**60X****a****b**

Fig. 8.9 Microfotografías a un aumento de magnitud de **40X** del tejido tipo tafetán, por el revés del tejido. La foto **a** se observa sin muestra y la foto **b** con muestra a **60X**, el tamaño de poro es aproximadamente de 1  $\mu\text{m}$ .

**40X**

### 8.3.3 Comparación en cuanto a eficacia de retención entre los tejidos seleccionados y las mascarillas desechables

En este apartado se presentan los resultados de la aplicación de la prueba **t** para medias de dos muestras emparejadas a los datos experimentales de retención de partículas mediante la tela no tejida de las mascarillas desechables (uso común y normalizada) y los tejidos seleccionados. El objetivo de esta prueba es determinar

la significancia de la diferencia de eficacias en la retención entre unos y otros tejidos. Para ello se ha utilizado la codificación de las variables (variable 1 y variable 2) que se han señalado anteriormente en el apartado 3.2.3.

Los tiempos de muestreo fueron de 20 minutos con un mínimo de 13 lecturas, y de 120 minutos con 4 lecturas. Los filtros se pesaban cada 20 minutos y al final de la jornada se compararon con los filtros en blanco. El TLV del polvo total de madera tomado como referencia teórica es de  $5 \text{ mg/m}^3$  (Magnavita *et al.*, 2003; ACGIH, 2008). Dicho valor es el que se ha utilizado para comparar las concentraciones experimentales. Las mascarillas desechables utilizadas en la experimentación son de tipo concha de dos clases: una regulada con normas internacionales de marca reconocida (3M Ref. 8810 FFP2) y la otra comercial sin marca ni con normas internacionales (sin número de referencia). En la Fig. 8.10 se aprecian las mascarillas antes y después de las pruebas.



Fig. 8.10 Serie de fotografías de las mascarillas desechables utilizadas antes y después de los experimentos (lado izquierdo mascarilla normalizada y al lado derecho, mascarilla de uso común).

Se aplicó la prueba  $t$  para dos muestras suponiendo varianzas desiguales a los datos experimentales (ver anexo E) frente a la tela no tejida de las mascarillas desechables. A continuación, se presentan los resultados.

### 8.3.3.1 Condiciones extremas de exposición No. 1

- *Tejidos tipo Jacquard y mascarilla desechable común*

Se tomaron 15 lecturas cada 20 minutos, para un tiempo total de 420 minutos, y la velocidad del aire de 41.1 m/s. Se tomaron datos de peso acumulado de material particulado y concentración acumulada en los filtros tras el paso de las partículas por el tejido de prueba (hemos tomado el acumulado, simulando que un trabajador permanece durante su jornada laboral con la misma mascarilla sin realizar restitución de ésta). Ver los datos en el anexo E.

Cuanto menor es el peso y la concentración de partículas acumulados en el filtro, se asume que más eficaz es el tejido en la retención de las partículas.

En la Fig. 8.11 se puede observar que el peso acumulado del filtro del tejido tipo Jacquard es menor que el peso acumulado del filtro de la mascarilla desechable, y una baja concentración de MP del filtro cubierto por el tejido tipo Jacquard, que el de la mascarilla desechable; no obstante, ninguno de los dos tejidos superó el valor límite del polvo de madera de las condiciones extremas de exposición.

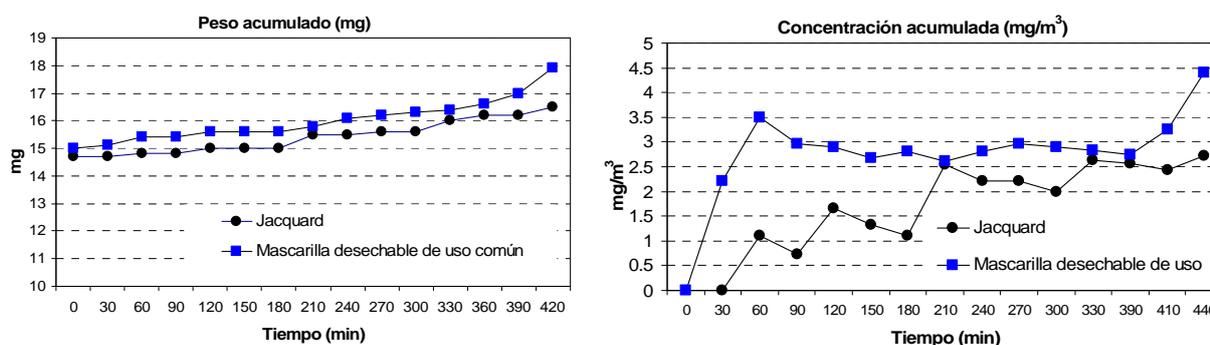


Fig. 8.11 Peso acumulado en mg y concentración acumulada en  $\text{mg}/\text{m}^3$  de partículas no retenidas por los tejidos tipo Jacquard liso y mascarilla desechable, en un tiempo total de 440 minutos de muestreo

- *Tejidos tafetán y Jacquard*

En la Fig. 8.12 se observa la evolución del peso acumulado y de la concentración acumulada de los filtros de los tejidos tipo tejido tafetán y Jacquard. Se aprecia que

el tejido tipo tafetán tiene mejor retención de partículas que el Jacquard; no obstante, ninguno de los filtros de los dos tejidos superó el valor límite del polvo de madera de las condiciones extremas de exposición.

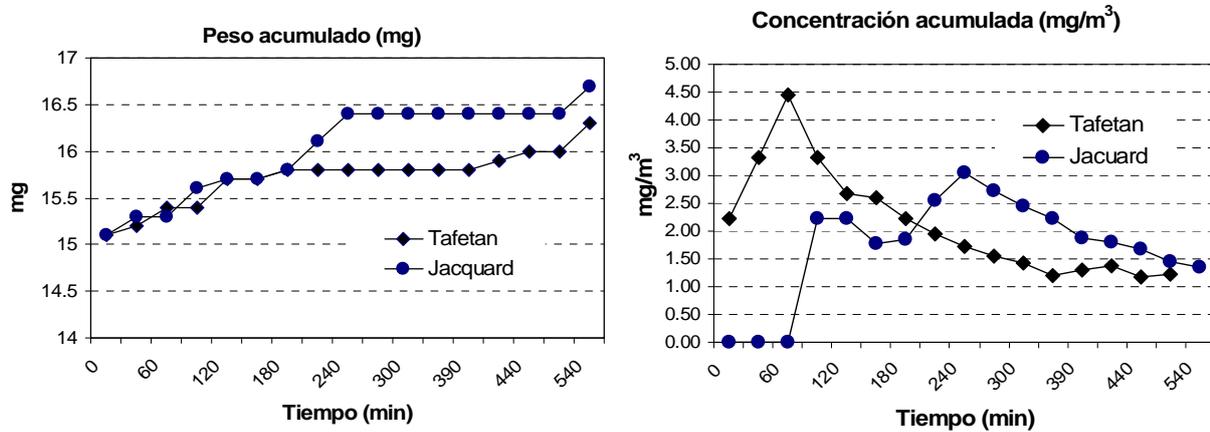


Fig. 8.12 Peso acumulado en mg, y concentración acumulada  $\text{mg}/\text{m}^3$  de partículas no retenidas por los tejidos tipo Jacquard y tafetán en un tiempo total de 540 minutos de muestreo

- ***Tejidos tipo tafetán, mascarilla desechable común y mascarilla regulada***

Se aprecia en la Fig. 8.13 que el peso acumulado del filtro del tejido tipo tafetán permanece constante al igual que el filtro de la mascarilla normalizada. El peso del filtro de la mascarilla desechable presenta un aumento progresivo a lo largo del tiempo del muestreo. Con respecto a la concentración de MP del filtro recubierto de la mascarilla desechable se observa que supera la concentración permitida al cabo de 60 minutos de sobreexposición; los filtros cubiertos por la mascarilla normalizada y el tejido tipo tafetán permanecen constantes en el tiempo de muestreo sin superar el valor límite permisible.

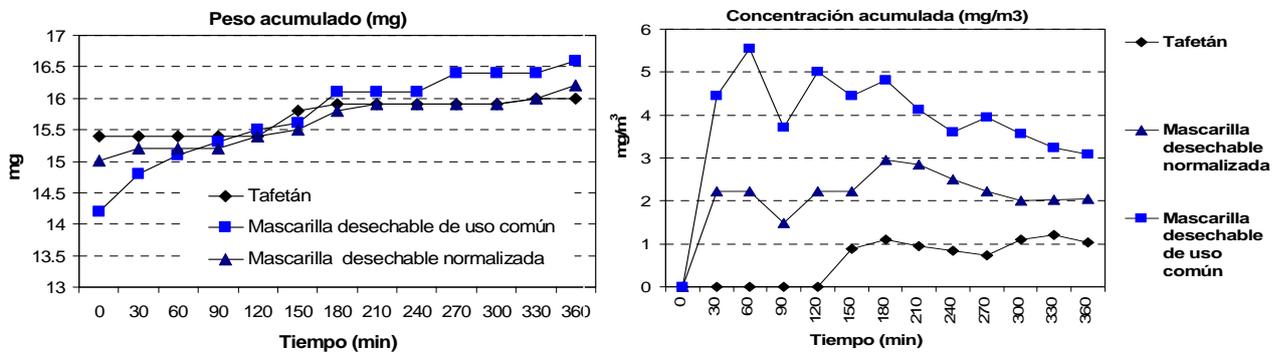


Fig. 8.13 Peso acumulado en mg y concentración acumulada en  $\text{mg}/\text{m}^3$  de partículas no retenidas por los tejidos tafetán, mascarilla regulada y mascarilla desechable, en un tiempo total de 360 minutos de muestreo

### 8.3.3.2 Condiciones normales de exposición No. 2

- *Tejido tipo tafetán y mascarilla desechable*

En condiciones normales (velocidad del aire a 0.18 m/s), los filtros cubiertos por los tejidos tipo tafetán y tela no tejida de la mascarilla desechable se comportan de forma parecida (Fig. 8.15); ninguno de los dos tejidos supera la concentración del TLV teórico.

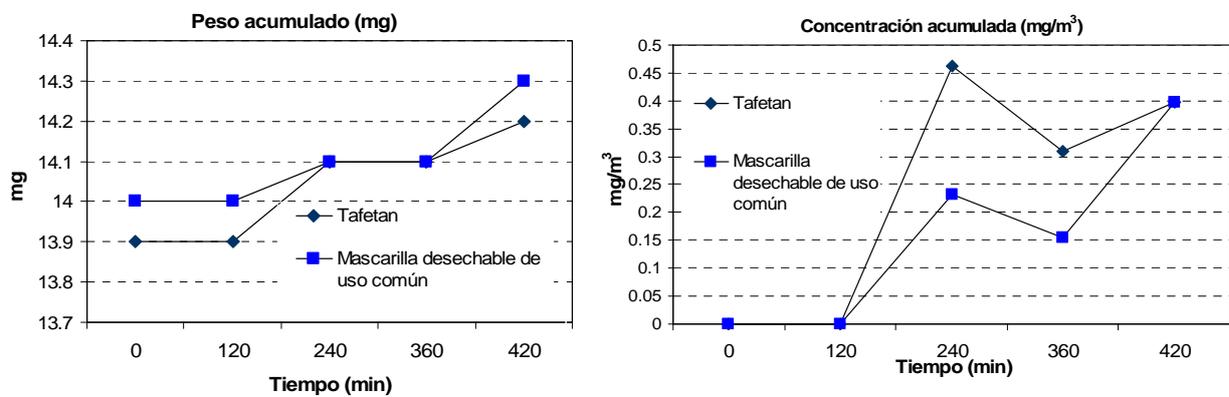


Fig. 8.15 Peso acumulado en mg y concentración acumulada en  $\text{mg}/\text{m}^3$  para el tejido tafetán y la mascarilla desechable, en un tiempo total de 420 minutos de muestreo

### 8.2.3.3 Condiciones normales de exposición No. 3

- *Jacquard y mascarilla desechable*

En condiciones normales (velocidad del aire de 0.23 m/s), los filtros cubiertos por los tejidos tipo Jacquard y la tela no tejida de la mascarilla desechable tienen un comportamiento parecido, como se puede apreciar en la Fig. 8.17. Ninguno de los dos tejidos superó la concentración del TLV teórico.

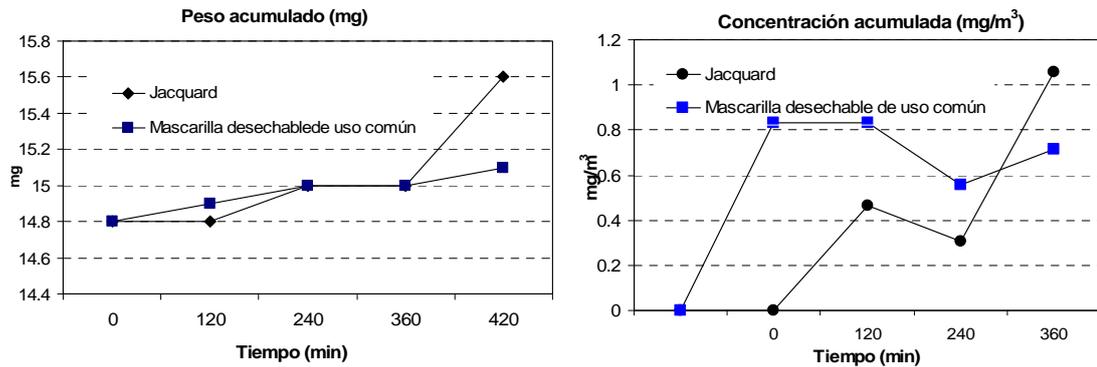


Fig. 8.17 Peso acumulado en mg los tejidos Jacquard pelo y mascarilla desechable en un tiempo total de 420 minutos de muestreo, y concentración acumulada en mg/m<sup>3</sup> en un tiempo total de 360 minutos de muestreo

### 8.3.3.4 Condiciones normales de exposición No. 4

En condiciones normales (velocidad del aire a 0.33 m/s), los filtros cubiertos por los tejidos tipo tafetán, Jacquard y tela no tejida de la mascarilla desechable no superan la concentración del TLV teórico, tal como se aprecian en la Fig. 8.18.

- *Tafetán, mascarilla desechable y Jacquard*

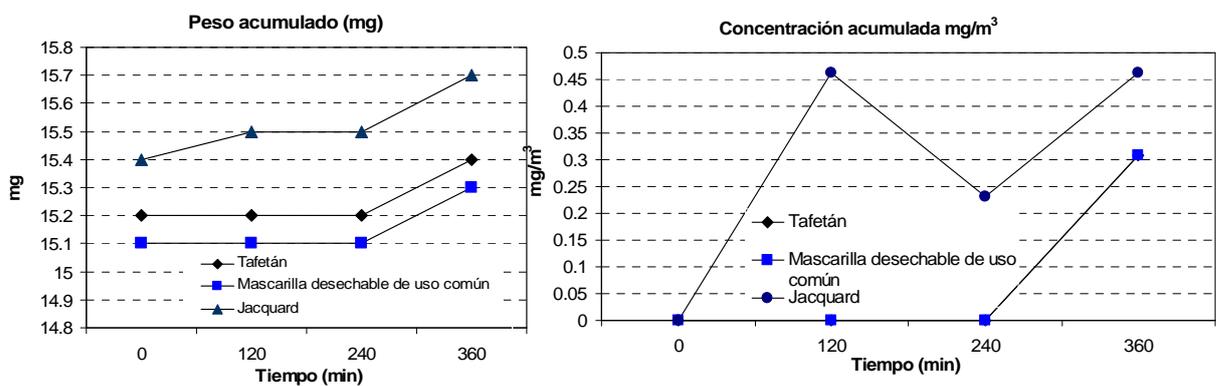


Fig. 8.18 Peso acumulado en mg y concentración acumulada en mg/m<sup>3</sup> de partículas no retenidas por los tejidos tafetán, Jacquard y mascarilla desechable en un tiempo total de 360 minutos de muestreo. Se observa que los tejidos tipo tafetán y el tejido de la mascarilla desechable presentan la misma concentración, lo que significa que ambos tejidos tienen el mismo comportamiento en la retención de partículas a la velocidad del aire de 0.33 m/s.

#### **8.3.4 Prueba $t$ para medias de dos muestras emparejadas entre las telas no tejida y los tejidos seleccionados experimentalmente**

En las Tablas 2 y 3 se pueden observar los resultados de las pruebas  $t$  para medias de dos muestras emparejadas entre los filtros cubiertos de las telas no tejidas (mascarillas desechables de uso común y normalizada) de los tejidos tipo tafetán y Jacquard, suponiendo variancias desiguales ( $\alpha \leq 0.05$ ) para diferentes condiciones de exposición (extremas y normales) y a diferentes velocidades de aire ( $v_a$ ). Lo marcado en negrita y normal significa que el tejido en comparación es mejor que la tela no tejida de la mascarilla desechable de uso común.

Como conclusión del experimento con los tejidos podemos afirmar que el tejido tafetán en comparación con la tela no tejida de la mascarilla desechable de uso común, es más eficaz en cuanto a la retención de partículas tanto en condiciones normales de exposición como en condiciones extremas. Las mascarillas desechables en condiciones extremas pierden su efecto al cabo de 60 minutos de uso, mientras que el tafetán permanece eficaz las 8 horas de exposición extrema.

Tabla 2. Prueba  $t$  para medias de pesos acumulados en mg de dos muestras emparejadas entre los tejidos tela no tejida de las mascarillas desechables de uso común y normalizada, los tejidos tipo tafetán y Jacquard, suponiendo variancias desiguales ( $\alpha \leq 0.05$ ) a diferentes condiciones de exposición (extremas y normales) y a diferentes  $V_a$ .

	Tafetán					Jacquard					Mascarilla normalizada				
	$\bar{X}$	$\sigma^2$	$t$	$p(T \leq t) *$	Valor crítico de $t$	$\bar{X}$	$\sigma^2$	$t$	$p(T \leq t) *$	Valor crítico de $t$	$\bar{X}$	$\sigma^2$	$t$	$p(T \leq t) *$	Valor crítico de $t$
<b><math>V_a</math> (41.1 m/s)</b>															
Mascarilla de uso común	0.01	3.42	-0.98	0.34	2.17	0.01	6.12E-07	10.45	<b>5.34E-08</b>	2.144	0.01	3.42	3.52	<b>0.004</b>	2.17
Mascarilla normalizada	0.01	1.5	-1	0.33	2.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tafetán	-	-	-	-	-	0.01	9.40E-08	7.17	<b>3.20E-06</b>	2.13	-	-	-	-	-
<b><math>V_a</math> (0.18 m/s)</b>															
Mascarilla de uso común	14.1	0.015	2.44	0.07	2.77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b><math>V_a</math> (0.23 m/s)</b>															
Mascarilla de uso común	-	-	-	-	-	0.014	1.30E-07	-0.75	4.90E-01	2.77	-	-	-	-	-
<b><math>V_a</math> (0.33 m/s)</b>															
Mascarilla de uso común	0.01	1.00E-08	-1.30E+08	<b>9.03E-25</b>	3.18	0.01	1.00E-08	-15	<b>6.40E-04</b>	3.18	-	-	-	-	-
Tafetán	-	-	-	-	-	0.01	1.00E-08	-11	<b>1.60E-03</b>	3.18	-	-	-	-	-

\*El valor  $p$ , para la prueba puede definirse también como el valor más pequeño de  $\alpha$  por el cual la  $H_0$  se puede rechazar. Si el valor de  $p \leq \alpha$ , es posible rechazar la  $H_0$ ; si el valor  $p$  es  $>$  que  $\alpha$  no es posible rechazar la  $H_0$ .

Tabla 3. Prueba  $t$  para medias de concentración acumulada en  $\text{mg}/\text{m}^3$  de dos muestras emparejadas entre los tejidos tela no tejida de las mascarillas desechables de uso común y normalizada, los tejidos tipo tafetán y Jacquard, suponiendo variancias desiguales ( $\alpha \leq 0.05$ ) a diferentes condiciones de exposición (extremas y normales) y a diferentes  $V_a$ .

	Tafetán					Jacquard					Mascarilla normalizada				
	$\bar{X}$	$\sigma^2$	$t$	$p(T \leq t)$ *	Valor crítico de $t$	$\bar{X}$	$\sigma^2$	$t$	$p(T \leq t)$ *	Valor crítico de $t$	$\bar{X}$	$\sigma^2$	$t$	$p(T \leq t)$ *	Valor crítico de $t$
<b><math>V_a</math> (41.1 m/s)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Mascarilla de uso común</b>	3.8	1.8	7.89	<b>4.31E-06</b>	2.17	2.83	1.02E+00	4.69	<b>3.40E-04</b>	2.144	3.8	1.82	7.29	<b>9.51E-06</b>	2.17
<b>Mascarilla normalizada</b>	2.07	0.52	7.62	<b>5.60E-06</b>	2.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Tafetán</b>	0.15	0.02	1.58	0.18	2.77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b><math>V_a</math> (0.18 m/s)</b>															
<b>Mascarilla de uso común</b>	0.15	0.02	-1.5	0.18	2.77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b><math>V_a</math> (0.23 m/s)</b>															
<b>Mascarilla de uso común</b>	-	-	-	-	-	0.58	1.20E-01	1.13	3.20E-01	2.77	-	-	-	-	-
<b><math>V_a</math> (0.33 m/s)</b>															
<b>Mascarilla de uso común</b>	0.23	2.10E-01	1.00E+00	3.90E-01	3.18	0.07	2.00E-02	-2.2	1.10E-01	3.18	-	-	-	-	-
<b>Tafetán</b>	-	-	-	-	-	0.07	2.00E-02	-2.2	1.10E-01	3.18	-	-	-	-	-

\*El valor  $p$ , para la prueba puede definirse también como el valor más pequeño de  $\alpha$  por el cual la  $H_0$  se puede rechazar. Si el valor de  $p \leq \alpha$ , es posible rechazar la  $H_0$ ; si el valor  $p$  es  $>$  que  $\alpha$  no es posible rechazar la  $H_0$ .

## 9. DISTRIBUCIÓN NORMAL Y $d_{ea}$ DE LAS PARTÍCULAS POR SIMULACIÓN DE MONTE CARLO

En el capítulo anterior, se puso en manifiesto la calidad de los tejidos en cuanto a la retención de material particulado (serrín) en ambientes simulados en el laboratorio a diferentes velocidades de aire. En base a los resultados de la experimentación, se pretende comparar por medio de una simulación de Monte Carlo, la eficacia de las telas propuestas frente a las convencionales telas no tejidas de las mascarillas desechables en la retención de partículas  $<$  de  $20 \mu\text{m}$ , en lo que respecta a la protección respiratoria que puedan ejercer en los carpinteros.

### 9.1 SIMULACIÓN DE MONTE CARLO

Una simulación de Monte Carlo permite explorar un espacio de búsqueda de soluciones para obtener información del mismo. De forma simple, esta simulación realiza un número elevado de exploraciones del espacio, tabulando los resultados obtenidos de dichos sondeos. A partir de dichos resultados es posible obtener información sobre el espacio de soluciones. Por ejemplo, si se quiere determinar la probabilidad de lanzar una moneda al aire y que caiga mostrando "cruz", con la premisa de que su posición de partida en la mano sea "cara", la simulación de Monte Carlo exploraría el espacio de soluciones realizando el lanzamiento un número determinado de veces, partiendo de la posición "cara", y registrando el resultado. El cociente entre el número de veces que se obtiene una "cruz" y el número de lanzamientos proporciona la probabilidad de obtener "cruz" partiendo de "cara" (Shape *et al.*, 1995; Quenoville, 1991; Efron, 1979).

La simulación de Monte Carlo también fue creada para resolver integrales que no se pueden resolver por métodos analíticos; para solucionar estas integrales se usaban

números aleatorios. Posteriormente, se utilizó en cualquier esquema que emplee números aleatorios, usando variables aleatorias con distribuciones de probabilidad conocidas, para resolver ciertos problemas estocásticos y determinísticos, donde el tiempo no juega un papel importante (Universidad Nacional de Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2005).

## 9.2 MODELO DESARROLLADO

Se ha desarrollado un modelo matemático que nos permite conocer aproximadamente el número relativo de partículas que atravesarían un filtro (o que quedarían retenidas) bajo las siguientes hipótesis:

- Las partículas tienen tamaños diversos según una distribución gaussiana caracterizada por un diámetro aerodinámico medio ( $d_{eam}$ ) y una desviación estándar ( $\sigma$ ). De esta forma, todas las partículas tienen un tamaño comprendido entre estos límites:  $d_{eam} \pm f \cdot \sigma$ , siendo  $f$  un factor que depende del intervalo de confianza de la distribución.
- Cada partícula viene representada por una esfera de diámetro igual a su diámetro aerodinámico,  $d_{ea}$ . Su posición en el plano de referencia del filtro viene determinada por las coordenadas cartesianas  $X, Y$ .
- El flujo de partículas es perpendicular al filtro.
- La malla tejida de un filtro está representada por una capa de fibras entrecruzadas formando celdas cuadradas de un mismo tamaño de poro.
- La malla no tejida de un filtro está representada por 2 o más capas de mallas tejidas (es decir, con celdas cuadradas), dispuestas una sobre otra con orientación y desplazamiento aleatorios respecto a la primera capa. Cada capa puede tener distinto tamaño de poro, pero ese tamaño es uniforme en dicha capa.
- Las partículas se mueven de forma independiente, es decir, no existe interacción entre las partículas.
- Se considera que la partícula atraviesa el filtro si no intercepta ninguno de los cuatro lados de una celda de la malla del filtro. En caso contrario, quedará retenida por el filtro, pero su presencia no afectará a la retención de otras partículas.

Estas dos últimas hipótesis hacen que los resultados obtenidos sean conservadores, es decir, que la eficacia del filtro en realidad puede ser mayor que la obtenida por el modelo, por el efecto barrera que puede existir debido a la acumulación de partículas en el filtro.

En la Fig. 9.1 se representa un esquema de la disposición de una malla tejida y una malla tejida de 3 capas, según este modelo. La malla tejida se representa por una malla de 4 celdas cuadradas de tamaño normalizado de poro 0.5.

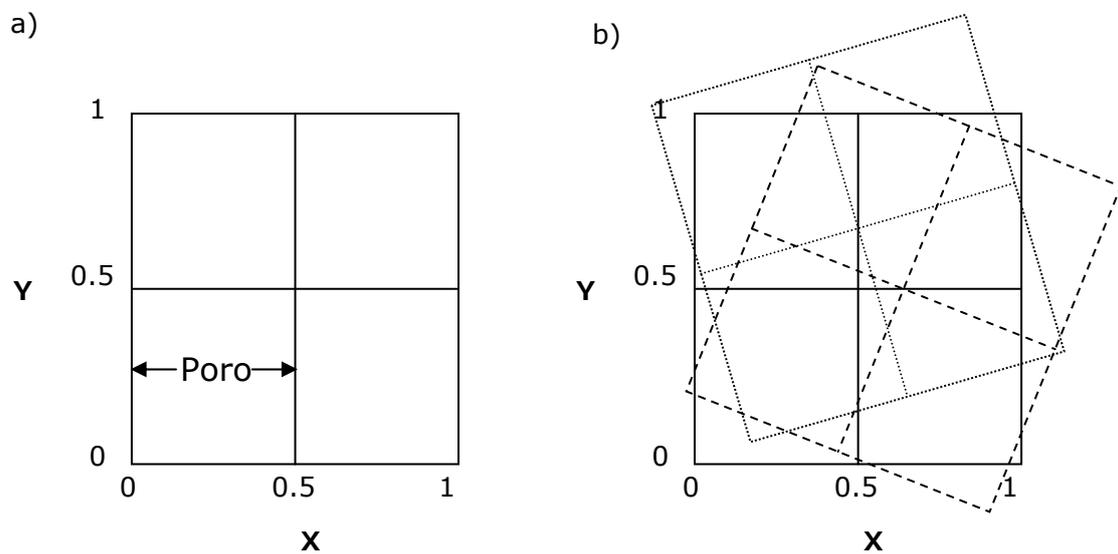


Fig. 9.1. Esquema de las mallas tejida (a) y no tejida (b) utilizadas en el modelo. En el caso de la malla tejida se considera sólo 1 capa. En el caso de la malla no tejida, se representan 3 capas

Este modelo se ha plasmado en forma de dos programas en lenguaje Fortran, uno para la tela tejida y otro para la tela no tejida, cuyos códigos fuente se encuentran en el anexo F. A continuación, se dan más detalles de dicho modelo.

- **Caso de malla tejida**

Las variables de entrada del programa son:

- Número total de partículas que impactarán contra el filtro.
- Distribución de tamaños de las partículas:

- diámetros mínimo y máximo en  $\mu\text{m}$ ,
- intervalo de confianza (95, 99, 99.7 ó 99.999%, a cuyos valores les corresponde un factor  $f$  de 1.96, 2.576, 2.97 ó 4.4, respectivamente).
- Tamaño del poro de la malla, en  $\mu\text{m}$ .

Ejemplo de datos:

- número de partículas = 275700
- diámetro mínimo de la partícula esférica = 32.93  $\mu\text{m}$
- diámetro máximo de la partícula esférica = 48.77  $\mu\text{m}$
- confianza = 99.7 %
- tamaño de poro de la malla = 5  $\mu\text{m}$

Si llamamos  $r$  al radio de una partícula que supondremos esférica, y  $p$  al tamaño del poro, el radio normalizado de la partícula, será:

$$r_{\text{nor}} = r / (2 \cdot p) \quad (9.1)$$

A continuación, se escoge aleatoriamente la posición (centro) de la partícula entre 0 y 1, en el plano de la tela:  $x, y \in [0,1]$ . Se tiene entonces:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Si } x \leq r_{\text{nor}} \quad \text{ó} \quad x \geq 1-r_{\text{nor}} \Rightarrow \text{NO PASA} \\ \text{Si } x \leq 0.5+r_{\text{nor}} \quad \text{ó} \quad x \geq 0.5-r_{\text{nor}} \Rightarrow \text{NO PASA} \\ \text{Si } y \leq r_{\text{nor}} \quad \text{ó} \quad y \geq 1-r_{\text{nor}} \Rightarrow \text{NO PASA} \\ \text{Si } y \leq 0.5+r_{\text{nor}} \quad \text{ó} \quad y \geq 0.5-r_{\text{nor}} \Rightarrow \text{NO PASA} \end{array} \right\} (9.2)$$

En todos los demás casos de  $x, y \Rightarrow$  PASA

Este proceso se repite para cada una de las partículas a simular.

Tanto para escoger el tamaño de la partícula como para el de la posición de la partícula en la malla, se ha empleado el generador de números aleatorios del compilador Fortran (función RAND), manteniendo en todas las simulaciones la misma semilla (ISEED):

$$d_{eam} = (d_{eamax} + d_{eamin}) / 2 \quad (9.3)$$

$$\sigma = (d_{eamax} - d_{eamin}) / (2 \cdot f) \quad (9.4)$$

$$r = (d_{eam} + \sigma \cdot Z) / 2 \quad (9.5)$$

siendo **Z** un número aleatorio comprendido entre -5.05 y +5.05, según la ley normal reducida, generado siguiendo la aproximación de Schmeiser <sup>1</sup>:

$$Z = (\text{RND}^{0.135} - (1-\text{RND})^{0.135}) / 0.1975 \quad (9.6)$$

donde RND es un número aleatorio comprendido entre 0 y 1, generado por la función RAND de Fortran.

Finalmente, el programa contabiliza el número de partículas que han pasado respecto al total, en forma de porcentaje:

$$E = 100 \cdot n_{pasan} / n_{total} \quad (9.7)$$

donde E es la eficacia del filtro,  $n_{pasan}$  es el número de partículas que lo atraviesan, y  $n_{total}$  es el número de partículas que se han ensayado.

### • Caso de malla no tejida

Las variables de entrada del programa son:

- Número total de partículas que impactarán contra el filtro
- Distribución de tamaños de las partículas:
  - diámetros mínimo y máximo, en  $\mu\text{m}$
  - intervalo de confianza
- Tamaño mínimo y máximo del poro de la malla, en  $\mu\text{m}$ .
- Número de capas (mallas tejidas)
- Número de casos de mallas no tejidas

---

<sup>1</sup> Tarifa, E.E. Teoría de Modelos y Simulación, <http://www.modeloingenieria.edu.ar/unj/tms/apuntes/cp3.pdf> Acceso Junio 2009.

Ejemplo de datos:

- número de partículas = 275700
- diámetro mínimo de la partícula esférica = 32.93  $\mu\text{m}$
- diámetro máximo de la partícula esférica = 48.77  $\mu\text{m}$
- confianza = 99.7 %
- tamaño de poro mínimo de la malla = 5  $\mu\text{m}$
- tamaño de poro máximo de la malla = 10  $\mu\text{m}$
- número de capas = 3
- número de casos de mallas no tejidas = 1000

El programa simula diversas combinaciones aleatorias de mallas no tejidas compuestas siempre por el número de capas que se le indica en los datos. El tamaño de la partícula, el tamaño del poro en cada capa, las orientaciones de las capas 2ª y siguientes, así como el desplazamiento relativo de cada capa respecto a la primera, son determinados de forma aleatoria entre los límites correspondientes.

Tal como en el caso de la malla tejida, se comienza escogiendo aleatoriamente la posición de una partícula en el plano de la primera capa. Si supera los tests (9.2) para esta capa, significa que puede pasar a la segunda capa.

La segunda capas y siguientes están giradas respecto a la primera según un ángulo  $\alpha$  escogido aleatoriamente entre 10 y 80°. Luego, se escoge aleatoriamente el sentido de giro ( $+\alpha$  ó  $-\alpha$ ). Asimismo, se selecciona aleatoriamente un desplazamiento normalizado de la capa respecto a la primera, de entre 0 y 0,5.

Respecto a la posición de la partícula  $(x,y)$ , es equivalente girar una capa un determinado ángulo que hacer girar la partícula el mismo ángulo en sentido contrario. Por lo tanto, las nuevas coordenadas de la partícula  $(x',y')$  respecto al plano de la capa, desplazada unas distancias  $\delta_x$  y  $\delta_y$ , según los ejes X,Y respectivamente, y girada un ángulo  $\alpha$ , son (ver Fig. 9.2):

$$x' = \cos(\alpha) (x+\delta_x) - \text{sen}(\alpha) (y+\delta_y) \quad (9.8)$$

$$y' = \text{sen}(\alpha) (x+\delta_x) + \cos(\alpha) (y+\delta_y) \quad (9.9)$$

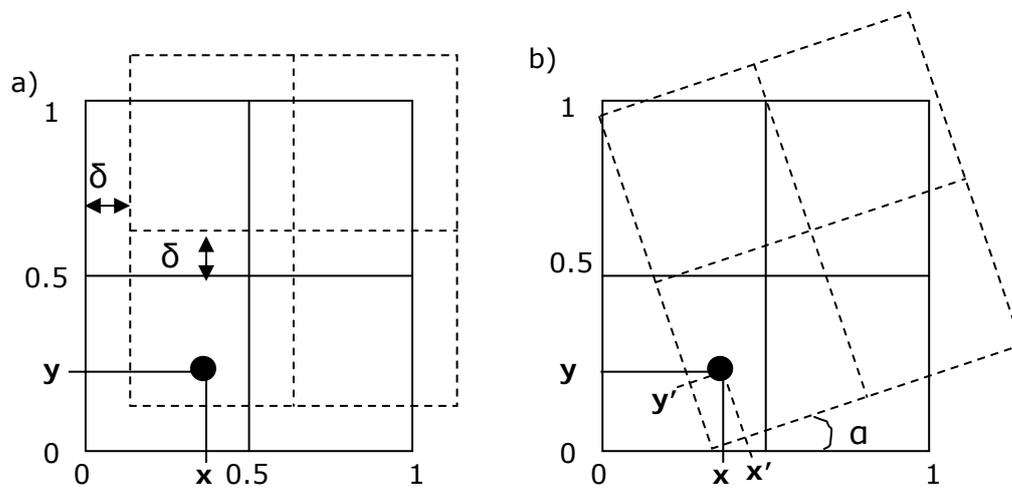


Fig. 9.2. Representación de una malla no tejida de dos capas indicando la posición  $(x, y)$  de una partícula respecto a la primera capa o  $(x', y')$  respecto a la segunda. La segunda capa aparece representada con línea discontinua y se desplaza respecto a la primera una distancia  $\delta_x$  y  $\delta_y$  (a) y luego se gira un ángulo  $\alpha$  (b). En este ejemplo la partícula atraviesa las dos capas

Una vez referida la posición de la partícula a las coordenadas del plano de la capa girada, se le aplica el mismo test (9.2) que para la capa primera.

Si la partícula logra pasar la capa, se repite el proceso para la siguiente capa, y así sucesivamente, hasta la última capa de la tela no tejida (ver anexo F2).

### 9.3 APLICACIÓN DEL MODELO

Para llevar a cabo la simulación de Monte Carlo, hemos tomado en cuenta los datos del apartado 7.3.2.1, las características de la distribución normal de las partículas,  $d_{ea}$ ; del capítulo 8 se tomaron los datos de los tejidos con mejores resultados en cuanto a la retención de partículas, y se utilizaron los dos programas en Fortran mencionados anteriormente, ejecutados desde la línea de comandos de Windows XP.

### 9.3.1 Distribución normal de las partículas del polvo de madera

La protección del trabajador a la exposición al polvo de madera ha sido nuestra gran preocupación, sobre todo de aquellas partículas con un  $d_{ea} < 50 \mu\text{m}$ , que afectan directamente el TR.

En la Fig. 9.1 se pueden observar las distribuciones normales que se han asumido para las partículas. Tres de las seis distribuciones están por debajo de  $20 \mu\text{m } d_{ea}$ . Las partículas que se simularon fueron de la muestra de la empresa 4 (275700 partículas, ver apartado 7.3.2.5), debido a que presentó mayor cantidad de partículas  $< 50 \mu\text{m}$ . En cada una de las distribuciones, se ha considerado un intervalo de confianza del 99.7% (ver anexo F).

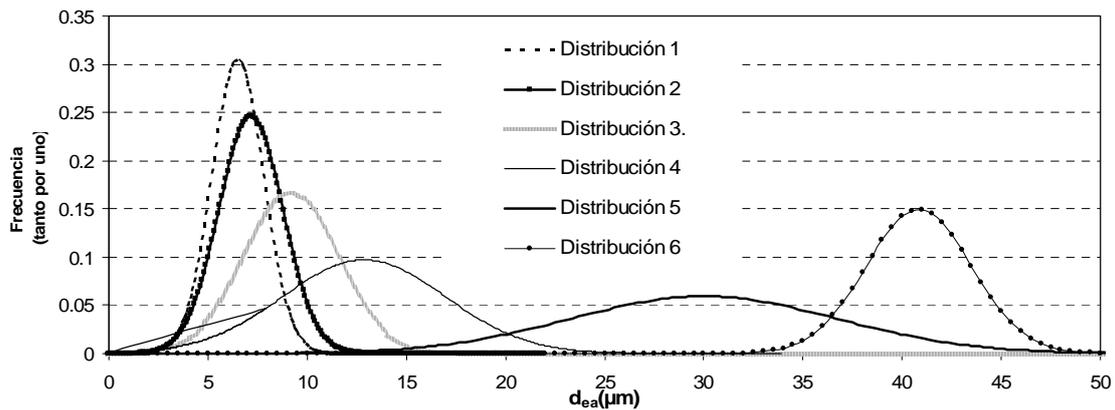


Fig. 9.1 Seis distribuciones normales con diferentes desviaciones estándares y diferentes medias de los tamaños de las partículas (intervalo de confianza del 99.7%)

### 9.3.2 Frecuencia acumulada de la distribución de las partículas del polvo de madera

En la Fig. 9.2 se representa la frecuencia acumulada de las seis distribuciones del tamaño de partícula. Se puede observar que tres de las seis distribuciones están por debajo de  $10 \mu\text{m } d_{ea}$ .

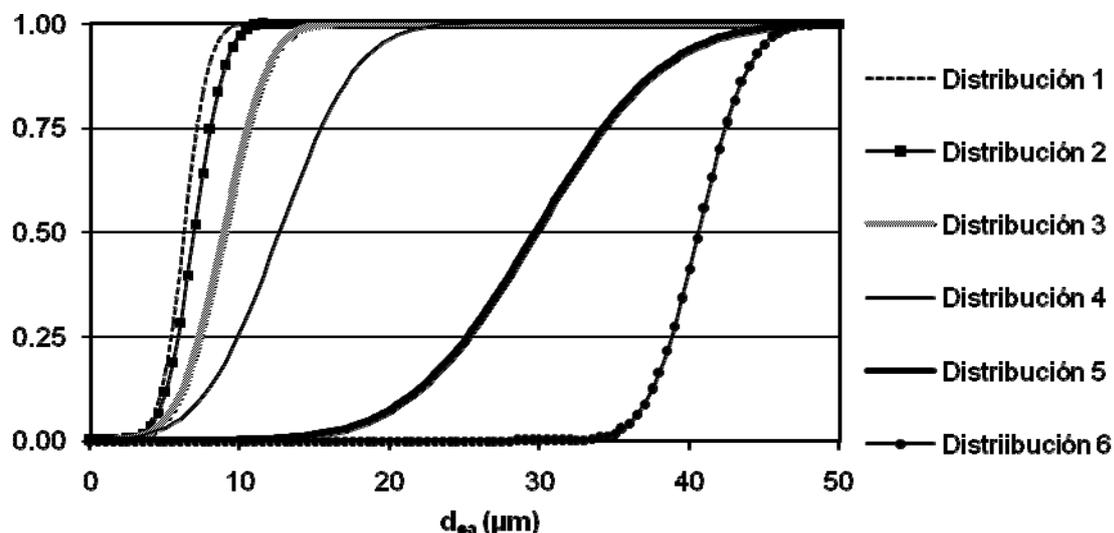


Fig. 9.2 Frecuencia acumulada de las seis distribuciones normales del tamaño de partícula con un intervalo de confianza del 99,7%

En la Tabla 9.1 se listan los resultados obtenidos mediante la simulación de Monte Carlo de las seis distribuciones de partículas. Para cada distribución, se contabiliza el porcentaje de partículas que han atravesado el filtro simulado. Por ejemplo, en la distribución 1, que tiene un diámetro medio de tamaño de poro de  $7.17 \mu\text{m}$ , el tejido de tipo tafetán ha dejado pasar un 0.97% de las partículas, es decir, que presenta una retención del 99.03% ( $= 100 - 0,97$ ).

Según la simulación de Monte Carlo, el tejido de tipo tafetán simulado parece ser más eficaz que la tela no tejida, ya que el tafetán con una sola capa, cubre mejor que una mascarilla desechable de 3 capas en la retención de partículas de  $< 20 \mu\text{m}$ .

Según los resultados obtenidos, la tela no tejida sólo es eficaz a partir de 4 capas en la retención de partículas de  $< 20 \mu\text{m}$ . Pero, recordemos que la tela no tejida comercial presenta sólo 3 capas. El tejido Jacquard no es nada eficaz en la retención de estas partículas de  $< 20 \mu\text{m}$ , por simulación de Monte Carlo.

Estos resultados pueden confirmarse los obtenidos experimentalmente en el Capítulo 8.

Tabla 9.1 Seis distribuciones de tamaño de partículas por simulación de Monte Carlo con diferente número de capas (intervalo de confianza de 99,7%). Se indican, para cada distribución, los porcentajes de partículas que atraviesan los poros del tejido.

Tejido	No. de capas	Tamaño de poro ( $\mu\text{m}$ )	Distribución	Distribución	Distribución	Distribución	Distribución	Distribución
			1	2	3	4	5	6
		Dmin ( $\mu\text{m}$ )	2.27	2.10	32.93	0.67	2.61	10.03
		Dmax ( $\mu\text{m}$ )	12.07	16.23	48.77	25.07	10.39	49.96
		Dmed ( $\mu\text{m}$ )	7.17	9.17	40.85	12.87	6.50	30
		$\sigma$ ( $\mu\text{m}$ )	1.62	2.38	2.67	4.11	1.31	6.73
<b>Jacquard</b>	<b>1</b>	<b>63</b>	<b>78.51</b>	<b>73.07</b>	<b>12.49</b>	<b>63.62</b>	<b>80.33</b>	<b>28.57</b>
<b>Tafetán</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>0.97</b>	<b>0.47</b>	<b>0.00</b>	<b>0.51</b>	<b>1.15</b>	<b>0.00</b>
<b>Tela no tejida</b>	<b>2</b>	<b>5-10</b>	<b>0.27</b>	<b>0.14</b>	<b>0.00</b>	<b>0.51</b>	<b>1.15</b>	<b>0.00</b>
<b>Tela no tejida</b>	<b>2</b>	<b>10-20</b>	<b>4.31</b>	<b>2.20</b>	<b>0.01</b>	<b>0.18</b>	<b>0.32</b>	<b>0.01</b>
<b>Tela no tejida</b>	<b>3</b>	<b>10-20</b>	<b>1.25</b>	<b>0.58</b>	<b>0.01</b>	<b>1.10</b>	<b>5.37</b>	<b>0.01</b>
<b>Tela no tejida</b>	<b>4</b>	<b>10-20</b>	<b>0.43</b>	<b>0.20</b>	<b>0.01</b>	<b>0.35</b>	<b>1.61</b>	<b>0.00</b>
<b>Tela no tejida</b>	<b>5</b>	<b>10-20</b>	<b>0.18</b>	<b>0.08</b>	<b>0.01</b>	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>	<b>0.00</b>
<b>Tela no tejida</b>	<b>6</b>	<b>10-20</b>	<b>0.08</b>	<b>0.04</b>	<b>0.01</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.00</b>
<b>Tela no tejida</b>	<b>7</b>	<b>10-20</b>	<b>0.04</b>	<b>0.02</b>	<b>0.01</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>0.00</b>
<b>Tela no tejida</b>	<b>8</b>	<b>10-20</b>	<b>0.02</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>0.00</b>
<b>Tela no tejida</b>	<b>9</b>	<b>10-20</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	<b>0.00</b>
<b>Tela no tejida</b>	<b>10</b>	<b>10-20</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>	<b>0.01</b>	<b>0.00</b>

## **10. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE CONTINUACIÓN**

### **10.1 CONCLUSIONES**

#### **10.1.1 Diagnóstico de las condiciones de trabajo y salud**

En el análisis de las condiciones de trabajo y salud de los carpinteros de 10 empresas del departamento del Quindío (Colombia), se constató una notable falta de estilos de vida saludables de los trabajadores, ya que persisten hábitos con serias repercusiones en las condiciones de salud y en el trabajo, como la ingesta de bebidas alcohólicas, consumo del tabaco y la escasa actividad física. Todo ello, unido a las condiciones ambientales existentes en sus áreas de trabajo, representa un importante factor de riesgo para eventos crónicos de salud, como la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). La escasa motivación existente en el grupo de trabajadores por mantener unas mínimas condiciones de seguridad, que aunque es un precepto constitucional (art. 49, Constitución Política de Colombia), requiere un importante grado de concienciación y sensibilización, expresado esto por la falta de elementos de protección personal, mantenimiento y cuidados.

#### **10.1.2 Análisis de datos de morbi-mortalidad laboral de los trabajadores por enfermedad o problema respiratorio**

La ausencia de fuentes fiables, directas o indirectas, de morbilidad y mortalidad por enfermedades laborales en el Quindío impide la utilización de indicadores específicos para la población trabajadora del sector maderero. Por ejemplo,

desconocemos la prevalencia de exposición a riesgos laborales en el Quindío, lo que imposibilita el cálculo de los correspondientes factores etiológicos para nuestra población. Sin embargo, consideramos que las diferentes aproximaciones utilizadas anteriormente son suficientemente válidas por varias razones, e incluso se puede considerar que, en general, los resultados obtenidos en este estudio son importantes.

En primer lugar, los estudios en los que hemos basado nuestros cálculos se han llevado a cabo para poblaciones de trabajadores razonablemente comparables entre carpinterías y ebanisterías de cualquier parte de la región e incluso del país. No cabe esperar que las condiciones de trabajo en el Quindío sean sustancialmente diferentes en los demás departamentos de Colombia que industrializan la madera; de hecho, los datos disponibles apuntan a que la situación sería similar o, en todo caso, incluso peor. Si nos basamos en un indicador de los efectos de las condiciones de trabajo relativamente universal y válido como son las enfermedades o problemas respiratorios, encontramos que, según datos del ISSQ se presentaron 212731 casos consultados por medicina general, de los cuales 25535 eran por infecciones agudas de las vías respiratorias. No disponemos de datos similares para el resto de la población de los otros departamentos, pero según los datos de esta investigación, la tasa de incidencia global de enfermedad o problema respiratorio (TIGEPR) es de 166 casos por cada 1000 trabajadores y la tasa de prevalencia global de enfermedad o problema respiratorio (TPGEPR) es de 248 casos por cada 1000 trabajadores, lo que afectaría a toda la población trabajadora del sector.

En segundo lugar, la investigación de este estudio utilizado señaló limitaciones en sus fuentes que llevarían a una infravaloración del problema en sus propios cálculos, las empresas no llevan registros de morbilidad relacionados con la exposición al polvo de madera, los únicos datos registrados son aquellos que por incapacidad médica son causados por accidente de trabajo o enfermedad común. Con los datos que pudimos recoger concluimos que el RR PG dió un resultado muy alto (81%), lo que nos confirma que la exposición continua al polvo de madera incide en la aparición de problemas o enfermedades respiratorias y por ende al absentismo laboral. Además, el 64.3% (RA% TTm) de los trabajadores de las empresas visitadas, se ausentan por causas de problemas o enfermedades respiratorias que puede ser atribuido a la exposición al polvo de madera frente al

resto de los demás trabajadores de la empresa, como los trabajadores administrativos o de ventas.

En tercer lugar, según los datos recogidos en el diagnóstico de la enfermedad profesional no hubo casos durante el período estudiado en el departamento del Quindío. Y no hubo casos de mortalidad laboral en este sector por problemas respiratorios.

Por todo lo anterior, se ha podido calcular el impacto de la morbilidad por enfermedades o problemas respiratorios de los carpinteros del Quindío de forma mucho más próxima a la realidad de la que se deriva de los escasos datos oficiales disponibles a nivel regional, ni a nivel nacional. Para conseguir cifras válidas sobre la prevalencia e incidencia de las enfermedades o problemas respiratorios en nuestro ámbito serían necesarios cambios radicales en los actuales sistemas de vigilancia de la salud de los trabajadores, información fiable sobre la prevalencia de las exposiciones laborales y más y mejores estudios epidemiológicos sobre las relaciones entre trabajo y salud en nuestra población. Mientras tanto, este estudio pone de manifiesto la urgente necesidad de poner en marcha medidas preventivas para proteger la salud de los miles de trabajadores quindianos que están expuestos a diario a riesgos evitables.

### **10.1.3 Sistema de muestreo y caracterización del polvo de madera**

El análisis de SEM/EDXRA contribuye a la investigación de la caracterización morfológica de las partículas del polvo de madera (formas, tamaños y  $d_{ea}$ ) que puedan llegar afectar la salud de los carpinteros del Quindío.

La diferencia entre las fibras de coníferas y no-coníferas no siempre es fácil. Las fibras alargadas acompañadas de poros corresponden a las fibras de coníferas. La mayoría de las fibras de no-coníferas son de paredes gruesas y cortas. Las partículas de la madera son de forma irregular y pueden ser clasificadas como no esféricas; la forma el poliformismo de la partícula hace que sea difícil centrarse en una sola característica. Estas características morfológicas de las fibras de las coníferas hace presumible que estas sean más agresivas en la deposición de los

tejidos blandos de la nariz y los pulmones que las fibras de no-coníferas, aunque cuyos efectos sean más letales en estas últimas. Sin embargo, la aparición del cáncer nasal y pulmón es más tardía, que los problemas respiratorios e irritaciones provocadas por las fibras de las coníferas, como el asma ocupacional y el EPOC. Un hecho igualmente grave en el acabado de madera es la presencia de compuestos químicos derivados de la pintura y barnices como Ca, K, Na y Cr, considerados en su mayoría peligrosos para la salud de los trabajadores.

La deposición de las partículas en el TR en relación con el valor promedio del  $d_{ea}$ , podría ocurrir en la zona superior afectando la nariz, la boca, nasofaringe, orofaringe, epiglotis y la laringe. No obstante, se detectaron partículas con  $d_{ea}$  por debajo de  $5 \mu\text{m}$ , que podrían afectar a la zona inferior del TR, siendo por lo tanto, un generador potencial de problemas o enfermedades pulmonares. La concentración del material particulado estaba por encima del TLV indicado para el polvo de madera (15 veces superior en la muestra 1 y 2 veces superior en la muestra 2), lo que confirma el escaso control del material particulado en el ambiente de trabajo, aumentando considerablemente las probabilidades de enfermar. Esto nos ha demostrado la deficiencia de los programas de vigilancia epidemiológica de material particulado de las empresas visitadas, agravando la problemática de la salud de los trabajadores, pues en estudios anteriores han señalado problemas de tos, ronquera, rinitis y gripes frecuentes, muy propias de la exposición al polvo de madera sin la debida protección respiratoria correspondiente.

#### **10.1.4 Eficacia en la retención de partículas del polvo de madera: trabajo experimental**

La comparación experimental entre telas comunes y de la tela no tejida de las mascarillas desechables, nos ha revelado que en condiciones extremas, las típicas mascarillas desechables de uso común, pierden su efecto protector al cabo de un par de horas de exposición, a pesar de tener hasta 3 capas o más. Este tejido es por lo tanto deficiente frente a estas condiciones laborales. En cambio, en condiciones normales o de baja producción, tanto las telas comunes como las no tejidas de las mascarillas desechables, logran el efecto protector. La tela tipo

tafetán parece tener un efecto protector eficaz tanto en condiciones normales como en condiciones extremas de exposición.

### **10.1.5 Distribución normal y $d_{ea}$ de las partículas por simulación de Monte Carlo**

Otra prueba que se ha realizado en esta Tesis para comprobar la eficacia de las telas comunes comparada a la de las telas no-tejidas, ha sido simular mediante simulación de Monte Carlo el filtrado de partículas asumiendo una distribución normal. Observamos que el tejido de tipo tafetán simulado parece ser más eficaz que la tela no tejida, ya que el tafetán con una sola capa, cubre mejor que una mascarilla desechable de 3 capas en la retención de partículas de  $< 20 \mu\text{m}$ .

Según los resultados obtenidos, la tela no tejida sólo es eficaz a partir de 4 capas en la retención de partículas de  $< 20 \mu\text{m}$ .

El tejido Jacquard ha resultado completamente ineficaz en la retención de dichas partículas. Estos resultados coinciden con los obtenidos experimentalmente.

## **10.2 PROPUESTAS DE CONTINUACIÓN**

Los resultados obtenidos del estudio de esta Tesis serán útiles para implementar estudios epidemiológicos relacionados con las exposiciones laborales y salud de los carpinteros expuestos al polvo de madera y así se podrán comparar con otros estudios realizados de prevención de riesgos de trabajadores expuestos a material particulado.

En esta Tesis se ha estudiado una serie de tejidos (Tafetán y Jacquard) de fibras sintéticas que a priori podían presentar una mejor retención de partículas  $< 20 \mu\text{m}$  con respecto a las telas no tejidas de las mascarillas desechables. Sería interesante probar otros tipos de tejidos, como por ejemplo, los formados por fibras sintéticas y algodón.

Por restricciones presupuestarias la experimentación en laboratorio ha sido limitada. Por lo tanto, habría que continuar con la experimentación de los tejidos, utilizando medios más sofisticados, como, por ejemplo, robots que imiten la respiración humana en condiciones reales de exposición al polvo (directamente en una carpintería).

Cabe también analizar otras formas de partícula diferentes a las investigadas en esta Tesis (cónica, esférica, cilíndrica y prisma rectangular) para profundizar en el conocimiento de:

- Muestreo específico de polvo de madera.
- El comportamiento de la partícula de acuerdo a la morfología en el tracto respiratorio humano.
- El diseño de tejidos de protección respiratoria específico para carpinteros.

Asimismo, hay ciertos trabajos que serían de gran importancia para mejorar las condiciones de trabajo y salud de los carpinteros, tales como:

- Implementar un sistema de vigilancia epidemiológica para carpinteros, a fin de poder detectar con más certeza las enfermedades respiratorias crónicas causadas por la exposición al polvo de madera.
- Elaborar estrategias metodológicas de proyección social que permitan sensibilizar y concienciar a empleadores y trabajadores, con respecto al autocuidado de estilos de vida saludables.
- La creación de redes nacionales e internacionales de investigación en la prevención de riesgos respiratorios por exposición al polvo de madera en los carpinteros.

## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ACGIH (1985), Particle Size Selective sampling in the Workplace, American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH), Cincinnati, Ohio.
- ACGIH (1997), Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agent, Biological Exposure Indices, American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH), Cincinnati, Ohio.
- ACGIH (2002), Threshold limit values and biological exposure indices, Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Cincinnati, Ohio, USA
- ACGIH (2008), TLV'S and BEL'S Thereshold Limit Values for Chemical Substances and Physcal agent, American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Worldwide. Cincinnati, Ohio, USA.
- Algaba-Joaquín,IM (2004) Protección ultravioleta proporcionada por los textiles: estudio de la influencia de las variables más significativas y aplicación de productos específicos para su mejora. Tesis Doctoral. Institut d'Investigació Tèxtil i Cooperació Industrial. Departament d'Enginyeria Tèxtil i Paperera. UPC.
- Alwis U, Mandryk J, Hocking AD, Lee J, Mayhew T and Baker W (1999), Dust exposures in the wood processing industry, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 60: 641-6.
- ARP ISS (2004), Estadísticas de eventos ocupacionales enero a septiembre de 2004, Administradora de Riesgos Profesionales del Instituto del Seguro Social (ARP ISS), Bogotá.
- ARP ISS (2003), Programa de la Accidentalidad, Vicepresidencia de Riesgos Laborales de la Administradora de Riesgos Profesionales del Instituto del Seguro Social (ARP ISS), Coordinación del Programa de Prevención de la Accidentalidad, Bogotá.
- ARP ISS (1997), Accidentalidad Laboral en los sectores de Metalmecánica y Maderero, Administradora de Riesgos Profesionales del Instituto del Seguro Social (ARP ISS), Bogotá.

- ARP ISS (1998), *Solventes Orgánicos*, Administradora de Riesgos Profesionales del Instituto del Seguro Social (ARP ISS), Bogotá.
- Astete Juárez Y, Niño de Guzmán O y Olivera-Mayo D (2005), *Detección clínico espirométrica de EPOC en carpinteros de Cusco*, (Hospital Antonio Lorena), Perú, *SITUA*, 13 (2).
- ASTM INTERNATIONAL (2004), *Standard Test Methods for Determining Average Grain Size*, ASTM E112-96 international, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, US.
- ATS (1996), *Respiratory Protection Guidelines*, Medical Section of the American Lung, Association American Thoracic Society (ATS), *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 154:1153-1165.
- Barcenas CH, Delclos GL, El-Zein R, Tortolero-Luna G, Whitehead LW and Spitz MR (2005), *Wood dust exposure and the association with lung cancer risk*, *Am. J. industrial Med.* 47:349-357.
- Becerril J (2004), *Enfermedades de productos químicos*. Consejo Colombiano de Seguridad. *Revista Protección y Seguridad*, Bogotá, Año 50 298:24-34.
- Bentley J y Turner GPA (1999), *Química y tecnología de pinturas y revestimientos*. 1<sup>ra</sup> Edición española. A. Madrid Vicente ediciones. Madrid. ISBN: 84-89922-11-X. pp. 109-274.
- Bird, N (1970), *El aumento del empleo del hilo texturado en urdimbre y trama*, *Modern Textiles Magazine*, 51(7):18-22
- Black N, Dilworth M and Summers N (2007), *Occupational Exposure to Wood Dust in the British Woodworking Industry in 1999/2000*, *Ann. Occup. Hyg.* 51(3):249-260
- Borau, D (2009), *¿Qué es el consentimiento informado?*, Fundación Espriu, *Compartir, Revista del cooperativismo sanitario*, Barcelona, 73:10-11
- Brosseau LM, Parker D, Lazovich D, Dugan S, Milton T and Pan W (2001), *Inhalable dust exposures, tasks, and use of ventilation in small woodworking shops: A pilot Study*. *J. Health & Medical Complete, AIHAJ*, 62 (3):322-329.
- Brosseau LM, Parker D, Lazovich D, Dugan S and Milton T (2002), *Designing intervention effectiveness studies for occupational health and safety: The Minnesota wood dust study*. *Am. J. Industrial Med.* 41:54-61.
- Bullock WH and Laird LT (1994), *A pilot study of the particle size distribution of dust in the paper and wood products industry*, American Industrial Hygiene Association *J. Health & Medical Complete*, 55:836

- Casal J, Lucas A and Arnaldo J (1985). *The Cemical Eng. J*, 30:155.
- CCA (2007), Estadísticas Registros mercantiles. Cámara de Comercio de Armenia (CCA), Armenia (Colombia).
- CCS (1995a), Epidemiología: Herramienta básica en los Programas de Salud Ocupacional, Consejo Colombiano de Seguridad (CCS), *Revista Salud Trabajo y Ambiente*, Bogotá, SSN 0121-9774, II Trimestre, 2(4).
- CCS (1995b), Epidemiología: Herramienta básica en los Programas de Salud Ocupacional, Consejo Colombiano de Seguridad (CCS), *Revista Salud Trabajo y Ambiente*, Bogotá, SSN 0121-9774, III Trimestre, 2(5).
- CCS (1997a), Indicadores de Gestión en Salud Ocupacional: Vigilancia Epidemiológica, Consejo Colombiano de Seguridad (CCS), *Revista Salud Trabajo y Ambiente*. ISSN 0121-9774. Bogotá, III trimestre, 4(13).
- CCS (1997b), Indicadores de Gestión en Salud Ocupacional: Vigilancia Epidemiológica, Consejo Colombiano de Seguridad (CCS), *Revista Salud Trabajo y Ambiente*, ISSN 0121-9774 Bogotá, 4(14).
- CCS (1998a), Sustancias Químicas Peligrosas, Consejo Colombiano de Seguridad (CCS), *Revista Salud, Trabajo y Ambiente* Bogotá, IV Trimestre, 5 (18).
- CCS (1998b), Neurotoxicidad por plaguicidas, Consejo Colombiano de Seguridad (CCS), *Revista Salud, Trabajo y Ambiente*, Bogotá, IV Trimestre, Vol. 5 (18).
- CCS (1998c), Responsabilidad Laboral y Civil en Accidentes de Trabajo y Enfermedad Profesional, Consejo Colombiano de Seguridad (CCS), *Revista Protección y Seguridad P&S*, Bogotá, ISSN 0120-5684. 44:261.
- CCS (2003), Contaminantes químicos, Consejo Colombiano de Seguridad (CCS), *Revista Salud, Trabajo y Ambiente* Bogotá, III Trimestre 10 (37).
- Cohen MD, Kargacin B, Klein C and Costa M (1993) Mechanisms of Chromium carcinogenicity and toxicity, *Crit. Reviews Tox.* 23(3):255-281
- Davies HW, Teschke K and Demers PA (1999), A field comparison of inhalable and thoracic size selective sampling techniques, *Ann. Occup. Hyg.* 43 (6):381-392.
- Deckers P, Cohen B, Butala JH and Gordon T (2002), Exposure to wood dust and heavy metals in workers using CCA presure treated wood, Dpto. Of Environmental Medicine NY, University School of Medicine, 57 Old, *Health&Medical Complete*, 63:166-167.

- Edman K, Löfstedt H, Berg P, Eriksson K, Axelsson S, Bryngelsson I and Fedeli C (2003), Exposure Assessment to  $\alpha$ - and  $\beta$ -Pinene,  $\Delta^3$ -Carene and Wood Dust in Industrial Production of Wood Pellets, *Ann. occup. Hyg.* 47(3):219-226.
- Efron B (1979), Bootstrap methods, another look at the jackknife, *The Ann. Stat.* 7: 1-26.
- Estrada MJ (1995), Panorama de Factores de Riesgos, Administradora de Riesgos Profesionales del Seguro Social de Medellín-Colombia.
- Eyssautier De La Mora M (2002), Metodología de la Investigación: Desarrollo de la Inteligencia, México, 4 ed.: ECAFA. p. 217.
- Friesen MC, Davies HW, Teschke K, Marion S and Demers PA (2005), Predicting Historical dust and wood dust exposure in sawmills model development and validation, *J. Occup. Environ. Hyg.* 2(12):650.
- Fundecomercio (1998), Fundación centro para el desarrollo tecnológico del comercio y servicios. Bogotá.
- Galceran, VE (1958) Influencia de la estructura del hilo y del tejido sobre su rigidez de flexión. Ediciones UPC. ISSN. 1131-6756. Boletín INTEXTER (U.P.C.) Nº. 3 P16-24.
- Gacén GJ (1991), Fibras textiles, Propiedades y descripción. Universitat Politècnica de Catalunya ETSIIT (UPC), ISBN 84-7653099-4, Barcelona.
- Gobernación del Quindío, (2006), Datos generales del departamento, Secretaria de Cultura y Turismo.
- Gómez-Yepes ME, Sánchez-López JF, Villamizar RH, Pioquinto JF, Torres P, Sánchez D, Camargo LM, Castañeda RA, Cardona AM y Cremades LV (2008), Diagnostico situacional de las condiciones de trabajo de los trabajadores de ebanisterías y carpinterías del municipio de Armenia, *Rev. Invest. Univ. Quindío* (20): 224-230, Armenia – Colombia.
- Gómez-Yepes ME, Sánchez-López JF, Villamizar RH, Pioquinto JF, Torres P, Sánchez D, Camargo LM, Castañeda RA, Cardona AM and Cremades LV (2010) Health and working conditions in carpenter's workshops in Armenia (Colombia), *J. Industrial Health* Vol. 48 (2): 222-230.
- Greene, RE and Williams, PL, (1996), Indoor air quality investigation protocols, *J. Environ. Health, Health & Medical Complete* pg. 6; Oct. 59, 3.
- Hall A, Teschke K, Davies H, Demers P and Marion S (2002), Exposure Levels and Determinants of Softwood Dust Exposures in BC Lumber Mills, 1981-1997, *Am. Industrial Hyg. Ass. J.*, 63(6):709-714.

- Hamill A, Ingle J, Searle S, Williams K (1991), Levels of exposure to wood dust. *Ann Occup. Hyg.* Vol 35 (4):397-403.
- Harper M, Muller BS and Bartolucci AI (2002a), Determining particle size distributions in the inhalable size range for Wood dust collected by air samplers, *J. Environ. Monit* 4:642-647.
- Harper, M and Muller, BS (2002b), An evaluation of total and inhalable samplers for the collection of wood dust in three wood products industries, *J. Environ. Monit.*, 4, 648-656.
- Harper M, Akbar MZ and Andrew ME (2004), Comparison of wood dust aerosol size distributions collected by air samplers, *J. Environ. Monit.* 6:18-22.
- Hildesheim A, Dosemeci M, Chan CC, Chen CJ, Cheng YJ, Chen IH, Mittl BF, Sun B, Levine PH, Chen JY, Brinton LA and Yang CS (2001), Occupational exposure to wood, formaldehyde and solvents and risk of nasopharyngeal carcinoma, *Cancer Epidemiology Biomarkers&Prevention*, 10:1145-1153.
- Hoces de la Guardia, Ch. S., Brugnoli, B. P. y Sinclair, A. C. (2006), Awakhuni: Tejiendo la Historia Andina, glosario textil. Ley de Donaciones Culturales Registro de Propiedad Intelectual: 158160 I.S.B.N. 956 - 243 - 053 - 7 Santiago de Chile.
- HSE (1997), Toxic woods, HSE information sheet, Woodworking Sheet No. 30, October, London
- IARC (1995), Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Vol 62, Wood dust and formaldehyde. Lyon: International Agency Research of Cancer (IARC).
- Jones PA and Smith LC (1986), Personal exposure to wood dust of woodworkers in the furniture industry in the High Wycombe area: a statistical comparison of 1983 and 1976/77 survey results, *Ann. Occup. Hyg.* 30:171-84.
- Kauppinen T, Vincent R, Liukkonen T, Grzebyk M, Kauppinen A, Welling I, Arezes P, Black N, Bochmann F, Campelo F, Costa M, Elsigan G, Goerens R, Kikemenis A, Kromhout H, Miguel S, Mirabelli D, Mceneany R, Pesch B, Plato N, Schlüssen V, Schulze J, Sonntag R, Verougstraete V, De Vicente MA, Wolf J, Zimmermann M, Husgafvel-Pursiainen K and Savolainen K (2006), Occupational exposure to inhalable wood dust in the member States of the European Union, *Annal of Occupational Hygiene*, 50(6):549-561.
- Klaassen Cd, Amdur Mo and Doull J (1986), Casarett and Doull's Toxicology - The Basic Science of Poisons, 3 Ed. New York, McGraw Hill, p. 343.

- Lazovich D, Murray DM, Brosseau LM, Parker DL, Milton FT and Dugan SK (2002 a), Sample size considerations for studies of intervention effectiveness in the occupational setting. *Ann Occup Hyg*; 46:219–227.
- Lazovich D, Murray DM, Brosseau LM, Parker DL, Milton FT and Dugan SK (2002b), Effectiveness of a Worksite Intervention to Reduce an Occupational Exposure: The Minnesota Wood Dust Study, *American Journal of Public Health*, 92 (9):1498-1505.
- Lidén G and Harper M (2006), Analytical Performance Criteria, The Need for an International Sampling Convention for inhalable Dust in Calm Air, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 3: D94–D101.
- Londoño J (1996), Higiene III, Factores de Riesgo Químico. Facultad de educación Abierta y a Distancia, Programa de Salud Ocupacional, Universidad del Quindío, Armenia (Colombia).
- Lucas-Ramos P, Izquierdo-Alonso JL, Rodríguez-González JM, Bellón-Cano JM, Ancochea-Bermúdez J, Calle-Rubio Myriam, Calvo-Corbella E, Molina-París J, Pérez-Rodríguez E y Pons S (2008), Asociación de factores de riesgo cardiovascular y EPOC. Resultados de un estudio epidemiológico (estudio ARCE), *Arch Bronconeumol*, 238(5):233-8.
- Lundqvist SO (2002), Efficient Word and fiber characterization. A key factor in research and operation, *Ann. For. Sci.* 59: 491-501.
- Magnavita N, Sacco A, Bevilacqua L, D'Alessandris T and Bosman C (2003), Aesthesioneuroblastoma in a woodworker, *Occupational Medicine, Health & Medical Complete*, 53, 3: 231.
- Määttä J, Majuri ML, Luukkonen R, Lauerma A, Husgafvel-Pursiainen K, Alenius H and Savolainen K (2005), Characterization of oak and birch dust-induced expression of cytokines and chemokines in mouse macrophage RAW 264.7 cells, *Toxicology*, 215:25-36.
- Määttä J, Lehto M, Leino M, Tillander S, Haapakoski R, Majuri ML, Wolf H, Rautio S, Welling I, Husgafvel K, Savolainen K and Alenius H (2006), Mechanisms of particle- induced pulmonary inflammation in a mouse model: exposure to wood dust, *ToxSci. Advance Access Published*, June 1.
- McCrone D (1973), The Particle Atlas. 2ª Edición, Enciclopedia de técnicas para la identificación de pequeñas partículas, McCrone Research Institute, US Vol I-VI, p 1600.

- Malkin R, Lentz TJ, Topmiller J, Hudock SD and Niemeier RW (2006), The characterization of airborne occupational safety and health hazards in select small businesses; manufacturing wood pallets, *Journal Industrial Health* 44:58-63.
- Mañosa, FM (2008) Relación entre las densidades de urdimbre y trama y su influencia en el aspecto superficial de los tejidos con ligamentos de relieve. "Boletín INTEXTER", 2008, núm. 133, p. 55-61.
- Mikkelsen AB, Schlünssen V, Sgsgaard T and Schaumburg I (2002), Determinants of wood dust exposure in the Danish furniture industry, *Ann. Occup. Hyg.* 46 (8):673-685
- MPSC (1979), Resolución 2400 de 1979 Normas sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo, Ministerio de protección Social de Colombia (MPSC), Bogota.
- MPSC (1989), Resolución 1016 de 1989, por medio de la cual..., Ministerio de Protección Social de Colombia (MPSC).
- MPSC, (1994), Decreto Ley 1295 de 1994, Por el cual se determina la organización y administración del Sistema General de Riesgos Profesionales, Ministerio de Protección Social de Colombia (MPSC), Bogotá.
- MPSC (2002a). Normas Técnicas de Higiene, Reglamento Técnico de Muestreo de sustancias químicas, Ministerio de la Protección Social de Colombia (MPSC), Bogotá.
- MPSC (2002b), Normas Técnicas de Higiene, Reglamento técnico colombiano para evaluación y control de iluminación y brillo en los centros y puestos de trabajo, Ministerio de Protección Social de Colombia (MPSC), Bogotá.
- MPSC, (2002c), Normas Técnicas de Higiene, Reglamento técnico Colombiano para ruido en ambientes de trabajo, Ministerio de Protección Social de Colombia (MPSC), Bogotá.
- MPSC (2004), Estadísticas 2003 a junio de 2004. Sistema General de Riesgos Profesionales, Dirección General de Salud Ocupacional y Riesgos Profesionales. Consejo Colombiano de Seguridad. Revista Protección y Seguridad, Ministerio de la Protección Social de Colombia (MPSC), Bogotá, Año 50 (298).
- MPSC (2005), Diagnóstico actual y prospectivo de la salud ocupacional y los riesgos profesionales en Colombia con enfoques de entornos, SENA y MPSC,

- Ministerio de Protección Social de Colombia (MPSC), ISBN: 958-97494-7-X. Bogotá (Colombia).
- MPSC (2006), Guía de atención integral basada en la evidencia para neumoconiosis (silicosis neumoconiosis del minero de carbón y asbestosis), Ministerio de Protección Social de Colombia (MPSC).
- MPSC (2007), Guía de Atención Integral de Salud Ocupacional Basada en la Evidencia para Asma Ocupacional (GATISO-ASMA), Ministerio de Protección Social de Colombia (MPSC).
- Mutua Navarra (2004), Ficha Técnica de higiene I, El polvo de Madera dura es Carcinogeno. Dpto de Prevención. Navarra. España.
- MVSA (2002), Procesos de la Fabricación de la Madera, División de productos para la protección respiratoria, auditiva y ambiental de 3M Manufactura Venezolana SA (MVSA), Caracas.
- Naik A y López-Amo (1984) Tejidos de muy alta densidad por contracción posterior al tisaje. Bol. INTEXTAR, Nº 85.
- NTC-GTC-45 (1997), Guía para el Diagnóstico de las condiciones de trabajo y/o panorama de factores de riesgo, GTC-45, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), Normas Técnicas de Colombia NTC, 1997.
- NORMAS ICONTEC. 3701 (1995). Higiene y Seguridad, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) Santa Fe de Bogotá.
- NORMAS ICONTEC. 4116 (1997), Seguridad Industrial. Metodología para el análisis de tareas, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) Santa Fe de Bogotá.
- NORMAS ICONTEC 4114 (1997). Seguridad Industrial. Realización de Inspecciones Planeadas, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Santa Fe de Bogotá.
- NIOSH (1994), Particulates not otherwise regulated, respirable, Manual of Analytical Methods 0600 Fourth edition, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), US.
- NIOSH (1994), Particulates not otherwise regulated, total, Manual of Analytical Methods 0500 Fourth edition, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), US.
- NIOSH-DOD-OSHA SPONSORED (2000), Chemical and Biological Respiratory Protection Workshop Report, U.S. Department Of Health And Human Services Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National

- Institute for Occupational Safety and Health, February, Publication No. 2000-122.
- NTC 3701 (1995), Registro y Estadística de Accidente de Trabajo y Enfermedad Profesional, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (INCONTEC).
- OIT (2002). XVI en el XVI Congreso Mundial sobre Seguridad y Salud en el Trabajo, Organización Internacional del Trabajo (OIT), Viena. Austria.
- OIT (2003), 91ª Sesión de la Conferencia Internacional del Trabajo, Organización Internacional del Trabajo (OI), Ginebra.
- OMS (1989), Epidemiología de las enfermedades y accidentes relacionados con el trabajo, Décimo informe del Comité Mixto OIT/OMS sobre Higiene del Trabajo, Organización Mundial de la Salud (OMS), ISBN 0509-2507, Ginebra.
- OSHA (1989), Wood dust, Comments from the January 19.Final Rule on Air Contaminants Project extracted from 54FR2332 ET. Seq. This rule was remanded by the U.S. Circuit Court of Appeals and the limits are not currently in force, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), CAS: None; Chemical Formula: None. USA.
- OSHA (1996), Department's respiratory protection program as required by the Cal-OSHA, General Industry Safety Orders (GISO), Section 5144, Respiratory Protection Equipment.
- OSHA (1998), Respiratory protection: Regulation 29 CFR 1910.134.
- Parés F, Comas R y Capdevila X (2005) Influencia de los parámetros de diseño y proceso sobre el ancho y la resistencia de la estructura tejida. Boletín INTEXTER (U.P.C.) Nº. 128
- Parra M (2003), Conceptos básicos en salud laboral, Oficina Internacional del Trabajo, Santiago (Chile). 2003. ISBN92-314230-X.
- Piédrola-Gil G, Gálvez-Vargas R y Domínguez-Rojas V (2003), Medicina preventiva y salud pública, 10ª ed., reimp, Barcelona, Masson, D.L, XLI, 1264 p. ISBN 84-458-1024-3.Rengliang Xu (2002). Particle Characterization: Light scattering methods. *Kluwer Academic Publishers*. ISBN: 0-306-47124-8, US. P. 391.
- Quenoville M (1991), Approximation test of correlation in time series, *Journal of the Royal Statistical*, 5: 183-205

- Reina-Hernández J (1999), Estudio Cinético e hidrodinámico de la pirolisis de maderas residuales para su gasificación en reactor de lecho fluidizado, Tesis Doctoral, UPC.
- Rodríguez-Moroto, JJ (2003), Diseño, validación y aplicación de un sistema integrado de caracterización de partículas de aerosol, Tesis, Universidad Complutense de Madrid, Facultad de CC de Química, ISBN: 84-669-1844-2.
- Sass-Kortsak AM, Holness DL, Pilger CW and Nethercott J R (1986), Wood dust and formaldehyde exposures in the cabinet making industry, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 47 (12):747-53.
- Shape JB, Dunn IJ, Ingham J and Prenosil JE (1995), Dynamics of environmental Bioprocess, Wiley-VCH, Har/Dsk edition, P. 496
- Schlünssen V, Vinzents PS, Mikkelsen AB, Schaumburg I (2001), Wood dust exposure in the Danish furniture industry using conventional and passive monitors, *Ann. Occup. Hyg.* 45: 157-64.
- Spee T, Van de Rijdt-Van Hoof E, Van Hoof W, Noy D and Kromhout H (2007), Exposure to wood dust among carpenters in the construction industry in the Netherlands, *Annals of Occupational Hygiene*, 51 (3):241-248.
- Teschke K, Marion SA and Vaughan TL (1999a), Exposure to wood dust in U.S. industries and occupations, 1979 to 1997, *Am. J. Ind. Med.* 35: 581-9.
- Teschke K, Demers PA, Davies HW, Kennedy SM, Marion SA and Leung V (1999b) Determinants of Exposure to Inhalable Particulate, Wood Dust, Resin Acids, and Monoterpenes in a Lumber Mill Environment, *Ann. occup. Hyg.*, 43 (4):247-255.
- Universidad del Quindío (2005), Proyección social y formación investigativa del programa de Salud Ocupacional. Facultad Ciencias de la Salud, Armenia (Colombia).
- Universidad del Quindío (2006), Reporte técnico de historias clínicas ocupacionales de las empresas madereras de Armenia, Sánchez-López, JF, Ph en Medicina Preventiva y del trabajo, Profesor del programa de Medicina, Fuente de registro Programa de Salud Ocupacional, Facultad Ciencias de la Salud, Universidad del Quindío, Armenia, (Colombia).
- Universidad del Quindío (2008), Registro de datos de las encuestas de morbi mortalidad de las empresas madereras de Armenia, Fuente de registro Programa de Salud Ocupacional, Facultad Ciencias de la Salud, Universidad del Quindío, Armenia, (Colombia).

Universidad Nacional de Centro de la Provincia de Buenos Aires (2005), Simulación de Monte Carlo, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Centro de la Provincia de Buenos Aires.

Vaughan TL, Stewart PA, Teschke K, Lynch CF, Swanson GM, Lyon JL and Berwick M (2000), Occupational exposure to formaldehyde and wood dust and nasopharyngeal carcinoma. *Occup. Environ. Med.* (57):376-384.

Winchester SC Y Whitwell JC (1970), Estudio de las telas no tejidas. Método de aproximación a multiparámetros, *Textile Research Journal*, mayo, 5:458-572.

Wonnacott THW and Wonnacott RJW (1997), Introducción a la estadística, Limusa Noriega Editores, II ed., México, ISBN 968-18-4509-9, Pag. 784.

### **Paginas WEB de consulta**

ISSQ (2009), Estadísticas de la población quindiana (Colombia), Instituto Seccional de Salud del Quindío (ISSQ), Acceso Febrero de 2009.

<http://www.issq.gov.co/generica2.php?tipo=estadisticas&tipo2=Población>,

DANE (2009), Estadísticas de la población colombiana, Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE),

Faulin J y Angel J. (2009) Simulación de Montecarlo con Excel. Acceso Junio de 2009. [http://www.abcbolsa.com/monte\\_carlo\\_con\\_excel.htm](http://www.abcbolsa.com/monte_carlo_con_excel.htm).

MPSC (2009), Estadísticas del Sistema General de Riesgos Profesionales, Ministerio de Protección Social de Colombia (MPSC),

<http://www.minproteccionsocial.gov.co/VBeContent/home.asp>, Acceso febrero de 2009.

RAE (2009), Diccionario de la Real Academia Española. <http://www.rae.es/rae.html> Acceso Enero de 2009.



## **ANEXOS**



## ANEXO A

### CORRESPONDENCIA ELECTRÓNICA

#### A.1 CORRESPONDENCIA ELECTRÓNICA EL INSTITUTO COLOMBIANO PARA EL DESARROLLO DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA “FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS” (COLCIENCIAS).

De	Contacto@colciencias.gov.co Enviado por
sentdate	Lunes, Abril 2, 2007 7:52 am
Para	milenagomez@uniquindio.edu.co
Asunto	Usted tiene respuesta de Colciencias a la solicitud electrónica No 3704

Usted tiene respuesta a la solicitud de información vía web (No. 3704) hecha a Colciencias. Por favor visite el portal de Colciencias [www.colciencias.gov.co](http://www.colciencias.gov.co) regístrese con su usuario y contraseña. Seleccione en la caja superior izquierda la opción solicitudes de información entre las opciones disponibles (<http://mail.google.com/a/uniquindio.edu.co/#starred/111b0d990ac740d1>).

Para acceder a nuestro sitio haga clic aquí: <http://www.colciencias.gov.c>

Bienvenido: <b>MILENA ELIZABETH GÓMEZ</b>		<b>Mar. 19 Feb/2008</b>
Datos solicitud		
<b>Código del caso</b>	3863	
<b>Código de la solicitud</b>	3704	
<b>Tipo de solicitud</b>	CVLAC	
<b>Estado de la solicitud</b>	Cerrada	
<b>Fecha de la solicitud</b>	20-Febrero-2007	
<b>Hora de la solicitud</b>	13:17:14	

<b>Asunto</b>	Riesgos Químicos
<b>Detalles de la solicitud</b>	Uno de los grandes problemas que afrontan muchos trabajadores en Colombia es de Riesgos Químicos en especial Plaguicidas, Material particulado y/o manipulación de productos químicos peligrosos. Mi inquietud como docente es la de investigar la calidad del aire en ambientes laborales, cuando existen metodologías que lo hacen pero el riesgo es latente y será inquietud en seminarios y congresos. existe actualmente proyectos de investigación con respecto a Riesgos Químicos? en Colombia y han servido de algo en la mejora de la calidad de vida de los trabajadores expuestos y en la economía del país. Me gustaría conocerlos para plantear nuevos proyectos de este tipo. Muchas gracias. Milena.
<b>Dependencia</b>	Programa Nacional de Ciencia y Tecnología de la Salud
<b>Tiempo transcurrido en trámite</b>	29 días
<b>Respuestas a solicitud</b>	
<b>Fecha</b>	
<b>respuesta</b>	2-Abril-2007
<b>Respuesta</b>	<p>Apreciada Dra. Milena Elizabeth</p> <p>Realmente son pocos los proyectos en este tema que se presentan al Programa de Salud de Colciencias para obtener financiación. Se han apoyado dos en Bogotá (uno en exposición a Glifosato y otro en Calidad de aire relacionado con el transporte masivo) y uno en Cali (impacto de relleno sanitario en el medio ambiente). No tenemos más registrados en esa línea. De otro lado, le informo que el Ministerio de la Protección Social dispone de recursos exclusivamente para riesgos laborales en cuyas actividades se incluyen investigaciones tendientes a contribuir con la formación de política pública al respecto. La invito a visitar la página web: <a href="http://www.minproteccionsocial.gov.co">www.minproteccionsocial.gov.co</a></p> <p>Reciba un cordial saludo</p> <p>Martha Janeth Mojica M. MSc Asesora Programa Nacional de Ciencia y Tecnología de la Salud</p>
<b>Dependencia</b>	Programa Nacional de Ciencia y Tecnología de la Salud

## A.2 CORRESPONDENCIA ELECTRÓNICA DEL MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL

De	Maria Eugenia Rodriguez B <merodriguez@minproteccionsocial.gov.co> Enviado por
sentdate	Jueves, Octubre 4, 2007 6:12 pm
Para	Ana María Cabrera Videla <amcabrera@minproteccionsocial.gov.co>
Cc	milenagomez@uniquindio.edu.co
Asunto	RE: Nuevo contacto desde www.minproteccionsocial.gov.co

Bogotá, D.C., Octubre 04 de 2007

Doctora

ANA MARIA CABRERA VIDELA

Directora General de Riesgos Profesionales

PBX 3305000 EXT. 1400/1.

Ministerio de la Protección Social

Ciudad

Asunto: Remisión Correo Electrónico

Respetado(a)

doctor(a):

De conformidad con lo previsto en los artículos 32 y 33 del Código Contencioso Administrativo y debido a que el motivo de la solicitud y/o consulta se refiere a asuntos de su competencia, remito a usted el correo electrónico radicado bajo el número 228237.

(<http://mail.google.com/a/uniquindio.edu.co/#label/Migrated/1156bca76a6c1e2e>)

Atentamente,

MARIA EUGENIA RODRIGUEZ BUELVAS

Grupo de Atención al Usuario

Copia Usuario

-----Mensaje original-----

De: Contáctenos :: Ministerio de la Protección Social

[mailto:atencionalciudadano@minproteccionsocial.gov.co]

Enviado el: Martes, 02 de Octubre de 2007 09:47 a.m.

Para: atencionalciudadano

Asunto: Nuevo contacto desde www.minproteccionsocial.gov.co

Ministerio de la Protección Social

Ha sido enviada la siguiente información de contacto desde el sitio [www.minproteccionsocial.gov.co](http://www.minproteccionsocial.gov.co)

- Nombre: Milena Elizabeth Gómez Yepes
- E-Mail: milenagomez@uniquindio.edu.co

- Compañía: Universidad del Quindío-UPC
- Teléfono: +0034638543003
- Fax: +0034933340255
- Ciudad: Barcelona-España

Comentarios: Respetados señores Min protección: solicito comedidamente información sobre la incidencia de enfermedades respiratorias en la población económicamente activa en especial a trabajadores del sector maderero, dicha información es necesaria para la investigación del cancer nasal generado por el polvo de madera, y el departamento del Quindío tiene entre su economía la fabricación de muebles y no tenemos un sistema de vigilancia epidemiológica para determinar los problemas respiratorios en el sector.

Agradeciendo la valiosa colaboración al respecto

Milena Elizabeth Gómez Yepes  
Docente Salud Ocupacional de la Uniquindio  
Doctoranda de la UPC de Barcelona

----- Mensaje reenviado -----

From: Miguel Angel Amaya Peñuela. [mamaya@minproteccionsocial.gov.co](mailto:mamaya@minproteccionsocial.gov.co)  
To: [milenagomez@uniquindio.edu.co](mailto:milenagomez@uniquindio.edu.co)  
Date: Tue, 09 Oct 2007 16:07:15 -0500  
Subject: Solicitud de Información - Sector Maderero  
Señora  
MILENA ELIZABETH GÓMEZ YEPES  
Universidad del Quindío  
Cordial Saludo.

En respuesta a su solicitud vía correo electrónico con Rad.228237 del 4 de octubre de los corrientes, consideramos pertinente hacerle las siguientes aclaraciones:

\* Le informamos que este sistema solo empezó a cargar a partir de septiembre de 2005 y los reportes que existen están por Actividad Económica y no por Sector Económico como usted lo solicita.

\* La información no está disponible al 100% de casos ocurridos, debido a que el sistema está en proceso de implementación y hay entidades reportantes que no han remitido la información por problemas técnicos y en otros casos la información ha cargado parcialmente por problemas de estructura.

Teniendo en cuenta las aclaraciones anteriores, le remitimos en el archivo adjunto la información encontrada en nuestro sistema para el año 2006. En el año 2007 no se han reportado casos para estas patologías.

Atentamente,

MIGUEL ÁNGEL AMAYA P.

Técnico Administrativo

Dirección General de Riesgos Profesionales

Ministerio de la Protección Social

(<http://mail.google.com/a/uniquindio.edu.co/#label/Migrated/11589a111debe557>)

## ANEXO B

### VALORACIÓN DEL RIESGO

#### B.1 ENCUESTAS, VALORACIÓN DEL RIESGO, MODELO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO.

##### B.1.1 Encuesta. Identificación de factores de riesgos laborales en sitios de trabajo autorreporte (Fundecomercio, 1998)

Empresa		Ciudad		Fecha	
Área o sección de trabajo:		Edad:		Sexo: (F) (M)	
Cargo		Grado de escolaridad: (P) (S) (T) (U) (PG) (P: primaria, S: secundaria T: técnico o tecnólogo, U: universitario, PG: post-grado)		Completo: ( )	Incompleto: ( )
Salario: >smlv ( ) <smlv ( )	Antigüedad:		Jornada laboral h/d:		
Actualmente estudia:	Si ( ) No ( )	¿Qué estudia?:			
¿Hace algún deporte o arte?	Si ( ) No ( )	¿Cual?			

Marque con **X** al frente de cada número cuando la respuesta sea afirmativa, teniendo en cuenta que la condición de trabajo sea deficiente en los seis (6) últimos meses y esté presente.

No.	X	CONDICIÓN DE TRABAJO
1.		Espacios de trabajo y circulación inadecuados.
2.		Instalaciones locativas deficientes.
3.		Instalaciones eléctricas deficientes.
4.		Equipo contra incendio o explosión inadecuado o inexistente.
5.		Máquinas, equipos y herramientas en mal estado.
6.		Transporte y almacenamiento inadecuado.
7.		Manipulación de elementos o productos calientes.
8.		Iluminación inadecuada o insuficiente.
9.		Ventilación inadecuada o insuficiente.
10.		Temperatura inadecuada.
11.		Ambiente sonoro molesto.
12.		Exposición a polvos.
13.		Exposición a gases y vapores.
14.		Manipulación de productos descompuestos o contaminados.
15.		Presencia de plagas.
16.		Sobreesfuerzo físico y/o postural.
17.		Ritmo de trabajo intenso o monótono.

No.	X	CONDICIÓN DE TRABAJO
18.		Tiempo asignado para cada tarea corto o prolongado.
19.		Incomodidad de mesa o silla de trabajo.
20.		Dotación de útiles de trabajo deficiente o inexistente.
21.		Horario de trabajo prolongado.
22.		Ausencia de pausas dentro del trabajo.
23.		Realización de labores en turno nocturno.
24.		No decide sobre la organización de su trabajo.
25.		No existe o es imposible el trabajo en equipo.
26.		No hay estabilidad laboral.
27.		Insatisfacción con el régimen salarial y de incentivos económicos.
28.		Ausencia de políticas de ascenso.
29.		Ausencia de programas de capacitación.
30.		Servicios sanitarios inadecuados y/o insuficientes.
31.		Desorden y malas prácticas de aseo.
32.		Manejo de basuras inadecuado.
33.		Ausencia de actividades recreativas, deportivas y culturales.

Marque con una **X** al frente de cada número; cuando la respuesta sea afirmativa, teniendo en cuenta que dichas molestias se hayan presentado en los últimos seis meses:

No.	X	CONDICION DE SALUD
34.		Está en sobrepeso.
35.		Ha tenido dolores de cabeza por lo menos dos veces a la semana.
36.		Ha tenido ardor, irritación, enrojecimiento en los ojos.
37.		Tiene dificultad para ver de lejos y/o de cerca.
38.		Ha tenido gripas frecuentes.
39.		Ha tenido congestión y/o dolor a los lados de la nariz o la frente.
40.		Ha tenido escurrimiento o secreción por la nariz, de mal olor o color verdoso.
41.		Ha tenido dolores de muela.
42.		Frecuentemente le dan ataques de tos.
43.		Cuando tose desgarrar flemas.
44.		Ha tenido pérdida de la audición por algún oído.
45.		Le han supurado los oídos.
46.		Ha tenido vértigo (pérdida de equilibrio, mareo, cosas que dan vueltas) frecuentemente.
47.		Ha sufrido alteraciones de la voz (ronquera) frecuentemente.
48.		Ha sufrido alteraciones de la garganta (rasquiña, carraspeadera) frecuentemente.
49.		Le falta aire o se sofoca al subir un piso por las escaleras.
50.		Ha tenido dolor o sensación de opresión y/o pesadez en el pecho.
51.		Se le hinchan las piernas, tobillos o pies al finalizar el día.
52.		Tiene que sentarse en la cama en la noche, por falta de aire o tos que aparece de repente.
53.		Ha tenido con frecuencia agrieras o acidez.
54.		Ha tenido ardor en la boca del estómago (gastritis) con frecuencia.
55.		Ha tenido vómito con sangre.
56.		Ha tenido estreñimiento (hacer del cuerpo cada tercer día o más).
57.		Ha tenido diarrea (hacer del cuerpo más de cinco (5) veces al día y de características blanda o líquida).
58.		Ha tenido rasquiña en el ano.
59.		Ha tenido ardor al orinar.
60.		Orina frecuentemente y en forma escasa.
61.		Ha tenido dolor fuerte o rigidez en algún hombro, brazo o mano y que le dure varios días.
62.		Ha tenido dolor fuerte o rigidez de cadera, rodilla, piernas o pies que le dure varios días.
63.		Ha tenido dolor e hinchazón y enrojecimiento en alguna articulación por más de cinco (5) días.
64.		Ha tenido dolor en la parte baja de la espalda que le dificulte o impida realizar su trabajo.
65.		Ha tenido dolor en la parte superior de la espalda.
66.		Ha tenido heridas, lesiones musculares y/o de huesos.
67.		Ha sufrido accidentes de trabajo (lesiones físicas ocurridas a causa del trabajo que realiza).
68.		Ha sufrido lesiones como consecuencia de prácticas deportivas desarrolladas por la empresa.
69.		Ha padecido de enfermedades diagnosticadas como de origen profesional (producidas por el trabajo que realiza).
70.		Tiene várices en las piernas.

No.	X	CONDICION DE SALUD
71.		Ha tenido úlceras o llagas que no sanan en piernas o pies.
72.		Ha tenido algún tipo de roncha o alergia en la piel.
73.		Ha tenido rasquiña o resequedad en la piel.
74.		Tiene hongos en pies, ingles o en otra parte del cuerpo.
75.		Al levantarse por la mañana se siente cansado.
76.		Tiene temporadas de agotamiento o fatiga.
77.		Se irrita o inquieta fácilmente.
78.		Le cuesta trabajo dormirse o permanecer dormido.
79.		Ha estado hospitalizado en alguna institución para enfermos mentales o nerviosos.
80.		Tiene pesadillas frecuentemente.
81.		Se siente a menudo triste o infeliz.
82.		Pierde la paciencia o se enfurece fácilmente.
83.		Ha tenido problemas con su actividad sexual.
84.		En las relaciones sexuales de los últimos seis meses, no ha usado condón para protegerse contra el SIDA o las ETS.
85.		Tiene una pareja sexual estable.
<b>Conteste sólo si es mujer</b>		
86.		Se ha detectado por palpación masas en los senos o axilas.
87.		Ha tenido secreción por el pezón en periodo diferente a la lactancia.
88.		No se ha practicado la citología en el último año.
89.		Ha tenido secreciones vaginales de mal olor y/o rasquiña.
90.		Ha presentado alteración en la menstruación (sangrado abundante).
<b>Conteste sólo si es hombre</b>		
91.		Ha tenido alguna lesión en el miembro (pene).
92.		Ha sufrido de disminución del calibre del chorro urinario, goteo después de orinar y/o orinadera frecuente.

**Otras Condiciones de Trabajo y Salud nocivas para la salud de los trabajadores:**

---



---



---



---

### B.1.2 valoración del riesgo

La metodología que se utilizó en la valoración de riesgos fue la de William T. Fine mencionada por Estrada (1995), que propone la evaluación de riesgos laborales mediante la fórmula **Riesgo = Consecuencias x Exposición x Probabilidad**, y asigna valores a estos parámetros de manera que se cuantifica el resultado y en dependencia del valor que este asuma, así será la magnitud del riesgo y las acciones a tomar (Estrada, 1995):

**CONSECUENCIAS:** Se define como el resultado (Efecto) más probable debido al factor de riesgo, incluyendo daños personales y materiales

- Catástrofe: Numerosas víctimas o daños superiores al 90% del capital: 100 puntos
- Varias muertes o daños del 50% al 89% del capital: 50 puntos
- Una muerte y/o daños del 10 al 49% del capital: 25 puntos
- Lesiones extremadamente graves: amputaciones, invalidez permanente, daños del 1 al 9%: 15 puntos
- Lesiones con incapacidad, daños hasta el 1%: 5 puntos
- Pequeñas heridas, contusiones, pequeños daños: 1 punto

**EXPOSICION:** Es la frecuencia con que las personas o la estructura entra en contacto con el factor de riesgo. Puede ser continua, frecuente, ocasional, irregular, esporádica y remota.

- Continuamente (muchas veces al día): 10 puntos
- Frecuentemente (Aproximadamente una vez al día): 6 puntos
- Ocasionalmente (De una vez por semana o una vez al mes): 3 puntos
- Irregularmente (De una vez al mes o una vez al año): 2 puntos

- e) Raramente (Se sabe que ocurre): 1 punto  
 f) Remotamente posible (No se sabe que haya ocurrido): 0.5 puntos

**PROBABILIDAD:** Se puede entender como el grado inmediato de inminencia o rareza de ocurrencia real del daño. Puede ser muy posible, remota y prácticamente imposible

- a) Es el resultado más probable y esperado si la situación de riesgo tiene lugar: 10 puntos  
 b) Es completamente posible, nada extraño, tiene una probabilidad del 50%: 6 puntos  
 c) Sería una ocurrencia o coincidencia rara: 3 puntos  
 d) Sería una ocurrencia remotamente posible, pues se sabe que ha ocurrido: 1 punto  
 e) Nunca ha sucedido en muchos años de exposición, pero es posible: 0.5 puntos  
 f) Prácticamente imposible: 0.1 punto

Los criterios de interpretación del grado de peligrosidad y de actuación, se anuncian a continuación en la Tabla B.1:

Tabla B.1 Actuación del resultado del grado de peligrosidad

Grado de peligrosidad	de	Actuación
Mayor de 270		Se requiere preparación inmediata frente a los eventos de emergencia. Diseñar Plan de Emergencia y conformar, organizar, dotar y capacitar la Brigada de Emergencia; en un término de 3 meses. Sensibilizar y capacitar a los trabajadores de la empresa en la segura actuación antes, durante y después de una emergencia; en un término de 1 mes. La actividad será detenida hasta que el Factor de Riesgo se haya disminuido.
Del 18 al 269		Se requiere preparación frente a los eventos de emergencia. Diseñar el Plan de Emergencia y conformar, organizar, dotar y capacitar la Brigada de Emergencia; en un término de 5 meses. Sensibilizar y capacitar a los trabajadores de la empresa en la segura actuación antes, durante y después de la emergencia; en un término de dos meses.

$$GR = GP \times FP \quad (B.1)$$

donde:

<b>GR</b>	=	Grado de repercusión
<b>GP</b>	=	Grado de peligrosidad
<b>FP</b>	=	Factor de ponderación

Tabla B.2 Valoración del grado de repercusión, magnitud y actuación

GRADO DE REPERCUSIÓN	MAGNITUD	ACTUACIÓN
1 - 1500	BAJO	PRIORIDAD 3
1501 - 3500	MEDIO	PRIORIDAD 2
3501 - 5000	ALTO	PRIORIDAD 1

En la ecuación B.2 el FP se establece con base en el porcentaje de expuestos del número total de los trabajadores por área o sección y la finalidad del Grado de Repercusión es visualizar claramente cual riesgo debe ser tratado prioritariamente. De acuerdo con lo anterior los Factores de Ponderación (FP) se establecen, de acuerdo con la siguiente Tabla B.3:

Tabla B.3 Valoración factor de ponderación

PORCENTAJE DE EXPUESTOS	FACTOR DE PONDERACION (FP)
1 - 20%	1
21 - 40%	2
41 - 60%	3
61 - 80%	4
81 - 100%	5

La escala del factor de ponderación para **priorizar los Factores de Riesgo** por grado de repercusión se elabora teniendo en cuenta el número de trabajadores expuestos por área o sección de la empresa, que generalmente es de 1 a 5 y se calcula con el siguiente indicador de gestión (Ecuación B2.6):

$$\%TE = \frac{N}{TEA} \times 100 \quad (B.2)$$

donde:

**%TE** = % Trabajadores Expuestos  
**N** = Número de expuestos en el área  
**TEA** = Total de expuestos en el área

### B.1.3 Modelo de consentimiento informado

UNIVERSIDAD DEL QUINDIO  
 FACULTAD CIENCIAS DE LA SALUD  
 FORMATO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

1. DATOS DE IDENTIFICACION:
  - 1.1 NOMBRE Y APELLIDOS:
  - 1.2 DOCUMENTO DE IDENTIDAD:
2. PROCEDIMIENTO: Autoreporte de condiciones de trabajo y salud
3. DECLARACIÓN DEL TRABAJADOR:

Manifiesto que me han explicado y he comprendido satisfactoriamente la naturaleza y el propósito de este estudio y de los procedimientos que de él se derivan. Me han aclarado todas las dudas e igualmente comprendo perfectamente el procedimiento, que me realizaran:

---



---



---



---



---

Doy mi consentimiento para que se me entregue el formato para el autoreporte de las condiciones de trabajo y salud, mismo que diligenciaré de la mejor forma posible.

4. FIRMAS

---

Trabajador  
 CC

---

Medico  
 RM

## B.2 NIOSH 0500. PARTICULATES NOT OTHERWISE REGULATED, TOTAL 0500

DEFINITION: total aerosol mass CAS: NONE RTECS: NONE  
 METHOD: 0500, Issue 2 EVALUATION: FULL Issue 1: 15 February 1984  
 Issue 2: 15 August 1994

**OSHA** : 15 mg/m<sup>3</sup>

**NIOSH**: no REL

**ACGIH**: 10 mg/m<sup>3</sup>, total dust less than 1% quartz

**PROPERTIES**: contains no asbestos and quartz less than 1%

**SYNONYMS**: nuisance dusts; particulates not otherwise classified

### SAMPLING

**SAMPLER**: FILTER (tared 37-mm, 5-µm PVC filter)

**FLOW RATE**: 1 to 2 l/min

**VOL-MIN**: 7 L @ 15 mg/m<sup>3</sup>

**-MAX**: 133 L @ 15 mg/m<sup>3</sup>

**SHIPMENT**: routine

### SAMPLE

**STABILITY**: indefinitely

**BLANKS**: 2 to 10 field blanks per set

### BULK

**SAMPLE**: none required

### MEASUREMENT

**TECHNIQUE**: GRAVIMETRIC (FILTER WEIGHT)

**ANALYTE**: airborne particulate material

**BALANCE**: 0.001 mg sensitivity; use same balance before and after sample collection

**CALIBRATION**: National Institute of Standards and Technology Class S-1.1 weights or ASTM Class 1 weights

**RANGE**: 0.1 to 2 mg per sample

**ESTIMATED LOD**: 0.03 mg per sample

**PRECISION (S r)**: 0.026 [2]

### ACCURACY

**RANGE STUDIED**: 8 to 28 mg/m<sup>3</sup>

**BIAS**: 0.01%

**OVERALL PRECISION (S ^ rT)**: 0.056 [1]

**ACCURACY**: ± 11.04%

**APPLICABILITY**: The working range is 1 to 20 mg/m<sup>3</sup> for a 100-L air sample. This method is nonspecific and determines the total dust concentration to which a worker is exposed. It may be applied, e.g., to gravimetric determination of fibrous glass [3] in addition to the other ACGIH particulates not otherwise regulated [4].

**INTERFERENCES**: Organic and volatile particulate matter may be removed by dry ashing [3].

**OTHER METHODS**: This method is similar to the criteria document method for fibrous glass [3] and Method 5000 for carbon black. This method replaces Method S349 [5]. Impingers and direct-reading instruments may be used to collect total dust samples, but these have limitations for personal sampling.

### EQUIPMENT:

1. Sampler: 37-mm PVC, 2- to 5-µm pore size membrane or equivalent hydrophobic filter and supporting pad in 37-mm cassette filter holder.
2. Personal sampling pump, 1 to 2 L/min, with flexible connecting tubing.
3. Microbalance, capable of weighing to 0.001 mg.
4. Static neutralizer: e.g., Po-210; replace nine months after the production date.
5. Forceps (preferably nylon).
6. Environmental chamber or room for balance (e.g., 20 °C ± 1 °C and 50% ± 5% RH).

**SPECIAL PRECAUTIONS**: None.

### PREPARATION OF FILTERS BEFORE SAMPLING:

1. Equilibrate the filters in an environmentally controlled weighing area or chamber for at least 2 h.

NOTE: An environmentally controlled chamber is desirable, but not required.

2. Number the backup pads with a ballpoint pen and place them, numbered side down, in filter cassette bottom sections.
3. Weigh the filters in an environmentally controlled area or chamber. Record the filter tare weight,  $W_1$  (mg).
  - a. Zero the balance before each weighing.
  - b. Handle the filter with forceps. Pass the filter over an antistatic radiation source. Repeat this step if filter does not release easily from the forceps or if filter attracts balance pan. Static electricity can cause erroneous weight readings.
4. Assemble the filter in the filter cassettes and close firmly so that leakage around the filter will not occur. Place a plug in each opening of the filter cassette. Place a cellulose shrink band around the filter cassette, allow to dry and mark with the same number as the backup pad.

**SAMPLING:**

5. Calibrate each personal sampling pump with a representative sampler in line.
6. Sample at 1 to 2 l/min for a total sample volume of 7 to 133 l. Do not exceed a total filter loading of approximately 2 mg total dust. Take two to four replicate samples for each batch of field samples for quality assurance on the sampling procedure.

**SAMPLE PREPARATION:**

7. Wipe dust from the external surface of the filter cassette with a moist paper towel to minimize contamination. Discard the paper towel.
  8. Remove the top and bottom plugs from the filter cassette. Equilibrate for at least 2 h in the balance room.
  9. Remove the cassette band, pry open the cassette, and remove the filter gently to avoid loss of dust.
- NOTE: If the filter adheres to the underside of the cassette top, very gently lift away by using the dull side of a scalpel blade. This must be done carefully or the filter will tear.

**CALIBRATION AND QUALITY CONTROL:**

10. Zero the microbalance before all weighings. Use the same microbalance for weighing filters before and after sample collection. Maintain and calibrate the balance with National Institute of Standards and Technology Class S-1.1 or ASTM Class 1 weights.
11. The set of replicate samples should be exposed to the same dust environment, either in a laboratory dust chamber [7] or in the field [8]. The quality control samples must be taken with the same equipment, procedures and personnel used in the routine field samples. The relative standard deviation calculated from these replicates should be recorded on control charts and action taken when the precision is out of control [7].

**MEASUREMENT:**

12. Weigh each filter, including field blanks. Record the post-sampling weight,  $W_2$  (mg). Record anything remarkable about a filter (e.g., overload, leakage, wet, torn, etc.)

**CALCULATIONS:**

13. Calculate the concentration of total particulate,  $C$  ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), in the air volume sampled,  $V$  (L):

$$C = \frac{(W_2 - W_1) - (B_2 - B_1) * 10^3}{V}, \text{mg} / \text{m}^3$$

where:

- $W_1$  = tare weight of filter before sampling (mg)  
 $W_2$  = post-sampling weight of sample-containing filter (mg)  
 $B_1$  = mean tare weight of blank filters (mg)  
 $B_2$  = mean post-sampling weight of blank filters (mg)

**EVALUATION OF METHOD:**

Lab testing with blank filters and generated atmospheres of carbon black was done at 8 to 28  $\text{mg}/\text{m}^3$  [2,6]. Precision and accuracy data are given on page 0500-1.

**REFERENCES:**

- [1] NIOSH Manual of Analytical Methods, 3rd ed., NMAM 5000, DHHS (NIOSH) Publication No. 84-100 (1984).
- [2] Unpublished data from Non-textile Cotton Study, NIOSH/DRDS/EIB.

- [3] NIOSH Criteria for a Recommended Standard ... Occupational Exposure to Fibrous Glass, U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Publ. (NIOSH) 77-152, 119-142 (1977).
- [4] 1993-1994 Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, Appendix D, ACGIH, Cincinnati, OH (1993).
- [5] NIOSH Manual of Analytical Methods, 2nd ed., V. 3, S349, U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Publ. (NIOSH) 77-157-C (1977).
- [6] Documentation of the NIOSH Validation Tests, S262 and S349, U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Publ. (NIOSH) 77-185 (1977).
- [7] Bowman, J.D., D.L. Bartley, G.M. Breuer, L.J. Doemeny, and D.J. Murdock. Accuracy Criteria Recommended for the Certification of Gravimetric Coal Mine Dust Personal Samplers. NTIS Pub. No. PB 85-222446 (1984).
- [8] Breslin, J.A., S.J. Page, and R.A. Jankowski. Precision of Personal Sampling of Respirable Dust in Coal Mines, U.S. Bureau of Mines Report of Investigations #8740 (1983).

**METHOD REVISED BY:**

Jerry Clere and Frank Hearl, P.E., NIOSH/DRDS.

NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition, 8/15/94

## ANEXO C

### DATOS ESTADÍSTICOS DE MORBIMORTALIDAD

#### C.1 ENCUESTA DE ABSENTISMO LABORAL DE LOS TRABAJADORES DE LA MADERA, INDICADORES DE MORBILIDAD.

##### C.1.1 Encuesta de absentismo laboral

###### 1. Datos generales

Ciudad y fecha					
Empresa			Numero total de trabajadores		
Área/Sección/Puesto de trabajo			Total de trabajadores del área		
Edad		Sexo			
Cargo			Antigüedad en el cargo		
Oficio			Antigüedad en el oficio		
Jornada laboral h/d			Salario (\$): < Mínimo	> mínimo	
Grado de escolaridad: P- S -T- U- PG P: Primaria, S: Secundaria T: Técnico O Tecnólogo, U: Universitario, Pg: Post-Grado Completo: Si_____ No_____					
Cabeza de hogar: si_____ no_____					

## 2. Datos del absentismo laboral

Incapacidad:		
Tiempo de incapacidad (Días perdidos):		
Diagnóstico No. (CIE-10):	General	Ocupacional (ATEP)
Tratamiento:		
EPS/SISBEN:		
ARP:		
Programa de vigilancia epidemiológica (material particulado o riesgos químicos): SI NO		
Observaciones:		

ATEP: Accidente de Trabajo-Enfermedad Profesional

### C.1.2 Indicadores de morbilidad laboral

- **Indicadores de Enfermedad Profesional**

#### **Proporción de Prevalencia general de enfermedad profesional (PPGEP)**

Es la proporción de casos de enfermedad profesional (Nuevos y antiguos) Existentes en una población en un periodo determinado.

$$PPGEP = \frac{No.ADP}{PT} * K \quad (E6.1)$$

donde:

PPGEP = Proporción de prevalencia general de enfermedad profesional  
 ADP = No. casos existentes de enfermedad profesional reconocidos en el año  
 PT = Promedio de trabajadores en el año  
 K = Constante de 240000HHT

#### **Proporción de prevalencia específica de enfermedad profesional (PPEEP)**

Es la proporción de casos reconocidos (nuevos y antiguos) de enfermedad específica en el año existente en una población promedio de trabajadores expuestos al factor de riesgo asociado con la enfermedad profesional específica en un periodo determinado.

$$PPEEP = \frac{No.CEE}{PTEEE} * K \quad (E6.2)$$

donde:

PPEEP	=	Proporción de prevalencia específica de enfermedad profesional
CEE	=	No. casos de enfermedades específicas en el año
PTEEE	=	Promedio de trabajadores expuestos a la enfermedad específica en el año

- **Indicadores de Enfermedad Común**

Mide el número de personas enfermas por causas no relacionadas directamente con su ocupación, en una población y en un período determinado. Se refiere a los casos nuevos y antiguos que existen en el mismo período y se utiliza las siguientes ecuaciones. En este caso se relaciona los casos de personas que sufrieron problemas y enfermedades respiratorios. Las ecuaciones a continuación se adaptaron para el análisis de enfermedad o problemas respiratorios (EPR):

**Tasa de incidencia global de enfermedad o problema respiratorio (TIGEPR)**

$$TIGEPR = \frac{No.CNEPR}{PT} * 1000 \quad (E6.3)$$

donde:

TIGEPR	=	Tasa de incidencia global de enfermedad o problema respiratorio
CNEPR	=	No. de casos nuevos de enfermedad o problema respiratorio
PT	=	Promedio de trabajadores en el años

**Tasa de Prevalencia global de enfermedad o problema respiratorio (TPGEPR)**

$$TPGEPR = \frac{No.CNAEPR}{PT} * 1000 \quad (E6.4)$$

donde:

TPGEPR	=	Tasa de prevalencia global de enfermedad o problema respiratorio
CNAEPR	=	No. casos nuevos y antiguos de enfermedad o problema respiratorio
PT	=	Promedio de trabajadores en el año

Son los eventos de absentismo por causa de salud incluyen toda ausencia al trabajo atribuido a enfermedad común, enfermedad profesional, accidente de trabajo, consulta de salud e incluso de permisos personales remunerados, no remunerados, vacaciones y licencias. (Aunque las vacaciones no se toman como perdido sino como ausencia remunerada). Las prorrogas de una capacidad no se suman como eventos separados (CCS: 1995a; 1995b; 1997a; CCS 1997b; 1998).

**Índice de frecuencia de absentismo (IFA)**

$$IFA = \frac{No.EACC}{HHTP} * K \quad (E6.5)$$

donde:

IFA	=	Índice de frecuencia de absentismo
EACC	=	No. eventos de absentismo por cualquier causa en el último año
HHTP	=	No. Horas hombre trabajadas programadas en el año

Para la enfermedad o problema respiratorio es IFAEPR

**Índice de Severidad del absentismo (ISA)**

$$ISA = \frac{No.DAPCS}{HHTP} * K \quad (E6.6)$$

donde:

ISA = índice de severidad del absentismo  
DAPCS = No. días de absentismo por causa de salud en el último año

Para la enfermedad o problema respiratorio es ISAEPR

**Porcentaje de tiempo perdido (%TP)**

$$\%TP = \frac{No.D(H)PP}{No.D(H)P} * 100 \quad (E6.7)$$

donde:

%TP = Porcentaje de tiempo perdido  
D(H)PP = No. días (horas) perdidas en el período  
D(H)P = NO. días (horas) programadas en el período

Para la enfermedad o problema respiratorio es %TPEPR

**Prevalencia de período (PPEPR)**

$$PP = \frac{No.TAP}{PRP} * 1000 \quad (E6.8)$$

donde:

PP = Prevalencia del período  
TAP = No. trabajadores ausentes en el período  
PRP = Población en riesgo en el período

## C.2 ESTADÍSTICAS NACIONALES, REGIONALES Y LOCALES (COLOMBIA, 2009)

### C.2.1 Estadísticas nacionales

Tabla C.1 Censo de población de Colombia por grupos de edades y género en el 2008 de la población económicamente activa en edades comprendidas entre 15 a 79 años de edad (DANE, 2009)

Grupo	Total	Hombres	Mujeres
<b>Edad</b>	<b>44.450.260</b>	<b>21.942.197</b>	<b>22.508.063</b>
<b>Total</b>	4.282.837	2.189.789	2.093.048
0-4	4.378.754	2.233.728	2.145.026
5-9	4.479.509	2.291.113	2.188.396
10-14	4.334.325	2.223.602	2.110.723
15-19	3.920.905	1.974.419	1.946.486
20-24	3.511.006	1.719.410	1.791.596
25-29	3.139.029	1.527.544	1.611.485
30-34	2.931.562	1.411.151	1.520.411
35-39	2.920.435	1.399.408	1.521.027
40-44	2.604.668	1.246.134	1.358.534
45-49	2.118.231	1.010.228	1.108.003
50-54	1.677.466	803.040	874.426
55-59	1.289.669	615.500	674.169
60-64	988.482	464.261	524.221
65-69	791.880	360.959	430.921
70-74	524.222	234.853	289.369
75-79	557.280	237.058	320.222

Tabla C.2 Estadísticas de la afiliación al Sistema General de Riesgos Profesionales (MPSC, 2009).

Concepto	Total 2007	Agosto 2008	Total 2008
Trabajadores afiliados	5945653	6146709	6146709
Empresas afiliadas	418620	432505	432505
Pensiones de invalidez pagadas	418	39	644
Muertes calificadas como profesionales	761	65	498
Total de muertes ocurridas	888	93	599
Incapacidades permanentes parciales pagadas	7493	640	5943
Enfermedades calificadas como profesionales	4041	521	3974
Accidentes calificadas como profesionales	328382	28093	238401
Reporte de accidentes de trabajo	467814	40699	341674
Tasa de accidentes calificadas como profesionales x100	5.52	0.46	-
Tasa de enfermedades calificadas como profesionales x 100000	67.97	8.48	-
Tasa de muertes calificadas x 100000	12.80	1.06	-

Tabla C.3 Enfermedades profesionales reportadas por las Administradoras de Riesgos Profesionales según diagnóstico del sector madero 2006 (MPSC, 2008)

Diagnóstico	Actividad económica	No. de casos
Afección relacionada con el trabajo	Empresas dedicadas a la fabricación de otros muebles, incluye fabricación mecanizada de muebles de madera	1
Amputación traumática combinada (de parte) de dedo(s) con otras partes de la muñeca y de la mano	Empresas dedicadas a la fabricación de muebles para el hogar incluye las carpinterías y/o ebanisterías con maquinaria, fabricación mecanizada de muebles de madera y en metal	1

Diagnóstico	Actividad económica	No. de casos
Asma mixta	Empresas dedicadas a la fabricación de muebles para el hogar incluye las carpinterías y/o ebanisterías con maquinaria, fabricación mecanizada de muebles de madera y en metal	1
Bursitis del hombro	Empresas dedicadas a la fabricación de muebles para oficina incluye fabricación mecanizada de muebles de madera y en metal	1
Contusión de dedo(s) de la mano sin daño de la(s) uña(s)	Empresas dedicadas al aserrado, acepillado e impregnación de la madera incluye solamente empresas dedicadas a las madererías, preparación de madera, impermeabilización y/o inmunizado	1
Contusión de otras partes y de las no especificadas del pie	Empresas dedicadas a la fabricación de muebles para el hogar incluye las carpinterías y/o ebanisterías con maquinaria, fabricación mecanizada de muebles de madera y en metal	1
Contusión del tórax	Empresas dedicadas a la fabricación de muebles para oficina incluye fabricación mecanizada de muebles de madera y en metal	1
Cuerpo extraño en parte externa del ojo sitio no especificado	Aserrado, acepillado e impregnación de la madera incluye solamente empresas dedicadas a los aserraderos	1
Cuerpo extraño en parte externa del ojo sitio no especificado	Empresas dedicadas a la fabricación de muebles para empresas dedicadas al comercio y servicios incluye carpinterías y/o ebanisterías con maquinaria fabricación mecanizada de muebles de madera y en metal	3
Cuerpo extraño en parte externa del ojo sitio no especificado	Empresas dedicadas a la fabricación de muebles para oficina incluye fabricación mecanizada de muebles de madera y en metal	2
Cuerpo extraño que penetra por el ojo u orificio natural: área industrial y de la construcción	Empresas dedicadas a la fabricación de muebles para oficina incluye fabricación mecanizada de muebles de madera y en metal	1
Cuerpo extraño que penetra por el ojo u orificio natural: área industrial y de la construcción	Empresas dedicadas al comercio y servicios incluye carpinterías y/o ebanisterías con maquinaria fabricación mecanizada de muebles de madera y en metal	1
Cuerpo extraño que penetra por el ojo u orificio natural: área industrial y de la construcción	Empresas dedicadas a la fabricación de muebles para oficina incluye fabricación mecanizada de muebles de madera y en metal	1
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica no especificada	Empresas dedicadas a la fabricación de muebles para el hogar incluye carpinterías y ebanisterías (fabricación de artesanal)	1
Epicondilitis lateral	Empresas dedicadas a la fabricación de otros muebles incluye fabricación mecanizada de muebles de madera	1
Fractura de los huesos del dedo gordo del pie	Empresas dedicadas a la fabricación de muebles para el hogar incluye las carpinterías y/o ebanisterías con maquinaria, fabricación mecanizada de muebles de madera y en metal	1
Fractura del hueso escafoides [navicular] de la mano	Empresas dedicadas a la fabricación de muebles para el hogar incluye las carpinterías y/o ebanisterías con maquinaria, fabricación mecanizada de muebles de madera y en metal	1
Herida de dedo(s) de la mano con daño de la(s) uña(s)	Empresas dedicadas a la fabricación de muebles para oficina incluye fabricación mecanizada de muebles de madera y en metal	3
Herida de dedo(s) de la mano sin daño de la(s) uña(s)	Empresas dedicadas a la fabricación de muebles para el hogar incluye las carpinterías y/o ebanisterías con maquinaria, fabricación mecanizada de muebles de madera y en metal	3
Herida de dedo(s) de la mano sin daño de la(s) uña(s)	Empresas dedicadas a la fabricación de muebles para oficina incluye fabricación mecanizada de muebles de madera y en metal	1
Herida de otras partes de la cabeza	Empresas dedicadas a la fabricación de muebles para empresas dedicadas al comercio y servicios incluye carpinterías y/o ebanisterías con maquinaria fabricación mecanizada de muebles de madera y en metal	1
Herida de otras partes de la cabeza	Empresas dedicadas al aserrado, acepillado e impregnación de la madera incluye solamente empresas dedicadas a las madererías, preparación de madera, impermeabilización y/o inmunizado	1
Heridas de otras partes de la muñeca y de la mano	Empresas dedicadas a la fabricación de muebles para empresas dedicadas al comercio y servicios incluye carpinterías y/o ebanisterías con maquinaria fabricación mecanizada de muebles de madera y en metal	1
Heridas de otras partes de la muñeca y de la mano	Empresas dedicadas a la fabricación de muebles para oficina incluye fabricación mecanizada de muebles de madera y en metal	1
Heridas de otras partes del pie	Empresas dedicadas a la fabricación de otros productos de madera; fabricación de artículos de corcho, cestería y espartería incluye solamente la fabricación de hormas, tacones y/o cercos para calzado,	1
Heridas de otras partes del pie	Silvicultura y explotación de la madera incluye solamente empresas dedicadas a la tala y aserrio de bosques.	2
Lumbago no especificado	Empresas dedicadas a la fabricación de muebles para oficina incluye fabricación mecanizada de muebles de madera y en metal	3
Otras sinovitis y tenosinovitis	Empresas dedicadas a la fabricación de muebles para oficina incluye fabricación mecanizada de muebles de madera y en metal	1
Otros traumatismos de la cabeza especificados	Empresas dedicadas a la fabricación de muebles para oficina incluye fabricación mecanizada de muebles de madera y en metal	1
Síndrome del túnel carpiano	Empresas dedicadas a la fabricación de muebles para oficina incluye fabricación mecanizada de muebles de madera y en metal	2
Síndrome del tonel carpiano	Empresas dedicadas a la fabricación de otros muebles incluye fabricación mecanizada de muebles de madera	1
Síndrome del tonel carpiano	Empresas dedicadas a la fabricación de otros productos de madera; fabricación de artículos de corcho, cestería y espartería incluye solamente la fabricación de hormas, tacones y/o cercos para calzado,	1
Hallazgos anormales en órganos respiratorios torácicos	Empresas dedicadas al aserrado, acepillado e impregnación de la madera incluye solamente empresas dedicadas a las madererías, preparación de madera, impermeabilización y/o inmunizado	1

## C.2.2 Estadísticas del departamento del Quindío

Tabla C.4 Estimaciones de población por grupos de edad según municipios del departamento del Quindío (ISSQ, 2009).

MUNICIPIOS	< 1	1 - 4	5 - 9	10 - 14	15 - 19	20 - 29	30 - 39	40 - 49	50 - 59	60 - 69	70 y más
ARMENIA	5.631	24.807	32.524	33.970	30.756	59.198	51.902	33.644	22.433	15.831	10.682
BUENAVISTA	62	487	590	616	559	1.073	944	610	410	289	192
CALARCA	1.347	6.205	8.342	8.719	7.889	15.174	13.317	8.738	5.745	4.081	2.863
CIRCASIA	517	2.210	2.919	3.048	2.761	5.313	4.657	2.998	2.043	1.434	940
CORDOBA	103	564	786	822	748	1.461	1.271	820	545	383	256
FILANDIA	222	1.212	1.540	1.610	1.455	2.806	2.456	1.586	1.066	750	503
GENOVA	218	984	1.279	1.334	1.206	2.325	2.037	1.316	881	619	412
LA TEBAIDA	696	2.305	3.065	3.204	2.890	5.577	4.889	3.137	2.093	1.477	982
MONTENEGRO	798	3.300	4.564	4.764	4.312	8.361	7.300	4.711	3.168	2.232	1.497
PIJAO	178	797	1.042	1.086	984	1.889	1.658	1.063	716	505	332
QUIMBAYA	757	3.270	4.428	4.630	4.192	8.060	7.086	4.563	3.063	2.159	1.448
SALENTO	134	668	964	1.005	907	1.757	1.530	996	673	483	328
<b>TOTAL</b>	<b>10.663</b>	<b>46.809</b>	<b>62.043</b>	<b>64.808</b>	<b>58.659</b>	<b>112.994</b>	<b>99.047</b>	<b>64.182</b>	<b>42.836</b>	<b>30.243</b>	<b>20.435</b>

Tabla C.5 Indicadores de la población del departamento del Quindío y sus respectivas municipalidades población total, Sisben y afiliación a los regímenes (ISSQ, 2009)

Municipio	Población DANE 2005	Total SISBEN agosto/06	% poblac SISBEN	SISBEN nivel 1 y 2	Afiliados régimen subsidiado	% afiliac subsidiado	Afiliados régimen contributivo	Población sin afiliar	% pobl no afiliada
ARMENIA	321.378	211.587	65,8	166.127	93.664	56,4	135.690	92.024	28,6
BUENAVISTA	5.832	3.745	64,2	3.392	2.922	86,1	224	2.686	46,1
CALARCA	82.420	70.333	85,3	58.750	29.872	50,8	14.338	38.210	46,4
CIRCASIA	28.840	25.385	88,0	23.497	13.894	59,1	3.345	11.601	40,2
CORDOBA	7.759	6.138	79,1	5.985	4.954	82,8	520	2.285	29,4
FILANDIA	15.206	13.127	86,3	11.240	8.525	75,8	1.548	5.133	33,8
GENOVA	12.611	11.120	88,2	10.702	7.576	70,8	845	4.190	33,2
LA TEBAIDA	30.315	35.505	117,1	34.659	18.245	52,6	5.262	6.808	22,5
MONTENEGRO	45.007	41.837	93,0	40.028	21.445	53,6	5.575	17.987	40,0
PIJAO	10.250	7.652	74,7	7.306	5.652	77,4	783	3.815	37,2
QUIMBAYA	43.656	37.890	86,8	36.208	17.932	49,5	6.109	19.615	44,9
SALENTO	9.445	6.126	64,9	5.868	4.954	84,4	745	3.746	39,7
<b>TOTAL</b>	<b>612.719</b>	<b>470.445</b>	<b>76,8</b>	<b>403.762</b>	<b>229.635</b>	<b>56,9</b>	<b>174.984</b>	<b>208.100</b>	<b>34,0</b>

FUENTE: Informe de Planeación Departamental con corte a 11 de agosto de 2006 - B.D. Régimen Subsidiado ISSQ a septiembre de 2006. EI DANE certificó que la población para el 2006, es la misma población estimada para el año 2005. Desplazados Quindío: 12,926 - Fuente: Acción Social a agosto 31 de 2006. Alcaldía de Armenia.

Tabla C.6 Causas de mortalidad según residencia en el Quindío (ISSQ, 2007)

CAUSAS DE MORTALIDAD SEGÚN RESIDENCIA QUINDIO 2006			
CODIGO 105	CAUSA	NUMERO	Tasa por 10.000
1-051	Enfermedades isquémicas del corazón	528	8,62
1-060	Enfermedades crónicas de las vías respiratorias	270	4,41
1-101	Agresiones (homicidios) y secuelas	267	4,36
1-055	Enfermedades cerebrovasculares	177	2,89
1-041	Diabetes mellitus	170	2,77
1-090	Accidentes de transporte de motor	86	1,40
1-013	Tumor maligno del estómago	75	1,22
1-059	Neumonía	72	1,18
1-020	Tumor maligno de la tráquea, los bronquios y el pulmón	68	1,11
1-009	Enfermedad por VIH (SIDA)	67	1,09
1-050	Enfermedades hipertensivas	65	1,06
1-054	Insuficiencia cardíaca	59	0,96
1-053	Todas las demás formas de enfermedad del corazón	48	0,78
1-015	Tumor maligno del hígado	42	0,69

CAUSAS DE MORTALIDAD SEGÚN RESIDENCIA QUINDIO 2006			
CODIGO 105	CAUSA	NUMERO	Tasa por 10.000
1-047	Todas las demás enfermedades del sistema nervioso	40	0,65
	Subtotal	<b>2034</b>	<b>33,20</b>
	Resto de Causas	<b>1036</b>	<b>16,91</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>3063</b>	<b>49,99</b>

Tabla C.7 Mortalidad por grupo de edad y sexo según residencia en el Quindío en el 2006 (ISSQ, 2006)

MORTALIDAD POR GRUPO DE EDAD Y SEXO SEGÚN RESIDENCIA EN EL QUINDÍO 2006								
GRUPO DE EDAD	de 15 a 44		de 45 a 59		60 y mas		TOTAL	
MUNICIPIO / SEXO	H	M	H	M	H	M	H	M
ARMENIA	209	67	156	107	552	496	552	496
BUENAVISTA	1	2	3		4	2	8	2
CALARCA	46	20	25	30	160	132	231	132
CIRCASIA	14	7	16	7	47	43	77	43
CORDOBA	2	0	1	0	15	8	18	8
FILANDIA	6	1	6	5	22	15	34	15
GENOVA	4	7	8	1	15	12	27	12
LA TEBAIDA	32	8	20	9	46	55	98	55
MONTENEGRO	36	9	23	17	72	57	131	57
PIJAO	5	2	4	2	16	6	25	6
QUIMBAYA	38	9	13	11	66	50	117	50
SALENTO	3	1	6	2	14	10	23	10
SIN DATO MPIO	1	0	0	0	0	0	1	0
OTROS DEPTOS	26	16	8	13	30	38	64	38
SIN DATO	3	2	1		1	0	5	0
TOTAL	426	151	290	204	1060	428	1411	924
Total por Grupo	577		494		1488		2335	

Tabla C.8 Indicadores demográficos del departamento del Quindío entre los años 1985 a 2005 (DANE, 2009)

Año	Población			Relación de:			Edad mediana (años)
	Total	Hombres	Mujeres	Dependencia (por mil)	Niños (por mujer)	Masculinidad (por cien mujeres)	
1985	409.058	202.239	206.819	557,05	0,417	97,79	23,62
1990	453.105	223.211	229.894	576,52	0,418	97,09	25,02
1995	501.729	246.218	255.511	590,06	0,422	96,36	26,09
2000	519.933	255.095	264.838	585,40	0,369	96,32	27,29
2005	534.552	262.256	272.296	557,08	0,334	96,31	28,48

Tabla C.9 Morbilidad por consulta general en el Quindío 2005 (ISSQ, 2009)

ORDEN	CODIGO 298 CAUSAS	CAUSA	NUMERO	TASA x 10.000
1	145	Hipertensión Esencial (primaria)	82.552	1347,3
2	180	Caries dental	42.118	687,4
3	041	Enfermedades virales	38.580	629,7
4	167	Infecciones agudas de las vías respiratorias	25.535	416,7
5	206	Dorsopatías	23.946	390,8

Tabla C3.10 Morbilidad por egreso hospitalario en el Quindío 2006 (ISSQ, 2009)

ORDEN	CODIGO 298 CAUSAS	CAUSA	NUMERO	TASA x 10.000
1	169	Neumonía	1.080	17,6
2	175	Bronquitis, enfisema y otras enfermedades pulmonares obstructivas Crónicas	1.115	18,2
3	116	Trastornos del humor (afectivos)	919	15,0
4	239	Otras Atenciones Maternas relacionadas con el feto y posibles problemas del parto	451	7,4
5	104	Diabetes mellitus	391	6,4

### C.2.3 Estadísticas de la población de Armenia (2009)

Tabla C.11 Población de Armenia por quinquenios del año 2005 (ISSQ, 2009)

POBLACION ESTIMADA POR GRUPOS DE EDAD EN ARMENIA 2005			
GRUPO DE	POBLACION TOTAL		
POBLACION (QUINQUENALES)	HOMBRES	MUJERES	TOTAL
< 1 Año	2.703	2.928	5.631
1-4 Años	11.907	12.900	24.807
5-9 Años	15.612	16.913	32.524
10-14 Años	16.306	17.664	33.970
15-19 Años	14.763	15.993	30.756
20-24 Años	14.238	15.425	29.663
25-29 Años	14.177	15.358	29.535
30-34 Años	13.359	14.472	27.831
35-39 Años	11.554	12.517	24.071
40-44 Años	9.612	10.413	20.026
45-49 Años	6.537	7.081	13.618
50-54 Años	6.001	6.501	12.502
55-59 Años	4.767	5.164	9.931
60-64 Años	4.513	4.889	9.403
65-69 Años	3.085	3.342	6.428
70-74 Años	2.397	2.597	4.994
75 y más	2.731	2.959	5.690
<b>TOTAL</b>	<b>154.261</b>	<b>167.117</b>	<b>321.378</b>

Tabla C.12 Población de Armenia por zonas en 2005 (ISSQ, 2009)

ZONA	URBANA	RURAL	TOTAL
POBLACIÓN	314.634	6.744	<b>321.378</b>

Tabla C.13 Afiliación al Sistema de Seguridad Social Integral de los habitantes de Armenia (ISSQ, 2009).

Afiliación al Sistema de Seguridad Social Integral				
REGIMEN	CONTRIBUTIVO	SUBSIDIADO	SIN AFILIACIÓN	TOTAL
	112.726	90.744	117.908	321.378

Estimación del Instituto Seccional de Salud del Quindío - Información y Sistemas

### C.3 DATOS ESTADÍSTICOS AGRUPADOS DE LOS EVENTOS OCUPACIONALES DE LAS EMPRESAS DEL SECTOR MADERERO QUE SUMINISTRARON LA INFORMACIÓN ESTADÍSTICA (2009).

Tabla C.14 Datos estadísticos de la empresa 1 (Universidad del Quindío, 2009)

Empresa 1				
Sección/Causa de absentismo	Hombres	Días perdidos	Mujeres	Días perdidos
<b>Administración</b>				
Accidente de trabajo	4	30	2	6
No específico (NE)	6	8	1	4
Permiso personales	0	0	0	0
Enfermedades respiratorias comunes	13	15	3	7
Enfermedades comunes	7	14	9	38
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Contratistas</b>				
Accidente de trabajo	0	0	0	0
No específico (NE)	1	10	0	0
Permiso personales	0	0	0	0
Enfermedades respiratorias comunes	0	0	0	0
Enfermedades comunes	2	11	0	0
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Lijado/Cepillado</b>				
Accidente de trabajo	3	9	6	11
No específico (NE)	8	24	13	30
Permiso personales	0	0	0	0
Enfermedades respiratorias comunes	24	36	29	52
Enfermedades comunes	30	74	61	202
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Pintura/inmunizado</b>				
Accidente de trabajo	3	7	0	0
No específico (NE)	3	6	1	1
Permiso personales	0	0	0	0
Enfermedades respiratorias comunes	15	30	0	0
Enfermedades comunes	20	41	0	0
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Carpintería</b>				
Accidente de trabajo	0	0	0	0
No específico (NE)	1	6	0	0
Permiso personales	0	0	0	0
Enfermedades respiratorias comunes	0	0	0	0
Enfermedades comunes	2	5	1	2
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Ebanistería</b>				
Accidente de trabajo	1	1	0	0
No específico (NE)	1	1	0	0
Permiso personales	0	0	0	0
Enfermedades respiratorias comunes	5	9	0	0
Enfermedades comunes	5	9	0	0
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Otras áreas</b>				
Accidente de trabajo	21	298	1	2
No específico (NE)	19	91	2	3

<b>Empresa 1</b>				
<b>Sección/Causa de absentismo</b>				
<b>Administración</b>	<b>Hombres</b>	<b>Días perdidos</b>	<b>Mujeres</b>	<b>Días perdidos</b>
Permiso personales	0	0	0	0
Enfermedades respiratorias comunes	33	86	1	6
Enfermedades comunes	47	169	1	30
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>274</b>	<b>990</b>	<b>131</b>	<b>394</b>

Tabla C.15 Datos estadísticos de la empresa 3 (Universidad del Quindío, 2009)

<b>Empresa 3</b>				
<b>Sección/Causa de absentismo</b>				
<b>Administración</b>	<b>Hombres</b>	<b>Días perdidos</b>	<b>Mujeres</b>	<b>Días perdidos</b>
Accidente de trabajo	0	0	0	0
No específico (NE)	0	0	0	0
Permiso personales	0	0	0	0
Enfermedades respiratorias comunes	0	0	0	0
Enfermedades comunes	0	0	0	0
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Contratistas</b>				
Accidente de trabajo	0	0	0	0
No específico (NE)	0	0	0	0
Permiso personales	0	0	0	0
Enfermedades respiratorias comunes	0	0	0	0
Enfermedades comunes	0	0	0	0
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Lijado/Cepillado</b>				
Accidente de trabajo	0	0	0	0
No específico (NE)	0	0	0	0
Permiso personales	1	1	0	0
Enfermedades respiratorias comunes	0	0	0	0
Enfermedades comunes	0	0	0	0
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Pintura/inmunizado</b>				
Accidente de trabajo	0	0	0	0
No específico (NE)	0	0	0	0
Permiso personales	1	1	0	0
Enfermedades respiratorias comunes	0	0	0	0
Enfermedades comunes	0	0	0	0
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Carpintería</b>				
Accidente de trabajo	0	0	0	0
No específico (NE)	0	0	0	0
Permiso personales	0	0	0	0
Enfermedades respiratorias comunes	0	0	0	0
Enfermedades comunes	0	0	0	0
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Ebanistería</b>				
Accidente de trabajo	0	0	0	0
No específico (NE)	0	0	0	0
Permiso personales	0	1	1	1
Enfermedades respiratorias comunes	0	0	0	0
Enfermedades comunes	0	0	0	0
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Otras áreas</b>				
Accidente de trabajo	0	0	0	0
No específico (NE)	0	0	0	0
Permiso personales	0	0	0	0
Enfermedades respiratorias comunes	0	0	0	0

<b>Empresa 3</b>				
<b>Sección/Causa de absentismo</b>				
<b>Administración</b>	<b>Hombres</b>	<b>Días perdidos</b>	<b>Mujeres</b>	<b>Días perdidos</b>
Enfermedades comunes	0	0	0	0
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Tabla C.16 Datos estadísticos de la empresa 4 (Universidad del Quindío, 2009)

<b>Empresa 4</b>				
<b>Sección/Causa de absentismo</b>				
<b>Administración</b>	<b>Hombres</b>	<b>Días perdidos</b>	<b>Mujeres</b>	<b>Días perdidos</b>
Accidente de trabajo	0	0	0	0
No específico (NE)	0	0	0	0
Permiso personales	0	0	0	0
Enfermedades respiratorias comunes	0	0	0	0
Enfermedades comunes	0	0	0	0
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Contratistas</b>				
Accidente de trabajo	0	0	0	0
No específico (NE)	0	0	0	0
Permiso personales	0	0	0	0
Enfermedades respiratorias comunes	0	0	0	0
Enfermedades comunes	0	0	0	0
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Lijado/Cepillado</b>				
Accidente de trabajo	0	0	0	0
No específico (NE)	0	0	0	0
Permiso personales	0	0	0	0
Enfermedades respiratorias comunes	0	0	0	0
Enfermedades comunes	0	0	0	0
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Pintura/inmunizado</b>				
Accidente de trabajo	0	0	0	0
No específico (NE)	0	0	0	0
Permiso personales	0	0	0	0
Enfermedades respiratorias comunes	0	0	0	0
Enfermedades comunes	0	0	0	0
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Carpintería</b>				
Accidente de trabajo	0	0	0	0
No específico (NE)	0	0	0	0
Permiso personales	0	0	0	0
Enfermedades respiratorias comunes	0	0	0	0
Enfermedades comunes	0	0	0	0
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Ebanistería</b>				
Accidente de trabajo	1	30	0	0
No específico (NE)	0	0	0	0
Permiso personales	0	0	0	0
Enfermedades respiratorias comunes	0	0	0	0
Enfermedades comunes	0	0	0	0
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Otras áreas</b>				
Accidente de trabajo	0	0	0	0
No específico (NE)	0	0	0	0
Permiso personales	0	0	0	0
Enfermedades respiratorias comunes	0	0	3	3
Enfermedades comunes	0	0	0	0
Enfermedades profesionales	0	0	0	0

<b>Empresa 4</b>				
<b>Sección/Causa de absentismo</b>				
<b>Administración</b>	<b>Hombres</b>	<b>Días perdidos</b>	<b>Mujeres</b>	<b>Días perdidos</b>
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>30</b>	<b>3</b>	<b>3</b>

Tabla C.17 Datos estadísticos de la empresa 7 (Universidad del Quindío, 2009)

<b>Empresa 7</b>				
<b>Sección/Causa de absentismo</b>				
<b>Administración</b>	<b>Hombres</b>	<b>Días perdidos</b>	<b>Mujeres</b>	<b>Días perdidos</b>
Accidente de trabajo	0	0	0	0
No específico (NE)	0	0	0	0
Permiso personales	0	0	8	8
Enfermedades respiratorias comunes	0	0	2	3
Enfermedades comunes	0	0	0	0
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Contratistas</b>				
Accidente de trabajo	0	0	0	0
No específico (NE)	0	0	0	0
Permiso personales	0	0	0	0
Enfermedades respiratorias comunes	0	0	0	0
Enfermedades comunes	0	0	0	0
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Lijado/Cepillado</b>				
Accidente de trabajo	0	0	0	0
No específico (NE)	0	0	0	0
Permiso personales	0	0	0	0
Enfermedades respiratorias comunes	0	0	0	0
Enfermedades comunes	0	0	0	0
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Pintura/inmunizado</b>				
Accidente de trabajo	0	0	0	0
No específico (NE)	0	0	0	0
Permiso personales	0	0	0	0
Enfermedades respiratorias comunes	0	0	0	0
Enfermedades comunes	0	0	0	0
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Carpintería</b>				
Accidente de trabajo	0	0	0	0
No específico (NE)	0	0	0	0
Permiso personales	0	0	0	0
Enfermedades respiratorias comunes	0	0	0	0
Enfermedades comunes	0	0	0	0
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Ebanistería</b>				
Accidente de trabajo	0	0	0	0
No específico (NE)	0	0	0	0
Permiso personales	0	0	0	0
Enfermedades respiratorias comunes	0	0	0	0
Enfermedades comunes	0	0	0	0
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Otras áreas</b>				
Accidente de trabajo	0	0	0	0
No específico (NE)	0	0	0	0
Permiso personales	81	85	44	45
Enfermedades respiratorias comunes	11	30	2	2
Enfermedades comunes	0	0	0	0
Enfermedades profesionales	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>92</b>	<b>115</b>	<b>56</b>	<b>58</b>



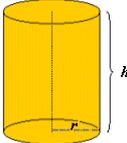
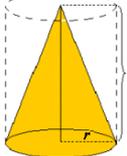
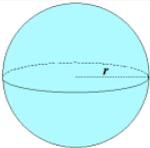
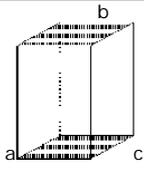
## ANEXO D

### PROPIEDADES DE LAS PARTÍCULAS DE LA MADERA

#### D.1 FACTORES DE FORMA Y ÁREAS PROYECTADAS

##### D.1.1 Formas geométricas

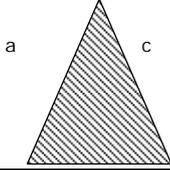
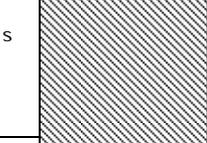
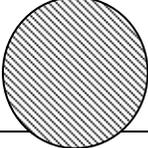
Tabla D.1 Formas geométricas utilizadas para la determinar el factor de forma de la partícula de madera (McCrone, 1973)

Forma geométrica	Áreas y volúmenes
	<p>V = Volumen            S = área de la superficie del cilindro  <math>V = 3.1416 r^2 h = 0.7854 d^2 h</math>  <math>S = 6.2832 r h = 3.1416 d h</math></p>
	<p>V = Volumen            A = Área de superficie cónica  <math>V = \frac{3.1416 r^2 h}{3} = 1.0472 r^2 h = 0.2618 d^2 h</math>  <math>A = 3.1416 \sqrt{r^2 + h^2} = 3.1416 r s = 1.5708 d s</math>  <math>s = \sqrt{r^2 + h^2} = \sqrt{\frac{d^2}{4} + h^2}</math></p>
	<p>V = Volumen            A = Área de superficie  <math>V = \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{\pi d^3}{6} = 4.1888 r^3 = 0.5236 d^3</math>  <math>A = 4\pi r^2 = \pi d^2 = 12.5664 r^2 = 3.1416 d^2</math>  <math>r = \sqrt{\frac{3V}{4\pi}} = 0.6204 \sqrt[3]{V}</math></p>
	<p>V = Volumen  <math>V = abc</math>  <math>a = V / bc</math>  <math>b = V / ac</math>  <math>c = V / ab</math></p>

Forma geométrica	Áreas y volúmenes
------------------	-------------------

## D.1.2 Áreas proyectadas

Tabla D.2 Áreas proyectadas para el cálculo del  $d_{ea}$ 

Forma geométrica	Áreas y volúmenes
<p>Área proyectada en forma de rectángulo</p> 	<p>A = Área A = h.b</p>
<p>Área proyectada en forma de triángulo</p> 	<p>A = Área <math>A = \frac{b.c}{2}</math></p>
<p>Área proyectada en forma de cuadrado</p> 	<p>A = Área <math>A = s^2</math></p>
<p>Área proyectada en forma de círculo</p> 	<p>A = Área <math>A = \pi r^2 = 3.1416r^2 = 0.7854d^2</math></p>

## D.2 MORFOLOGÍA

### - Descripción de la sub-muestra 2 de la empresa 1 y microfotografías por JSM

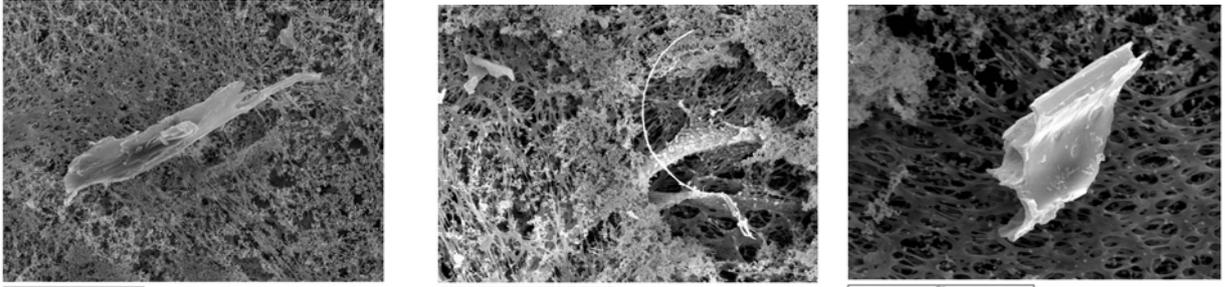


Fig. D.1 Microfotografía de la submuestra 2 de la empresa 1 con partículas de polvo de madera obtenida por el microscopio electrónico. Se aprecia fibras largas e irregulares, y fibras cortas, compactas con aristas puntiagudas ahuesadas. Además, se aprecia una fibra individual larga y curva como una hoz, que puede ser una fibra de tipo conífera.

### - Descripción de la sub-muestra 1 de la empresa 2 y microfotografías por JSM

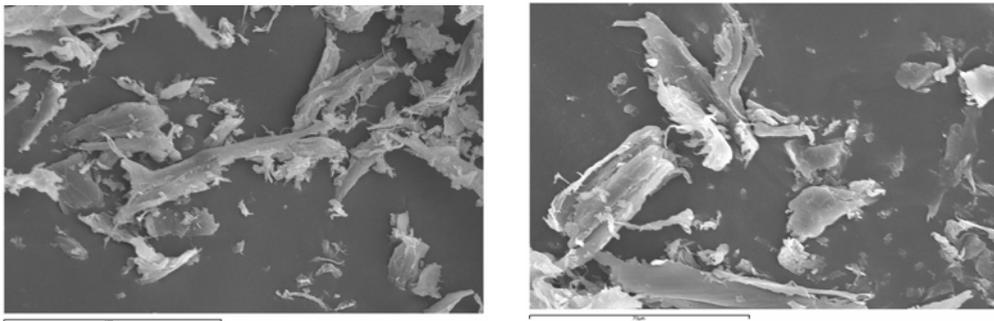


Fig. D.2 Microfotografía de la submuestra 2 de la empresa 1 con partículas de polvo de madera obtenida por el microscopio electrónico. Se aprecian fibras largas con desgarres con formas irregulares (leñosas), fibras cortas, planas con pocos desgarres, fibras individuales y en fajos. Esta muestra fue tomada de una sección del primer lijado. Se aprecian ambos tipos de madera conífera y no-conífera.

### - Descripción de la sub-muestra 1 de la empresa 3 y microfotografías por JSM

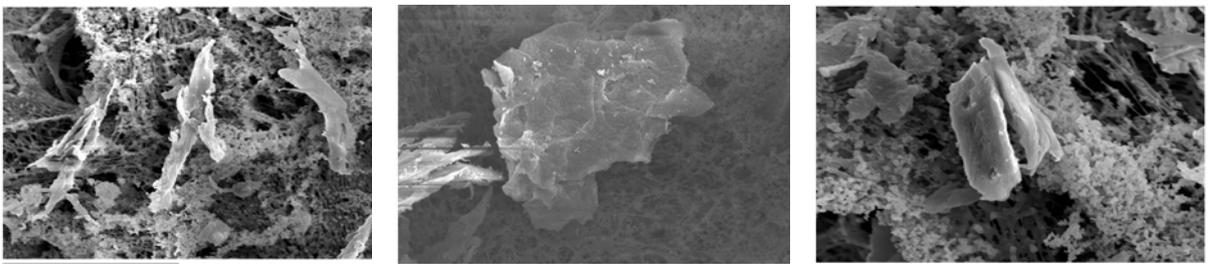


Fig. D.3 Microfotografía de la submuestra 1 de la empresa 3 con partículas de polvo de madera obtenida por el microscopio electrónico. Se observan fibras largas encintadas con desgarres y fibras planas, cortas como escamas y compactas.

**-Descripción de la sub-muestra 2 de la empresa 3 y microfotografías por JSM**

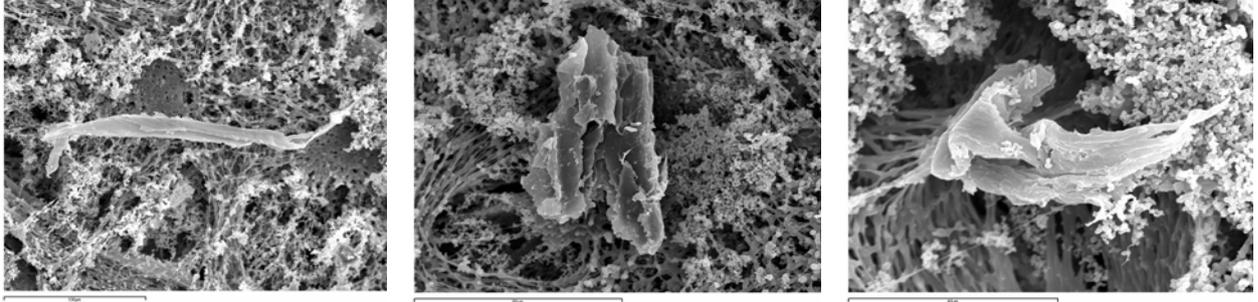


Fig. D.4. Microfotografía de la submuestra 2 de la empresa 3 con partículas de polvo de madera obtenida por el microscopio electrónico. se observan fibras largas, encintadas, individuales y en fajos; se observan fibras desgarradas e irregulares.

**- Descripción de la sub-muestra 1 de la empresa 4 y microfotografías por JSM**

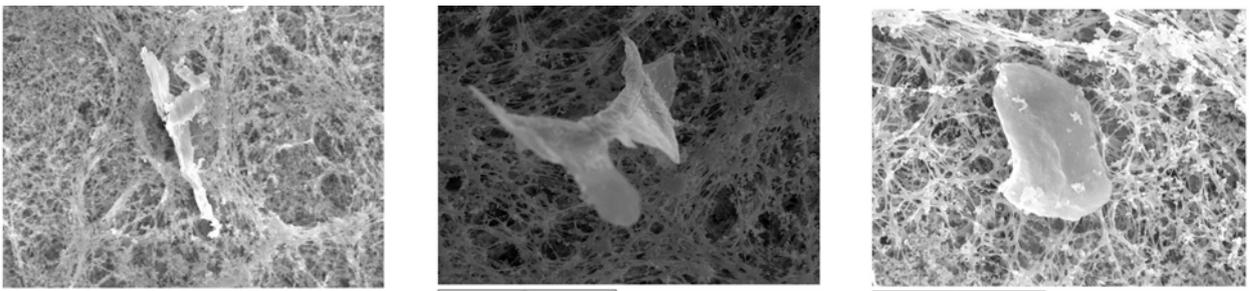


Fig. D.5 Microfotografía de la submuestra 1 de la empresa 4 con partículas de polvo de madera obtenida por el microscopio electrónico. Se observan fibras largas e irregulares, individuales, además se aprecian fibras tipo escama.

### D.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL DE LA PARTÍCULA: ANÁLISIS ELEMENTAL EDXRA

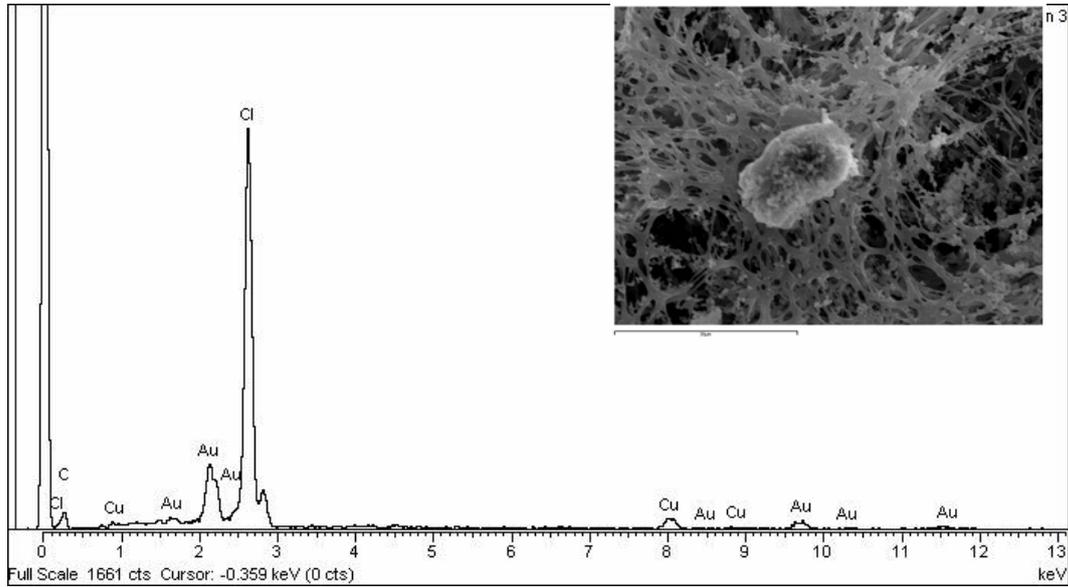


Fig. D.6 Microfotografía de una partícula de polvo de madera obtenida por el microscopio electrónico con su respectivo espectro (submuestra 1 de la empresa 4). El espectro establece la presencia de Cu, que puede ser un componente de inmunizantes.

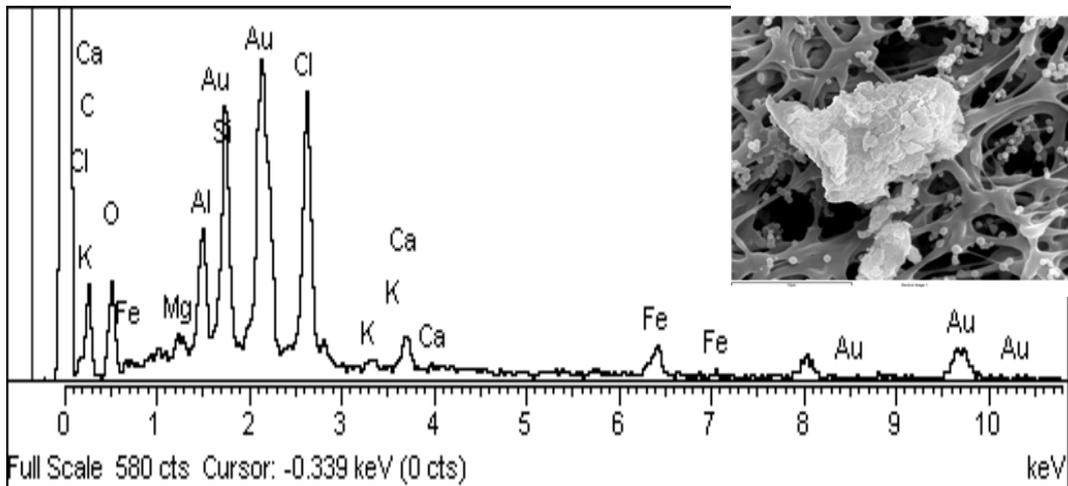


Fig. D.7 Microfotografía de una partícula de polvo de madera obtenida por el microscopio electrónico con su respectivo espectro (submuestra 1 de la empresa 4). El espectro establece la presencia de Ca, Fe, K, Mg y Al que pueden ser característicos de los componentes de pinturas y barnices.

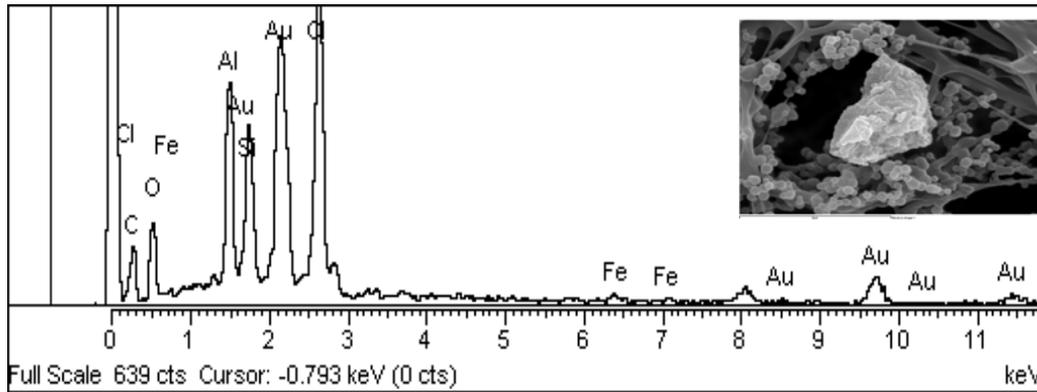


Fig. D.8 Microfotografía de una partícula de polvo de madera obtenida por el microscopio electrónico con su respectivo espectro (submuestra 2 de la empresa 1). El espectro establece la presencia de Fe, Si y Al que pueden ser características de los componentes de pinturas y barnices.

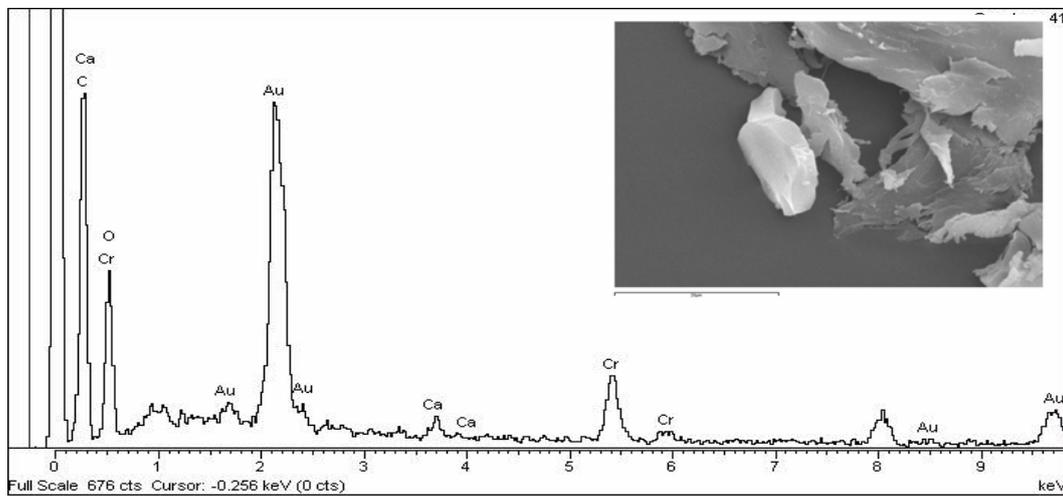


Fig. D.9 Microfotografía de una partícula de polvo de madera obtenida por el microscopio electrónico con su respectivo espectro (submuestra 2 de la empresa 2). El espectro establece la presencia de Ca y Cr, que pueden ser característicos de los componentes de pinturas y barnices.

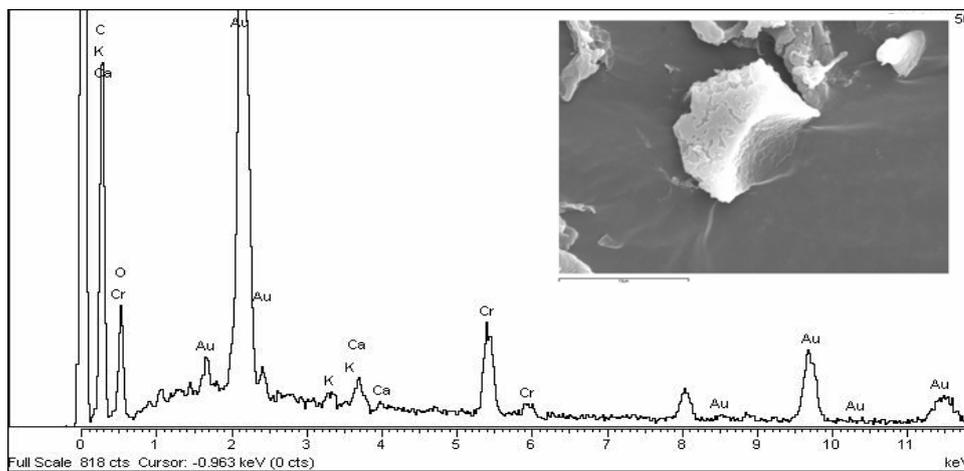


Fig. D.10 Microfotografía de una partícula de polvo de madera obtenida por el microscopio electrónico con su respectivo espectro (submuestra 2 de la empresa 2). El espectro establece la presencia de Ca, Cr y K, que pueden ser característicos de los componentes de pinturas y barnices.

## D.4 TABLAS DE DIÁMETROS EQUIVALENTES AERODINÁMICO DE LAS PARTÍCULAS ( $d_{ea}$ )

Tabla D.3: Diámetro equivalente aerodinámico ( $d_{ea}$ ) de las partículas de madera. Datos de las partículas de forma cilíndrica (muestra 1)

<b>h</b>	<b>d</b>	<b>D</b>	<b><math>d_{n1}</math></b>	<b><math>d_{n2}</math></b>	<b>ds</b>	<b><math>k_{d1}</math></b>	<b><math>k_{d2}</math></b>	<b>K</b>	<b><math>d_{ea}</math></b>
57,27	10,27	1,5	15,91	27,37	25,32	1,39	0,95	1,17	<b>33,57</b>

donde:

- h = altura,
- d = diámetro,
- D = densidad de la partícula de la madera,
- $d_{n1}$  = diámetro de la esfera con un área proyectada igual a la del objeto 1,
- $d_{n2}$  = diámetro de la esfera con un área proyectada igual a la del objeto 2,
- ds = diámetro de la esfera
- $K_{d1}$  = orientación del factor de forma dinámico 1,
- $K_{d2}$  = orientación del factor de forma dinámico 2,
- K = la media de todas las orientaciones del factor de forma dinámico,
- $D_{ae}$  = diámetro equivalente aerodinámico.

Tabla D.4 Diámetro equivalente aerodinámico ( $d_{ea}$ ) de las partículas de madera. Datos de las partículas de forma cilíndrica (muestra 2)

<b>h</b>	<b>d</b>	<b>D</b>	<b><math>d_{n1}</math></b>	<b><math>d_{n2}</math></b>	<b>ds</b>	<b><math>k_{d1}</math></b>	<b><math>k_{d2}</math></b>	<b>K</b>	<b><math>d_{ea}</math></b>
3,26	0,96	1,5	0,48	2,00	1,89	2,97	0,97	1,97	<b>3,25</b>
3,77	0,94	1,5	0,47	2,12	2,00	3,17	0,96	2,06	<b>3,51</b>
1,78	0,89	1,5	0,45	1,42	1,41	2,44	0,99	1,72	<b>2,26</b>
3,57	3,03	1,5	1,52	3,71	3,93	2,06	1,04	1,55	<b>5,98</b>
3,57	1,25	1,5	0,63	2,38	2,29	2,78	0,97	1,87	<b>3,84</b>
10,58	4,23	1,5	2,12	7,55	7,33	2,64	0,98	1,81	<b>12,08</b>
1,76	0,35	1,5	0,18	0,89	0,82	3,47	0,95	2,21	<b>1,50</b>
22,33	1,09	1,5	0,55	5,57	4,99	6,44	0,93	3,69	<b>11,74</b>

Tabla D.5 Diámetro equivalente aerodinámico ( $d_{ea}$ ) de las partículas de madera. Datos de las partículas de forma cónica (muestra 1)

<b>h</b>	<b>d</b>	<b>D</b>	<b><math>d_{n1}</math></b>	<b><math>d_{n2}</math></b>	<b>ds</b>	<b><math>k_{d1}</math></b>	<b><math>k_{d2}</math></b>	<b>K</b>	<b><math>d_{ea}</math></b>
68,57	34,28	1,5	17,14	38,68	34,81	1,69	0,93	1,31	<b>48,79</b>
42,82	25,71	1,5	12,855	26,47	23,97	1,58	0,94	1,26	<b>32,92</b>

Tabla D.6 Diámetro equivalente aerodinámico ( $d_{ea}$ ) de las partículas de madera. Datos de las partículas de forma cónica (muestra 2)

<b>h</b>	<b>d</b>	<b>D</b>	<b><math>d_{n1}</math></b>	<b><math>d_{n2}</math></b>	<b>ds</b>	<b><math>k_{d1}</math></b>	<b><math>k_{d2}</math></b>	<b>K</b>	<b><math>d_{ea}</math></b>
2,84	2,36	1,5	1,18	2,07	1,90	1,41	0,95	1,18	2,53
1,89	2,36	1,5	1,18	1,69	1,62	1,25	0,97	1,11	2,09
5,2	1,89	1,5	0,94	2,50	2,23	1,91	0,93	1,42	3,26
3,22	1,32	1,5	0,66	1,64	1,47	1,82	0,93	1,38	2,12
6,19	5,71	1,5	2,85	4,74	4,41	1,36	0,95	1,16	5,82
13,46	3,15	1,5	1,57	5,20	4,62	2,29	0,93	1,61	7,17
10,5	5,05	1,5	2,52	5,81	5,22	1,71	0,93	1,32	7,35
6,86	4,04	1,5	2,02	4,20	3,80	1,59	0,94	1,26	5,23
2,8	2,26	1,5	1,13	2,01	1,85	1,42	0,95	1,18	2,46
12,09	6,77	1,5	3,38	7,22	6,52	1,62	0,94	1,28	9,02
13,7	5,3	1,5	2,65	6,80	6,08	1,86	0,93	1,40	8,80
6,25	3,21	1,5	1,60	3,57	3,22	1,67	0,93	1,30	4,50
21,95	13,9	1,5	6,03	12,99	11,72	1,63	0,94	1,28	16,25

h	d	D	d <sub>n1</sub>	d <sub>n2</sub>	ds	k <sub>d1</sub>	k <sub>d2</sub>	K	d <sub>ea</sub>
12,07	7,31	1,5	3,65	8,04	7,25	1,66	0,93	1,29	10,10
4,39	3,65	1,5	1,82	3,19	2,95	1,41	0,95	1,18	3,92
9,14	6,58	1,5	3,29	6,19	5,65	1,48	0,94	1,21	7,62
15,88	7,05	1,5	3,52	8,44	7,57	1,77	0,93	1,35	10,77
36	4,58	1,5	2,29	10,25	9,09	2,98	0,92	1,95	15,55
10,58	1,41	1,5	0,70	3,08	2,73	2,92	0,92	1,92	4,64

Tabla D.7 Diámetro equivalente aerodinámico (d<sub>ea</sub>) de las partículas de madera. Datos de las partículas de forma prisma rectangular (muestra 1)

a	b,c	D	d <sub>n1</sub>	d <sub>n2</sub>	ds	k <sub>d1</sub>	k <sub>d2</sub>	K	d <sub>ea</sub>
142,85	11,9	1,5	80,24	23,26	6,71	2,63	8,30	5,47	229,79
40	18	1,5	64,23	15,14	10,16	3,16	4,55	3,86	154,46

Tabla D.8 Diámetro equivalente aerodinámico (d<sub>ea</sub>) de las partículas de madera. Datos de las partículas de forma prisma rectangular (muestra 2)

a	b,c	D	d <sub>n1</sub>	d <sub>n2</sub>	ds	k <sub>d1</sub>	k <sub>d2</sub>	K	d <sub>ea</sub>
2,87	1,56	1,5	1,19	0,88	1,49	1,17	1,46	1,31	2,09
3,31	0,75	1,5	0,89	0,42	0,77	0,91	1,55	1,23	0,75
2,81	0,75	1,5	0,82	0,42	0,71	0,91	1,45	1,18	0,65
3,57	1,78	1,5	1,42	1,00	1,90	1,22	1,59	1,41	3,10
4,1	2,67	1,5	1,87	1,51	3,05	1,42	1,68	1,55	6,64
12,8	6,58	1,5	5,18	3,71	13,28	2,04	2,72	2,38	25,10

Tabla D.9 Diámetro equivalente aerodinámico (d<sub>ea</sub>) de las partículas de madera. Datos de las partículas de forma esférica (muestra 1 y 2)

ds	K	D	D <sub>ea</sub>	ds	K	D	d <sub>ea</sub>
10,8	1	1,5	13,23	2,82	1	1,5	3,45
7,41	1	1,5	9,08	2,13	1	1,5	2,61
39,28	1	1,5	48,11	2,96	1	1,5	3,63
42,4	1	1,5	51,93	8,49	1	1,5	10,40
-	-	-	-	7,54	1	1,5	9,23
-	-	-	-	5,48	1	1,5	6,71
-	-	-	-	6,6	1	1,5	8,08
-	-	-	-	7,31	1	1,57	8,95

## D.5 TABLAS DE DATOS DE LAS ÁREAS DE PARTÍCULAS ASTM E-112

Tabla D.10 Área de las partículas ASTM E-112 a partir de las microfotografías tomadas por JEM de las muestras de las empresas 4 y 2.

Muestra dato del imagen	Escala	Factor Calibración	Unidades Base	Conteo del campo	Área del campo	Área Total
M2_01	100	0,552486188	µm	1	101271,634	101271,634
M2_02	100	0,552486188	µm	1	101271,634	101271,634
M2_03	100	0,552486188	µm	1	101271,634	101271,634
M2_04	100	0,552486188	µm	1	101271,634	101271,634
M2_05	100	0,552486188	µm	1	101271,634	101271,634

Muestra dato del imagen	Escala	Factor Calibración	Unidades Base	Conteo del campo	Área del campo	Área Total
M2_06	100	0,552486188	µm	1	101271,634	101271,634
M2_07	100	0,552486188	µm	1	101271,634	101271,634
M2_08	100	0,552486188	µm	1	101271,634	101271,634
M2_09	100	0,552486188	µm	1	101271,634	101271,634
M2_10	100	0,552486188	µm	1	101271,634	101271,634
M2_11	100	0,552486188	µm	1	101271,634	101271,634
M2_12	100	0,552486188	µm	1	101271,634	101271,634
M2_13	100	0,552486188	µm	1	101271,634	101271,634
M4_01	100	0,552486188	µm	1	101271,634	101271,634
M4_02	100	0,552486188	µm	1	101271,634	101271,634
M4_03	100	0,552486188	µm	1	101271,634	101271,634
M4_04	100	0,552486188	µm	1	101271,634	101271,634
M4_05	100	0,552486188	µm	1	101271,634	101271,634
M4_06	60	0,218181818	µm	1	15793,63438	15793,63438
M4_07	60	0,218181818	µm	1	15793,63438	15793,63438
M4_08	60	0,218181818	µm	1	15793,63438	15793,63438
M4_09	60	0,218181818	µm	1	15793,63438	15793,63438
M4_10	60	0,218181818	µm	1	15793,63438	15793,63438
M4_11	40	0,145454545	µm	1	7019,393058	7019,393058
M4_12	40	0,145454545	µm	1	7019,393058	7019,393058
m4_13	40	0,145454545	µm	1	7019,393058	7019,393058
M4_14	40	0,145454545	µm	1	7019,393058	7019,393058
M4_15	40	0,145454545	µm	1	7019,393058	7019,393058
	40	0,145454545	µm	1	7019,393058	7019,393058
M4_16	30	0,109090909	µm	1	3948,408595	3948,408595
M4_17	30	0,109090909	µm	1	3948,408595	3948,408595
M4_18	30	0,109090909	µm	1	3948,408595	3948,408595

<b>Muestra dato del imagen</b>	<b>Escala</b>	<b>Factor Calibración</b>	<b>Unidades Base</b>	<b>Conteo del campo</b>	<b>Área del campo</b>	<b>Área Total</b>
<b>M4_19</b>	30	0,109090909	<b>µm</b>	1	3948,408595	3948,408595
<b>M4_20</b>	30	0,109090909	<b>µm</b>	1	3948,408595	3948,408595
	30	0,109090909	<b>µm</b>	1	3948,408595	3948,408595

Tabla No. D.11 Tamaño del grano ASTM E-112 de la muestra de la empresa 4

Vuestra	Imagen	Objeto	Objeto imagen	Área	ASTM E-112 96	Diámetro, Circular	Diámetro, Esfera	Feret, 0°	Feret, 45°	Feret, 90°	Feret, 135°	Feret, Avg	Esfericidad
M4	_01	1	1	484,1122066	7,943554853	24,82721905	30,40589516	34,25414365	27,50849055	26,51933702	29,07115747	29,34676952	0,225240861
		2	2	27,4716889	11,83554683	5,914223589	7,24314963	7,182320442	5,240486947	8,839779006	10,31915444	8,077732237	0,392218713
		3	3	18,92494124	12,34099058	4,908765993	6,011765711	4,972375691	4,849820217	6,629834254	6,803153867	5,956179918	0,472022967
		4	4	51,89096792	11,01027435	8,128322851	9,954756996	9,944751381	7,193820597	9,392265193	13,44448828	10,12773161	0,38924102
		5	5	35,71319557	11,50993452	6,743252395	8,258461208	4,972375691	9,928487706	10,49723757	7,975154057	8,557630623	0,4242353
		6	6	1855,254724	6,063432588	48,60230118	59,52323825	38,12154696	76,3418318	101,6574586	72,04449777	72,37886435	0,20173514
		7	7	30,21885779	11,73325493	6,202890031	7,596679421	6,629834254	7,193820597	8,839779006	7,193820597	7,417771667	0,445067098
		8	8	23,50355606	12,06412581	5,47043481	6,699641512	6,629834254	6,021820407	5,524861878	6,803153867	6,30424213	0,468296741
		9	9	126,9802509	9,810883907	12,71519866	15,57230379	19,33701657	14,61648847	12,70718232	17,35115558	15,96092847	0,369703962
		10	1	32,05030371	11,54599917	6,388091586	7,823495765	11,60220994	4,849820217	9,392265193	13,44448828	9,950701614	0,230621928
M4	_02	11	2	13,43060346	12,78553916	4,13526002	5,064452947	5,524861878	4,459153487	4,419889503	5,631153677	5,046347069	0,508639192
		12	3	30,52409878	11,74620982	6,234139045	7,634950088	7,182320442	5,240486947	7,73480663	9,928487706	7,533005379	0,531431706
		13	4	727,3892738	7,368042888	30,43256131	37,27075784	32,59668508	33,3684915	56,35359116	49,77649416	42,87214767	0,183277191
		14	5	62,57440249	10,72179903	8,925928733	10,93158492	8,839779006	12,66315482	16,57458564	14,22582174	13,09648245	0,28104498
		15	6	79,66789781	10,34067927	10,07155986	12,33463936	9,944751381	20,08582268	22,6519337	15,0071552	16,74751164	0,175638466
		16	7	29,60837581	11,61047893	6,139914897	7,519553774	6,629834254	8,756487517	12,70718232	13,05382155	10,32929946	0,194550457
		17	8	57,69054669	10,91825459	8,57052422	10,49632101	7,73480663	8,756487517	11,04972376	9,537820976	9,431743712	0,591704987
		18	9	13,12536247	12,84430372	4,087998354	5,006571584	4,972375691	2,896486567	4,972375691	6,412487137	4,908221113	0,594744289
		19	1	17,70397729	12,39455305	4,747778848	5,814604755	4,419889503	5,631153677	7,182320442	7,193820597	6,182229343	0,401106613
		20	2	23,19831507	12,08043906	5,434796419	6,655995175	4,419889503	6,412487137	8,287292818	7,584487327	6,731999333	0,467189312
21	3	35,40795458	11,54570184	6,714373237	8,223092904	7,73480663	6,412487137	8,287292818	8,756487517	7,832910663	0,505526341		
22	4	43,95470224	11,2238158	7,480966854	9,161940106	11,04972376	6,412487137	9,392265193	13,83515501	10,21616892	0,378840723		
23	5	122,0963951	9,838921103	12,46827809	15,26990018	13,8121547	16,96048885	16,57458564	14,61648847	15,83927134	0,285835504		
24	6	43,95470224	11,17541578	7,480966854	9,161940106	11,60220994	12,66315482	8,287292818	7,193820597	10,03649417	0,273797222		
25	7	1422,117762	6,422666311	42,55228045	52,11377787	54,14364641	62,66849625	68,50828729	56,41782857	59,34182574	0,143725878		
26	8	21,06162816	12,22324167	5,178464815	6,342065859	5,524861878	5,631153677	6,077348066	6,021820407	5,88092109	0,525315882		
27	9	66,84777632	10,68740713	9,225683297	11,29869433	14,91712707	13,83515501	7,182320442	11,1004879	11,75416453	0,430639103		
28	10	68,67922225	10,62507026	9,351208567	11,45242513	11,04972376	9,537820976	9,944751381	11,88182136	10,70038767	0,342857547		
29	11	56,16434175	10,94936055	8,456397632	10,35655018	9,944751381	9,147154246	9,392265193	9,147154246	9,440227398	0,565544957		
M4	_03	30	12	23,50355606	12,10744157	5,47043481	6,699641512	5,524861878	5,240486947	6,077348066	7,584487327	6,212726085	0,618398155

Vuestra	Imagen	Objeto	Objeto imagen	Área	ASTM E-112 96	Diámetro, Circular	Diámetro, Esfera	Feret, 0°	Feret, 45°	Feret, 90°	Feret, 135°	Feret, Avg	Esfericidad	
			31	13	45,48090718	11,17289954	7,609736497	9,319644287	7,182320442	11,49115463	12,70718232	7,584487327	9,764507624	0,361777603
			32	14	21,67211013	12,20444016	5,25297893	6,433323295	5,524861878	6,021820407	6,077348066	6,021820407	5,897931616	0,587482397
			33	15	26,25072495	11,92786051	5,781302715	7,080361435	4,419889503	7,193820597	8,287292818	7,584487327	6,98003439	0,48482095
			34	16	14,04108544	12,68233708	4,228198816	5,17827509	6,077348066	6,021820407	4,419889503	4,459153487	5,300722701	0,401557069
			35	17	29,60837581	11,69756078	6,139914897	7,519553774	8,839779006	7,584487327	7,182320442	7,193820597	7,69462102	0,30561548
			36	18	16,48301334	12,49892919	4,581137894	5,610519578	3,314917127	6,021820407	7,73480663	6,021820407	5,925477408	0,433681823
			37	1	1827,477794	6,106086941	48,23709148	59,07596593	65,19337017	54,07382819	44,75138122	61,88716279	56,29023044	0,41604589
			38	2	23,80879705	11,99926644	5,505842525	6,74300534	9,944751381	5,631153677	6,077348066	10,31915444	8,03584583	0,353899832
			39	3	463,3558194	7,951962109	24,28915298	29,74692566	59,1160221	63,44982971	40,8839779	28,28982401	47,97052111	0,11167173
			40	4	11,90439852	12,96954115	3,893218586	4,768024802	4,972375691	4,459153487	3,314917127	5,240486947	4,629606015	0,603995139
			41	5	8,24150667	13,40970114	3,23935367	3,96723644	3,867403315	4,459153487	3,314917127	3,677820027	3,889213423	0,56593093
			42	6	27,16644791	11,90177284	5,881275012	7,202797508	7,73480663	7,584487327	5,524861878	7,193820597	7,004534291	0,547103274
M4	_04		43	7	36,93415952	11,49439515	6,857552949	8,398445097	7,182320442	7,975154057	8,287292818	9,537820976	8,251999998	0,520640977
			44	1	22,89307408	12,12318351	5,398922783	6,612060733	6,077348066	4,849820217	6,077348066	7,193820597	6,118219299	0,548402722
			45	2	1676,688746	6,204885687	46,20418179	56,58626144	92,26519337	57,58982876	39,77900552	87,67116696	69,54197677	0,196599479
			46	3	72,64735509	10,54989126	9,617561298	11,77862732	11,04972376	9,147154246	14,91712707	15,78848866	12,81021756	0,340357914
			47	4	69,9001862	10,60888735	9,433964238	11,553776	11,04972376	8,756487517	13,8121547	15,78848866	12,29199941	0,364022001
M4	_05		48	5	23,50355606	12,08903515	5,47043481	6,699641512	5,524861878	6,021820407	6,629834254	6,412487137	6,249045946	0,547446251
			49	1	22,27834711	12,33498468	5,325943346	6,522682816	7,418181818	5,617906329	5,018181818	7,469240447	6,384330639	0,382332786
			50	2	61,26545455	10,9319453	8,832077867	10,81664576	11,34545455	10,55479731	9,381818182	9,629130251	10,2638103	0,307539795
M4	_06		51	3	368,4971901	8,412345794	21,66068315	26,52783865	33,6	29,37669418	18,10909091	27,52536006	26,98853885	0,276736834
			52	1	537,7269421	7,874718135	26,1659169	32,04539842	44,29090909	39,25047614	24	31,84513967	34,85535715	0,257799143
			53	2	116,8185124	10,03647672	12,19581689	14,93621694	8,727272727	16,88018888	19,63636364	14,41174339	15,06633356	0,327672272
			54	3	24,84892562	12,19953562	5,624823086	6,888720833	6,763636364	6,235017702	5,236363636	7,006406918	6,423878647	0,452753329
			55	4	13,90016529	12,92488767	4,206927635	5,152224274	5,454545455	4,075127897	8,509090909	8,857741036	6,703264789	0,253687789
			56	5	11,28198347	13,23306037	3,790074867	4,64170469	3,490909091	4,229405741	6,545454545	5,926462015	5,12606991	0,331313458
			57	6	33,08429752	11,80010894	6,49031863	7,948693226	9,818181818	6,543573388	6,109090909	10,863353	8,331050829	0,410949422
			58	7	43,03338843	11,43655479	7,40214914	9,065412052	8,290909091	9,629130251	8,727272727	8,549185349	8,768550757	0,402859274
M4	_07		59	8	12,23404959	13,18043922	3,946755088	4,833590957	4,145454545	3,766572211	4,145454545	5,463628486	4,488827932	0,560001163

Vuestra	Imagen	Objeto	Objeto imagen	Área	ASTM E-112 96	Diámetro, Circular	Diámetro, Esfera	Feret, 0°	Feret, 45°	Feret, 90°	Feret, 135°	Feret, Avg	Esfericidad
M4	_08	60	1	148,7127273	9,701635384	13,76033885	16,85228699	17,01818182	13,17752064	16,36363636	21,04569065	16,99421352	0,362512207
		61	2	742,2783471	7,424006309	30,74244858	37,65027678	28,8	33,07936241	42,54545455	38,17053124	35,41197576	0,3942768
		62	3	254,1540496	8,952739851	17,98885728	22,03095352	24,87272727	13,64035417	20,72727273	25,82830378	21,49157237	0,477560229
M4	_09	63	1	328,32	8,552805331	20,44578214	25,03994939	45,6	32,15369535	18,98181818	37,39914202	33,41541016	0,139006293
		64	2	24,6585124	12,19760853	5,603230595	6,862276509	6,327272727	5,1550728	8,072727273	7,932073977	6,858083971	0,385621864
M4	_10	65	1	28,84760331	11,93389802	6,060520547	7,422319514	11,12727273	7,160684761	6,763636364	9,629130251	8,609747694	0,216000874
		66	2	242,6816529	8,970207283	17,57816479	21,52797841	25,74545455	19,34863437	28,8	33,85075163	26,82463826	0,122283744
		67	3	464,7034711	8,065180656	24,32444935	29,79015311	35,56363636	48,66142457	37,96363636	21,35424633	35,72513431	0,143622126
		68	4	11,56760331	13,23465259	3,837750639	4,700093208	5,018181818	2,686627309	4,8	6,697851231	4,89580116	0,452109943
M4	_11	69	1	137,4571901	9,833406422	13,22935864	16,20199553	8	19,89301847	29,23636364	24,72705756	20,67406557	0,31062502
		70	2	9,541818182	13,52509493	3,485544468	4,26874631	6,836363636	4,156678468	4,072727273	7,242235331	5,515912066	0,27600405
		71	3	58,81652893	11,01986229	8,653758173	10,59825763	13,38181818	11,56201494	9,018181818	13,72190474	11,92618311	0,248986325
		72	4	25,79041322	12,21245667	5,730390387	7,018009107	6,690909091	5,390901213	5,963636364	7,345087227	6,370099728	0,610000528
		73	5	12,03834711	13,28089877	3,915060611	4,794774731	3,927272727	4,053826572	4,509090909	4,259530363	4,225567807	0,713837295
		74	6	18,30082645	12,6994802	4,827145734	5,91180538	4,945454545	5,288049318	5,090909091	5,390901213	5,207203997	0,723548967
M4	_12	75	1	5,204628099	14,42779606	2,574245193	3,152678087	2,763636364	2,922455722	2,909090909	2,922455722	2,852815766	0,686334089
		76	2	28,01190083	12,07655972	5,972090074	7,314018714	6,981818182	7,242235331	6,545454545	7,447939122	7,000986928	0,396151241
		77	3	11,99603306	13,23719052	3,908173956	4,786340644	4,8	4,362382259	4,363636364	5,90516069	4,889517732	0,352531756
		78	4	5,246942149	14,41028319	2,584688421	3,165467909	2,327272727	2,408196245	3,490909091	3,539567095	2,951839015	0,637083433
M4	_13	79	1	30,65652893	11,94902943	6,247647952	7,651494447	4,363636364	9,607828926	12,21818182	9,196421345	8,904457561	0,381010999
		80	2	197,0142149	9,322388988	15,83812771	19,396955	20,94545455	16,29320213	18,47272727	22,36146396	19,46274299	0,300763816
M4	_14	81	1	43,41421488	11,4240814	7,434829869	9,105436141	10,47272727	8,990717554	12,65454545	11,04775546	10,79795302	0,178167958
		82	2	31,27008264	11,92569049	6,309857826	7,72768288	4,945454545	7,859346704	10,90909091	9,813532717	8,410295726	0,415447116
		83	3	250,6261157	8,969458897	17,86356855	21,87751241	31,56363636	21,12724122	21,96363636	33,57232057	26,73076597	0,187803329
M4	_15	84	1	7,468429752	13,9006206	3,083682879	3,776586422	3,781818182	4,876641736	3,927272727	2,511048141	3,786798376	0,445907561

Muestra	Imagen	Objeto	Objeto imagen	Área	ASTM E-112 96			Feret, 0°	Feret, 45°	Feret, 90°	Feret, 135°	Feret, Avg	Esfericidad
					Diámetro, Circular	Diámetro, Esfera							
		85	2	93,64099174	10,38053587	10,91913063	13,37265928	11,34545455	16,39605403	16,72727273	13,31049716	14,52251325	0,362494692
		86	3	11,65752066	13,29214679	3,852637577	4,71832524	3,490909091	4,56808605	5,236363636	4,979493631	4,576462918	0,432912279
		87	4	6,495206612	14,08056863	2,875752755	3,521934399	2,618181818	4,053826572	4,8	3,745270886	3,793949828	0,407873834
		88	1	4,379504132	14,66015204	2,361388966	2,891993066	2,327272727	2,922455722	2,763636364	2,202492454	2,582343335	0,677988027
		89	2	27,01752066	12,1291809	5,865132199	7,183027404	6,545454545	6,110864481	6,836363636	7,756494808	6,7891667	0,414534888
		90	3	88,09785124	10,46020197	10,59101827	12,97082008	15,12727273	15,47038697	9,454545455	12,487682	13,06750943	0,297906432
		91	4	71,78578512	10,76554457	9,560360891	11,70857398	14,10909091	10,2249403	7,709090909	12,69338579	11,2930553	0,498042117
		92	5	37,72297521	11,66437167	6,930395644	8,487655545	8	8,373606181	6,690909091	8,785013763	8,091617232	0,422047872
		93	1	20,77884298	12,52553344	5,143582853	6,299345921	5,890909091	5,200259734	6,436363636	5,585954342	5,907496857	0,439314847
		94	2	95,50413223	10,3630105	11,02722258	13,50503949	15,38181818	10,90853993	10,36363636	13,76268003	12,75679047	0,295586191
<b>M4</b>	<b>_16</b>	95	3	14,44760331	13,03512994	4,288969556	5,252701016	4,8	3,657481302	5,781818182	6,280204636	5,155352902	0,461454743
		96	1	8,068760331	13,85017736	3,205224599	3,925438566	3,381818182	3,811759145	3,818181818	3,734620224	3,66635685	0,524954137
		97	2	88,92297521	10,4677982	10,64050039	13,03142082	12,87272727	10,13715072	13,96363636	16,77109797	13,32126274	0,341000277
		98	3	19,58876033	12,6158278	4,994114965	6,116292598	4,581818182	5,277398655	6	5,894510028	5,493513626	0,527253848
<b>M4</b>	<b>_17</b>	99	4	8,497190083	13,74627976	3,289218514	4,028305914	4,145454545	2,191841792	5,672727273	6,665899244	4,725196735	0,324953347
		100	1	5,42677686	14,41117262	2,628609309	3,21925782	2,727272727	2,731814243	3,272727273	2,808953165	2,938408189	0,655503394
		101	2	29,57355372	12,03844578	6,136303291	7,51513064	7,745454545	4,351731596	7,2	9,211483656	7,161495715	0,552852737
		102	3	68,96528926	10,82651409	9,37066345	11,47625153	11,12727273	7,591566303	12,43636364	14,53406925	11,55023871	0,324903589
<b>M4</b>	<b>_18</b>	103	4	11,37719008	13,35546422	3,806033148	4,661248796	3,381818182	5,740232185	6,109090909	4,04317591	4,869862165	0,378456136
		104	1	9,889586777	13,50766321	3,548494465	4,345841171	3,054545455	5,123120812	8,945454545	8,208677675	6,332024624	0,21794224
		105	2	2,130247934	15,65151883	1,646911021	2,016971927	1,963636364	1,574730419	2,290909091	2,500397478	2,061149301	0,492261036
		106	3	7,140495868	14,00598729	3,015221668	3,692741977	4,909090909	2,268980713	3,272727273	5,200259734	3,971458227	0,435763999
		107	4	8,223471074	13,83310638	3,235807251	3,962893141	3,6	2,886092086	3,709090909	4,351731596	3,643435348	0,612634166
<b>M4</b>	<b>_19</b>	108	5	12,29355372	13,26170871	3,956341585	4,84533154	5,127272727	4,814565126	3,381818182	4,814565126	4,5422405	0,479653186
		109	1	5,200661157	14,46958751	2,573263967	3,15147638	3,272727273	3,194647772	2,181818182	2,5775364	2,821608499	0,654514859
		110	2	6,069421488	14,23298568	2,779897022	3,404539883	3,709090909	2,731814243	2,618181818	3,657481302	3,173165754	0,462770389
		111	3	12,7338843	13,21862491	4,026572369	4,931343181	4,581818182	5,354537577	4,8	3,657481302	4,599633298	0,537765776
<b>M4</b>	<b>_20</b>	112	4	4,498512397	14,64169443	2,393258004	2,931023078	4,145454545	3,271786694	1,636363636	3,117508851	3,088414677	0,465536848

Muestra	Imagen	Objeto	Objeto imagen	Área	ASTM E-112 96				Feret, 0°	Feret, 45°	Feret, 90°	Feret, 135°	Feret, Avg	Esfericidad
					Diámetro, Circular	Diámetro, Esfera	Feret, 0°	Feret, 45°						
		113	5	17,44661157	12,79406042	4,713142876	5,772186081	4,581818182	4,814565126	5,127272727	4,968842969	4,922014936	0,792476174	
		114	1	298,353719	8,750376676	19,49040157	23,8698948	18,87272727	19,23954346	20,94545455	20,55090513	19,93378941	0,593333086	
		115	2	29,22842975	12,04333405	6,100392823	7,47115109	6	5,663093263	8,4	8,285816597	7,078266106	0,399205265	
		116	3	11,90082645	13,29697147	3,892634435	4,767309393	2,727272727	5,740232185	7,418181818	4,968842969	5,20478618	0,402692659	
		117	4	10,08	13,53684006	3,582492793	4,387478923	4,254545455	4,428870518	3,927272727	3,503203459	4,036706988	0,477899768	
		<b>Máximo</b>		1855,254724	15,65151883	48,60230118	59,52323825	92,26519337	76,3418318	101,6574586	87,67116696	72,37886435	0,792476174	
		<b>Mínimo</b>		2,130247934	6,063432588	1,646911021	2,016971927	1,963636364	1,574730419	1,636363636	2,202492454	2,061149301	0,11167173	

Tabla D.12 Tamaño del grano ASTM E-112 de la muestra de la empresa 2

Muestra	Imagen	Objeto	Objeto imagen	Área	ASTM E-112 96				Feret, 0°	Feret, 45°	Feret, 90°	Feret, 135°	Feret, Avg	Esfericidad
					Diámetro, Circular	Diámetro, Esférico	Feret, 0°	Feret, 45°						
		1	1	1041,48225	6,854118612	36,41505713	44,59752047	67,40331492	64,6218299	48,06629834	63,84049644	60,89479353	0,137360115	
		2	2	49,14379903	11,1021807	7,910235667	9,687665621	8,839779006	5,631153677	12,15469613	13,83515501	10,33606802	0,457131355	
		3	3	236,5617655	8,903768268	17,3551086	21,25480151	18,78453039	26,33649036	31,49171271	27,11782382	25,81484804	0,179025327	
		4	4	210,3110406	9,094309284	16,36387282	20,04083504	12,70718232	25,5551569	32,59668508	27,11782382	24,79213523	0,254049197	
		5	5	148,3471201	9,563719924	13,74341368	16,83155873	19,33701657	17,35115558	14,36464088	21,6484896	18,32654342	0,249003926	
		6	6	152,9257349	9,55222358	13,95389168	17,08933114	16,57458564	11,88182136	18,78453039	24,38315671	17,8818395	0,34219568	
		7	7	47,3123531	11,17708255	7,761440519	9,505436203	8,287292818	9,537820976	7,182320442	9,147154246	8,788206092	0,562021124	
		8	8	1321,388236	6,552139674	41,017603	50,2342584	73,48066298	52,51116127	29,83425414	62,66849625	55,00316088	0,276390324	
		9	9	120,2649492	9,879233195	12,37441268	15,15494321	19,88950276	11,49115463	15,46961326	23,60182325	17,51620017	0,35015231	
		10	10	101,9504899	10,11125104	11,39330485	13,95338045	13,25966851	11,49115463	13,25966851	13,44448828	13,08206722	0,38668402	
		11	11	72,03687311	10,63247744	9,577066123	11,72903288	8,287292818	11,1004879	12,15469613	11,49115463	10,88136892	0,679964583	
		12	12	940,4474833	7,002602344	34,6036837	42,37913142	45,3038674	45,47916013	37,01657459	38,83782572	41,78478823	0,155702051	
		13	13	170,0192302	9,404815531	14,71309645	18,01912923	17,12707182	12,66315482	27,0718232	29,07115747	21,31366319	0,328257213	
		14	14	164,5248924	9,482070619	14,47341007	17,72558531	20,44198895	22,42982306	14,91712707	12,66315482	17,67996458	0,500548049	
		15	15	72,95259607	10,59784788	9,637745079	11,8033464	9,392265193	8,365820787	12,70718232	12,66315482	11,09845041	0,56185227	
		16	16	135,5269986	9,755061718	13,13614608	16,08783811	18,78453039	18,52315576	11,60220994	13,44448828	15,65187882	0,55321887	
		17	17	212,4477275	9,053248452	16,44678837	20,14238172	25,41436464	27,11782382	29,83425414	22,42982306	26,50393444	0,187943244	
		18	18	71,73163212	10,55830672	9,556754189	11,70415686	13,8121547	12,66315482	13,60220994	13,44448828	13,20447811	0,31760385	
		19	19	649,247581	7,52693746	28,7514816	35,21193952	49,17127072	43,91649321	26,51933702	41,57249283	40,4628656	0,188039941	
		20	20	140,4108544	9,701119376	13,37073866	16,37514364	16,57458564	12,27248809	14,91712707	17,35115558	15,36393239	0,5136579	
M2	_01	21	21	526,2354629	7,829874462	25,88481797	31,70113656	45,85635359	27,50849055	28,72928177	45,47916013	37,19177465	0,231509771	

Muestra	Imagen	Objeto	Objeto imagen	Área	ASTM E-112 96	Diámetro, Circular	Diámetro, Esférico	Feret, 0°	Feret, 45°	Feret, 90°	Feret, 135°	Feret, Avg	Esfericidad
		22	22	612,0081805	7,628947736	27,91474551	34,18718883	45,3038674	30,24315766	35,35911602	54,07382819	41,10865827	0,271065562
		23	23	221,9101981	9,052452448	16,80907016	20,58606822	25,96685083	16,96048885	17,12707182	26,33649036	21,4537675	0,382180164
		24	1	39,07084643	11,43820673	7,053123189	8,63795997	8,287292818	6,412487137	7,73480663	9,928487706	8,15624814	0,599483525
		25	2	191,6913403	9,235679639	15,62270767	19,13313008	19,33701657	18,91382249	16,02209945	20,47648941	18,77877606	0,305390181
		26	3	214,8896554	9,082827935	16,54104008	20,25781179	23,20441989	22,42982306	18,78453039	17,35115558	20,50202157	0,316849665
		27	4	168,4930252	9,420818518	14,64691035	17,9380711	19,33701657	17,35115558	16,02209945	20,08582268	18,14646101	0,343406608
		28	5	257,0129117	8,811665063	18,08974855	22,15451505	29,83425414	38,44715899	29,28176796	15,0071552	28,47188037	0,225127051
		29	6	229,8464638	9,001560564	17,10700462	20,95094855	25,96685083	31,02449112	20,44198895	15,0071552	23,33652613	0,367935716
		30	7	521,3516071	7,803355909	25,76442281	31,55368862	27,62430939	38,83782572	39,77900552	29,85249093	34,31689563	0,129224224
		31	8	1042,397973	6,884955072	36,43106258	44,61712234	38,67403315	40,00982591	45,3038674	46,65116032	42,71646704	0,27286536
		32	9	91,26705534	10,23339771	10,77983414	13,20206287	7,73480663	20,47648941	23,75690608	15,0071552	16,94361275	0,302239339
		33	10	577,5159488	7,745863167	27,11671337	33,20983886	28,72928177	30,63382439	29,83425414	27,50849055	29,16976849	0,625294013
		34	11	364,4577394	8,346707138	21,54163425	26,38203947	26,51933702	39,61915918	34,25414365	18,13248904	30,20663578	0,270259621
		35	12	249,687128	8,897930437	17,83007362	21,83649116	19,33701657	22,42982306	22,09944751	17,74182231	20,73346289	0,430810134
		36	13	156,8938677	9,47885012	14,13377079	17,30962908	19,88950276	13,05382155	23,20441989	27,89915728	21,02724338	0,226165071
		37	14	220,6892342	9,054773398	16,76276409	20,52935718	23,75690608	18,52315576	18,2320442	20,86715614	20,37021987	0,354793634
		38	15	189,8598944	9,283492711	15,54789778	19,04151042	21,54696133	18,91382249	14,91712707	18,91382249	18,61486968	0,487920079
		39	16	172,1559171	9,392470236	14,80525993	18,13200183	17,67955801	14,22582174	20,99447514	21,25782287	18,68017694	0,347305267
		40	17	301,2728549	8,601395607	19,58551793	23,98638381	31,49171271	20,86715614	18,78453039	33,75915823	26,47489338	0,244918042
		41	18	75,08928299	10,54840869	9,777865027	11,9749513	8,839779006	12,66315482	12,70718232	9,928487706	11,12487187	0,503888171
M2		42	19	585,4522145	7,700445847	27,30239753	33,43724626	37,01657459	29,85249093	30,38674033	36,10315861	33,5849858	0,3300105
		43	1	552,7914288	7,757858446	26,5299059	32,49117576	28,72928177	40,00982591	41,98895028	28,28982401	34,69481996	0,216724271
		44	2	39,9865694	11,38612921	7,135298271	8,738599792	8,287292818	9,537820976	7,73480663	7,193820597	8,176663143	0,504679659
		45	3	518,9096792	7,858598067	25,70401377	31,47970566	30,38674033	27,11782382	31,49171271	27,50849055	29,23318139	0,272666881
		46	4	209,3953176	9,094363642	16,32820868	19,99715718	19,33701657	24,38315671	24,86187845	19,69515595	22,22562176	0,237416093
		47	5	1006,990019	6,885187554	35,80697576	43,85280321	44,75138122	78,68583218	100	68,91916393	73,26277041	0,105314354
		48	6	158,7253136	9,524340613	14,21602427	17,41036492	9,944751381	20,47648941	22,6519337	19,69515595	18,38825401	0,454993414
		49	7	394,9818382	8,212983314	22,42557682	27,46460393	32,0441989	20,47648941	25,96685083	35,71249188	28,83019224	0,192774939
		50	8	462,1348555	8,008565277	24,25713035	29,70770754	39,22651934	42,74449302	35,91160221	23,60182325	35,47881592	0,228435905
		51	9	1002,716645	6,912141622	35,73091776	43,75965499	51,38121547	65,40316336	55,80110497	36,88449207	52,61991572	0,151688137
		52	10	40,59705137	11,33287289	7,189559876	8,80505398	7,73480663	10,70982117	10,49723757	7,193820597	9,230689179	0,394212252
		53	11	1115,65581	6,748890113	37,68948256	46,1583093	66,29834254	68,5284972	39,77900552	50,16716089	56,0869833	0,115242024
M2	_03	54	12	642,8375202	7,543139022	28,60919698	35,03768354	30,38674033	31,80582458	47,51381215	45,86982686	39,44183549	0,196163338

Muestra	Imagen	Objeto	Objeto imagen	Área	ASTM E-112 96	Diámetro, Circular	Diámetro, Esférico	Feret, 0°	Feret, 45°	Feret, 90°	Feret, 135°	Feret, Avg	Esfericidad
		55	13	252,1290559	8,867869715	17,9170501	21,94301126	25,41436464	26,72715709	20,99447514	17,35115558	22,80503113	0,334459202
		56	14	164,8301334	9,45250536	14,48683002	17,74202072	15,46961326	14,22582174	20,99447514	22,03915633	18,26291314	0,350943943
		57	15	461,5243735	8,021053794	24,24110318	29,68807906	28,17679558	24,38315671	33,14917127	33,3684915	29,68410877	0,272602793
		58	16	378,4988248	8,315183528	21,95266889	26,88543359	24,30939227	20,86715614	27,0718232	34,93115842	27,14526441	0,383471857
		59	17	422,758768	8,121059908	23,2007151	28,41391579	45,3038674	22,42982306	29,83425414	47,82316051	36,39852016	0,196242182
		60	18	113,2444065	9,87784979	12,00779982	14,70595244	22,6519337	18,91382249	16,57458564	22,03915633	20,26052825	0,169633005
		61	19	119,0439852	9,902787054	12,31143816	15,07781831	19,33701657	18,91382249	14,36464088	12,66315482	16,1366942	0,389127723
		62	20	95,54042917	10,18588058	11,02931786	13,50760559	7,182320442	15,39782193	23,20441989	18,91382249	16,23782636	0,341916809
		63	21	152,3152529	9,515520333	13,92601175	17,05518659	29,28176796	17,74182231	13,8121547	25,5551569	21,400739	0,219673139
		64	22	106,2238637	10,02005936	11,62963559	14,2428147	26,51933702	21,6484896	8,839779006	18,52315576	19,08882105	0,272984224
		65	1	184,3655566	9,305952363	15,32127662	18,76396748	16,57458564	17,74182231	20,44198895	19,69515595	18,49301362	0,379635309
		66	2	696,2546931	7,373334503	29,77413321	36,46438094	107,7348066	63,84049644	40,8839779	94,31250137	75,7967199	0,082543403
		67	3	373,614969	8,299110943	21,81057893	26,71141601	53,59116022	40,00982591	17,12707182	41,96315956	38,59858466	0,221323115
		68	4	1404,413785	6,423693799	42,28658378	51,78837916	61,87845304	43,52582648	74,58563536	91,96850099	67,77447876	0,103572606
		69	5	381,8564757	8,295375832	22,04982461	27,0044202	27,62430939	36,49382534	28,72928177	20,86715614	28,20014209	0,334921136
		70	6	974,6344739	6,971804673	35,22702306	43,14253514	71,82320442	67,35649701	35,91160221	37,66582553	53,49755172	0,229233458
		71	7	58,60626965	10,89201585	8,638276454	10,57929717	12,15469613	8,756487517	7,182320442	11,1004879	10,02572267	0,563137226
		72	8	309,2091206	8,591727085	19,84180637	24,30026026	24,30939227	21,25782287	24,30939227	23,99248998	23,61806659	0,360844444
		73	9	341,8699063	8,455126996	20,86341975	25,55143017	20,99447514	21,25782287	31,49171271	33,3684915	26,59863731	0,375191308
		74	10	67,45825829	10,67268151	9,267713962	11,35016929	12,15469613	12,27248809	9,944751381	9,537820976	10,99520535	0,420633369
		75	11	128,5064558	9,81674885	12,79138387	15,66560783	13,8121547	15,39782193	14,91712707	14,61648847	14,82961872	0,479367106
		76	12	353,7743048	8,419767562	21,22355849	25,99249208	22,6519337	30,24315766	23,75690608	20,47648941	24,35113194	0,469831596
M2	_04	77	13	119,0439852	9,893507527	12,31143816	15,07781831	14,36464088	10,70982117	20,99447514	22,42982306	17,08068218	0,352076791
		78	1	323,860688	8,523648779	20,30645796	24,86931907	28,17679558	17,35115558	32,59668508	38,83782572	29,05325495	0,337379716
		79	2	207,2586307	9,12126853	16,24468789	19,89486926	24,30939227	19,30448922	16,57458564	26,72715709	22,07628523	0,276457806
		80	3	1138,548884	6,725078359	38,07420995	46,62948492	75,69060773	35,32182515	96,13259669	120,4871723	82,81800803	0,124546593
		81	4	25,94548396	11,97351485	5,747592208	7,039076177	8,287292818	8,365820787	5,524861878	5,240486947	6,878689874	0,594578223
		82	5	350,4166539	8,400013514	21,12260261	25,86885141	21,54696133	26,72715709	40,33149171	37,2751588	31,24717757	0,266986736
		83	6	235,6460426	8,971923652	17,3214855	21,21362329	19,33701657	18,91382249	22,09944751	24,38315671	21,25512315	0,393809472
		84	7	217,0263423	9,043601214	16,62307196	20,35827622	17,12707182	20,86715614	39,22651934	38,05649226	28,62778943	0,231372437
		85	8	82,4150667	10,23639621	10,24373574	12,54550317	32,59668508	12,66315482	19,33701657	36,49382534	25,11709879	0,120179112
		86	9	388,5717774	8,284567676	22,24286297	27,24083428	29,83425414	35,71249188	27,0718232	18,52315576	28,09149389	0,429036427
		87	10	394,9818382	8,250144255	22,42557682	27,46460393	37,01657459	36,88449207	22,09944751	24,77382344	30,22768076	0,344567402
M2	_05	88	11	36,93415952	11,49439515	6,857552949	8,398445097	6,077348066	6,803153867	10,49723757	10,31915444	8,509354335	0,520640977

Muestra	Imagen	Objeto	Objeto imagen	Área	ASTM E-112 96	Diámetro, Circular	Diámetro, Esférico	Feret, 0°	Feret, 45°	Feret, 90°	Feret, 135°	Feret, Avg	Esfericidad
		89	12	60,43771558	10,84186248	8,722211207	10,74332707	10,49723757	9,537820976	10,49723757	12,27248809	10,73029222	0,517267575
		90	13	131,2536247	9,681452669	12,92738587	15,83216947	22,6519337	39,61915918	33,70165746	14,22582174	27,26165825	0,166467757
		91	14	184,3655566	9,319471482	15,32127662	18,76396748	13,8121547	16,17915539	22,6519337	21,6484896	18,44451892	0,45744582
		92	15	868,4106102	7,06058283	33,25198836	40,72371015	82,87292818	75,95116507	49,72375691	59,93382914	66,76511722	0,071265702
		93	16	77,2259699	10,47362493	9,916005182	12,14413155	17,12707182	10,31915444	11,04972376	18,52315576	14,17623335	0,354743437
		94	17	391,0137053	8,18262442	22,31264467	27,32629593	41,43646409	57,19916203	50,82872928	31,41515785	44,73761999	0,112872328
		95	18	68,98446323	10,62987734	9,371965992	11,47784675	10,49723757	8,756487517	12,70718232	15,0071552	11,99503647	0,375109507
		96	19	183,1445927	9,241306297	15,27045965	18,70173193	16,02209945	19,30448922	25,96685083	23,60182325	21,33996572	0,168973541
		97	20	120,5701902	9,846630845	12,3901063	15,17416318	19,88950276	21,6484896	15,46961326	13,44448828	17,63185146	0,262011342
		98	21	282,3479137	8,713200255	18,96039369	23,22079416	13,8121547	28,28982401	33,70165746	29,07115747	26,53274234	0,3394341
		99	22	182,2288697	9,297380247	15,23223566	18,65491901	23,75690608	29,4618242	19,88950276	11,1004879	21,30195832	0,280850323
		100	23	266,1701413	8,809950838	18,40919199	22,54573742	15,46961326	20,47648941	30,93922652	28,28982401	24,01732289	0,433149802
		101	24	108,6657916	10,02193912	11,76255002	14,40559502	17,67955801	22,42982306	16,57458564	9,537820976	16,85239462	0,373122686
		102	25	198,406642	9,201266088	15,89399832	19,46537974	24,30939227	18,13248904	16,02209945	20,08582268	19,78285077	0,35845768
		103	26	240,5298984	8,94690263	17,50006224	21,43232622	19,88950276	16,96048885	23,20441989	24,77382344	21,07520104	0,413709508
		104	27	88,21464546	10,29800293	10,59803638	12,97941515	15,46961326	15,0071552	11,60220994	11,1004879	13,43883357	0,360090661
		105	28	58,91151064	10,89123722	8,66074275	10,60681165	10,49723757	9,928487706	9,944751381	9,928487706	10,05732218	0,597735389
		106	1	251,2133329	8,843400093	17,88448349	21,90312693	19,88950276	37,2751588	40,33149171	23,60182325	30,31971802	0,227019818
		107	2	49,14379903	11,12334039	7,910235667	9,687665621	10,49723757	8,365820787	8,839779006	9,928487706	9,45293666	0,546044847
		108	3	14,9568084	12,69202954	4,363897331	5,344465062	3,314917127	4,849820217	6,077348066	6,021820407	5,128030229	0,637813322
		109	4	688,9289094	7,475067147	29,61708174	36,27204001	33,14917127	39,22849245	37,56906077	36,10315861	36,26680433	0,345411396
		110	5	1096,425628	6,770835138	37,36325023	45,75877255	65,19337017	84,54583312	72,37569061	44,30715994	66,33711807	0,111092116
		111	6	112,9391655	9,962035302	11,99160588	14,68611972	16,57458564	20,08582268	15,46961326	11,49115463	15,76060425	0,343604412
		112	7	320,5030371	8,504189837	20,20091931	24,74006588	21,54696133	26,72715709	34,25414365	34,14982496	29,13725717	0,207269241
		113	8	47,00711212	11,17250765	7,736363101	9,47472389	12,15469613	8,365820787	6,077348066	12,27248809	9,92768375	0,502764006
		114	9	269,5277922	8,787822652	18,52494112	22,68749539	20,99447514	18,91382249	24,30939227	25,94582363	22,96473725	0,400413627
		115	10	262,2020085	8,816442702	18,27145221	22,37704752	25,41436464	25,5551569	22,09944751	18,91382249	22,93259929	0,346470316
		116	11	136,4427215	9,694006907	13,18045024	16,14209741	23,20441989	20,86715614	11,60220994	15,39782193	18,24690314	0,298605875
		117	12	439,5470224	8,043836099	23,65689436	28,97259852	45,3038674	44,69782667	25,41436464	32,19649131	36,8771044	0,142387461
		118	13	67,76349928	10,66823495	9,288657975	11,37581942	13,8121547	13,83515501	9,944751381	10,31915444	11,97335581	0,426567077
		119	14	409,6334056	8,147241542	22,83771991	27,96935558	34,25414365	27,50849055	40,33149171	43,13515975	35,81387845	0,156147816
		120	15	300,9676139	8,56293373	19,57559368	23,97422957	25,96685083	35,71249188	34,25414365	21,25782287	29,22174704	0,151003398
		121	16	38,76560545	11,43934446	7,025517905	8,604151778	10,49723757	7,975154057	6,077348066	9,147154246	8,465906112	0,55640581
M2	_06	122	17	227,0992949	8,992302395	17,0044642	20,82536731	28,17679558	24,38315671	20,99447514	18,52315576	23,40225041	0,26146925

Muestra	Imagen	Objeto	Objeto imagen	Área	ASTM E-112 96	Diámetro, Circular	Diámetro, Esférico	Feret, 0°	Feret, 45°	Feret, 90°	Feret, 135°	Feret, Avg	Esfericidad
		123	18	80,88886176	10,38622334	10,14844311	12,42879827	13,25966851	15,39782193	18,2320442	15,78848866	15,32897697	0,284532281
		124	19	94,92994719	10,22439015	10,99402396	13,46438114	16,57458564	16,56982212	10,49723757	11,88182136	13,90035882	0,462328452
		125	20	81,19410274	10,4086822	10,16757308	12,45222676	12,70718232	7,975154057	14,91712707	17,74182231	13,51450211	0,360251115
		126	21	40,90229236	11,35254933	7,216537681	8,838093698	8,839779006	10,70982117	9,392265193	7,584487327	9,212139109	0,489906432
		127	22	213,0582095	9,081793345	16,47040187	20,17130116	22,6519337	21,25782287	22,09944751	23,60182325	22,46060726	0,270043238
		128	23	222,2154391	8,988987539	16,82062676	20,60022159	25,41436464	25,5551569	20,99447514	25,94582363	24,35425747	0,180782519
		129	1	342,4803883	8,458315403	20,8820395	25,57423377	30,38674033	22,82048979	18,2320442	26,33649036	24,81120781	0,41506035
		130	2	409,6334056	8,168703571	22,83771991	27,96935558	48,06629834	18,52315576	34,25414365	56,8084953	39,26373614	0,208866729
		131	3	996,0013431	6,957599022	35,61106986	43,61287726	44,75138122	27,89915728	49,72375691	56,02716184	44,94417497	0,343094724
		132	4	282,9583957	8,623390832	18,98088035	23,24588416	31,49171271	25,5551569	25,96685083	32,19649131	28,4584121	0,119849512
		133	5	463,6610604	8,017503867	24,29715204	29,75672211	30,93922652	23,99248998	33,70165746	36,10315861	31,46239458	0,286527224
		134	6	341,5646653	8,433918049	20,85410365	25,54002074	40,33149171	40,40049264	20,99447514	21,25782287	30,81563338	0,261879889
		135	7	173,376881	9,408893215	14,85766809	18,19618611	18,2320442	15,78848866	15,46961326	17,74182231	16,79856101	0,491829449
		136	8	170,0192302	9,408845415	14,71309645	18,01912923	16,57458564	15,78848866	18,2320442	19,69515595	17,82385823	0,344648508
		137	9	189,5546534	9,241596935	15,53539445	19,02619758	11,60220994	23,60182325	32,59668508	24,38315671	23,45173201	0,2733808
		138	10	780,5012057	7,255348208	31,52403844	38,60748988	49,17127072	49,38582743	38,67403315	34,93115842	43,68632307	0,141653247
		139	11	120,5701902	9,902462064	12,3901063	15,17416318	14,36464088	11,88182136	15,46961326	16,17915539	14,54763346	0,47313283
		140	12	152,9257349	9,478023195	13,95389168	17,08933114	24,86187845	21,25782287	20,44198895	18,52315576	21,49486383	0,16441794
		141	13	175,513568	9,334879286	14,94894028	18,30796716	22,6519337	15,0071552	21,54696133	30,24315766	22,832833	0,242518533
		142	14	403,2233448	8,249137444	22,65832977	27,74965647	25,96685083	20,86715614	23,20441989	32,58715804	25,93467985	0,608294431
		143	15	735,0202985	7,375294874	30,59177848	37,4657511	53,03867403	29,85249093	40,33149171	54,46449492	44,57662417	0,280767799
		144	16	382,4669577	8,281389024	22,06744333	27,02599784	37,01657459	32,19649131	19,88950276	26,33649036	28,83536805	0,275338583
		145	1	141,3265773	9,679271768	13,41426804	16,42845407	18,2320442	17,74182231	15,46961326	15,0071552	16,62142314	0,434333206
		146	2	836,0550655	7,207730753	32,62665124	39,95785977	46,96132597	41,57249283	29,83425414	41,96315956	39,96644988	0,382780953
M2	_07	147	3	691,3708373	7,464510835	29,6695246	36,33626678	45,3038674	50,55782762	40,33149171	26,33649036	40,63026562	0,304358678
M2	_08	148	1	154,4519398	9,479021441	14,02334901	17,17439554	38,67403315	28,28982401	9,944751381	26,72715709	25,91878133	0,186083664
		149	2	375,4464149	8,332184204	21,86397088	26,77680513	28,72928177	21,25782287	23,20441989	32,19649131	26,26229415	0,427412134
		150	3	129,7274198	9,79366971	12,85200688	15,73985283	13,8121547	20,86715614	19,88950276	11,88182136	16,46069929	0,423290933
		151	4	649,247581	7,569324864	28,7514816	35,21193952	33,70165746	29,07115747	28,72928177	34,54049169	31,52829091	0,452890628
		152	5	181,0079057	9,307160936	15,18112063	18,59231843	14,91712707	19,69515595	20,44198895	16,17915539	18,02725892	0,283011444
		153	6	90,65657336	10,29076071	10,74372069	13,15783473	12,15469613	14,22582174	13,25966851	11,88182136	12,95895533	0,483699373
		154	7	116,2968163	9,959077625	12,16855396	14,90282804	15,46961326	13,44448828	12,15469613	14,61648847	13,84572118	0,518608189
		155	8	163,9144104	9,470041334	14,44653278	17,69266869	19,33701657	22,82048979	16,02209945	14,61648847	18,27236272	0,397303757
		156	9	146,2104331	9,61422795	13,6440795	16,70990416	18,78453039	10,70982117	21,54696133	26,33649036	19,27128314	0,346605032

Muestra	Imagen	Objeto	Objeto imagen	Área	ASTM			Feret, 0°	Feret, 45°	Feret, 90°	Feret, 135°	Feret, Avg	Esfericidad	
					E-112 96	Diámetro, Circular	Diámetro, Esférico							
M2	_09	157	10	1306,431428	6,534623587	40,784803	49,94914824	82,87292818	82,59249947	63,5359116	42,74449302	67,79319337	0,126200029	
		158	11	123,6226	9,812815158	12,54596282	15,36504066	18,78453039	11,1004879	23,20441989	27,89915728	20,41528938	20,41528938	0,261004281
		159	12	221,9101981	9,037742736	16,80907016	20,58606822	29,28176796	14,61648847	20,44198895	31,02449112	24,21186865	24,21186865	0,312081002
		160	13	520,4358841	7,817912387	25,74178603	31,52596535	44,19889503	51,33916108	34,80662983	25,5551569	39,18708703	39,18708703	0,152229137
		161	14	124,233082	9,814901898	12,57690235	15,40293231	15,46961326	22,03915633	18,78453039	12,66315482	17,21603572	17,21603572	0,283704044
		162	15	75,39452398	10,52866715	9,797718581	11,99926595	16,02209945	18,52315576	11,04972376	7,975154057	13,40929565	13,40929565	0,437975800
		163	1	169,4087482	9,411586161	14,6866578	17,98674981	13,8121547	20,08582268	22,6519337	18,91382249	18,68312652	18,68312652	0,335756833
		164	2	753,9452398	7,325272005	30,98310659	37,94501064	40,33149171	38,83782572	48,06629834	43,13515975	42,90613803	42,90613803	0,208548652
		165	3	50,97524496	11,07152851	8,056283118	9,866529935	8,839779006	9,147154246	10,49723757	10,31915444	9,863440087	9,863440087	0,530931653
		166	4	276,2430939	8,7560942	18,75429634	22,96838673	24,86187845	23,21115652	17,12707182	23,99248998	22,53506281	22,53506281	0,415513128
		167	5	182,8393517	9,273783584	15,25772896	18,68614065	18,78453039	24,38315671	20,99447514	16,56982212	20,32859184	20,32859184	0,227686483
		168	6	117,8230213	9,895391	12,24813986	15,00029688	16,57458564	15,0071552	17,12707182	18,13248904	16,59360222	16,59360222	0,311379608
		169	7	147,4313971	9,60431382	13,70093007	16,77952906	15,46961326	13,83515501	17,12707182	17,35115558	16,16285266	16,16285266	0,352087763
		170	8	51,89096792	10,98384098	8,128322851	9,954756996	13,25966851	18,13248904	13,8121547	5,240486947	12,8103036	12,8103036	0,319733611
		171	9	572,326852	7,695626436	26,99461392	33,06030366	35,91160221	23,60182325	52,48618785	57,98049549	42,51720408	42,51720408	0,172120025
		172	10	258,2338756	8,829392259	18,13266617	22,20707625	22,09944751	37,2751588	33,70165746	14,61648847	27,14927063	27,14927063	0,30868423
		173	11	24,41927902	12,05321101	5,575983474	6,828906961	4,419889503	6,021820407	8,287292818	7,584487327	6,639822795	6,639822795	0,598902316
		174	12	33,57650865	11,63144605	6,538420191	8,007603208	8,287292818	9,147154246	6,629834254	6,021820407	7,589153775	7,589153775	0,570741271
		175	13	21,67211013	12,19785102	5,25297893	6,433323295	6,077348066	4,849820217	5,524861878	7,193820597	6,143737182	6,143737182	0,563279718
176	14	51,58572693	11,03684437	8,104380758	9,925435114	9,392265193	7,584487327	12,15469613	13,83515501	10,7209534	10,7209534	0,452245491		
177	15	29,9136168	11,7710408	6,171482791	7,558214974	8,839779006	7,193820597	5,524861878	7,584487327	7,344806488	7,344806488	0,526039631		
178	16	103,1714539	10,08221523	11,46132518	14,03668495	14,36464088	12,66315482	12,70718232	13,44448828	13,09700174	13,09700174	0,339315871		
179	17	50,67000397	11,00416455	8,032126293	9,836945071	11,60220994	13,44448828	8,839779006	9,147154246	10,88764215	10,88764215	0,296762475		
180	18	65,32157138	10,75243829	9,119759197	11,16896909	9,944751381	10,31915444	9,944751381	10,70982117	10,25137823	10,25137823	0,597054858		
181	19	100,424285	10,08543673	11,30770405	13,84854515	14,36464088	22,82048979	20,44198895	11,1004879	17,24349535	17,24349535	0,251848135		
182	20	90,04609139	10,17538213	10,70748544	13,11345742	14,36464088	12,27248809	18,2320442	21,6484896	16,65689983	16,65689983	0,1678552		
183	21	460,6086505	7,993267344	24,21704252	29,65861198	28,17679558	38,44715899	39,77900552	24,77382344	33,04054406	33,04054406	0,170035935		
184	22	238,3932114	8,947474826	17,42216014	21,33691953	27,62430939	23,21115652	16,02209945	21,6484896	21,9418594	21,9418594	0,347629209		
185	23	716,4005983	7,396589183	30,20181404	36,98816166	43,64640884	25,16449017	37,01657459	50,16716089	39,17101344	39,17101344	0,209820755		
186	24	108,3605507	10,03062127	11,74601797	14,38534821	13,25966851	8,365820787	16,57458564	19,30448922	14,88681297	14,88681297	0,392807856		
187	25	113,2444065	9,973585607	12,00779982	14,70595244	17,12707182	11,88182136	11,60220994	16,17915539	14,33522807	14,33522807	0,403447705		
M2	_10	188	1	211,2267635	9,10970412	16,39945939	20,08441791	25,41436444	18,52315576	14,91712707	22,42982306	20,43953438	20,43953438	0,331249466
		189	2	65,62681237	10,71984261	9,141042211	11,1950344	8,839779006	11,49115463	12,15469613	10,31915444	10,72516377	10,72516377	0,462552934
		190	3	159,9462776	9,51292583	14,27059654	17,47719958	19,88950276	20,86715614	16,02209945	13,83515501	17,54154641	17,54154641	0,449349358
		191	4	91,57229633	10,22263305	10,79784557	13,22412147	13,22412147	18,2320442	22,42982306	14,91712707	9,537820976	16,25949959	16,25949959

Muestra	Imagen	Objeto	Objeto imagen	Área	ASTM			Feret, 0°	Feret, 45°	Feret, 90°	Feret, 135°	Feret, Avg	Esfericidad
					E-112 96	Diámetro, Circular	Diámetro, Esférico						
		192	5	63,18488447	10,77420575	8,969364165	10,98478029	11,60220994	11,88182136	8,287292818	11,49115463	10,95802464	0,478920129
		193	6	655,0471597	7,495468357	28,87961128	35,36885993	50,82872928	36,49382534	38,67403315	46,26049359	42,91911811	0,138572924
		194	7	425,2006959	8,099475684	23,2676243	28,49585948	28,17679558	43,52582648	42,54143646	23,99248998	34,38413638	0,162661265
		195	8	161,4724825	9,487448371	14,3385198	17,5603852	19,33701657	15,78848866	12,70718232	19,69515595	17,02735385	0,382201893
		196	9	120,5701902	9,84186251	12,3901063	15,17416318	14,36464088	18,91382249	18,2320442	14,22582174	16,54030343	0,250699142
		197	10	222,2154391	9,079872064	16,82062676	20,60022159	22,6519337	14,22582174	16,02209945	25,16449017	19,69696101	0,611370376
		198	11	450,5356979	8,071980773	23,95078009	29,33252038	29,28176796	31,80582458	27,0718232	23,99248998	28,16158038	0,376465531
		199	12	47,3123531	11,10435751	7,761440519	9,505436203	15,46961326	15,0071552	7,182320442	9,537820976	11,77204642	0,320632998
		200	13	109,5815146	9,967558494	11,81200736	14,46616541	27,62430939	18,91382249	7,73480663	20,86715614	18,97378427	0,247337828
		201	14	118,1282623	9,858365573	12,26399506	15,01971475	22,6519337	15,78848866	11,04972376	18,91382249	17,1039263	0,227757362
		202	15	101,3400079	10,10898615	11,35914194	13,91154113	13,25966851	20,47648941	16,02209945	10,31915444	15,27242403	0,348608012
		203	16	79,97313879	10,45511248	10,09083559	12,35824634	15,46961326	11,49115463	9,392265193	12,66315482	12,3474008	0,461906999
		204	17	28,69265285	11,85614982	6,044222055	7,402358751	6,077348066	7,584487327	7,73480663	6,412487137	6,941901406	0,657533564
		205	18	271,3592381	8,752718674	18,58777321	22,76444585	27,62430939	21,25782287	17,12707182	24,77382344	22,73979004	0,273605651
		206	19	27,4716889	11,90713718	5,914223589	7,24314963	7,73480663	5,240486947	6,077348066	8,365820787	6,819779474	0,629553413
		207	20	341,2594243	8,452123976	20,84478338	25,5286062	29,28176796	15,39782193	28,17679558	34,14982496	27,5308706	0,341759072
		208	21	220,6892342	8,977242882	16,76276409	20,52935718	37,56906077	43,52582648	24,86187845	19,30448922	31,2856801	0,146899231
		209	22	93,40374225	10,23220706	10,90528946	13,355708	11,60220994	16,17915539	16,57458564	9,928487706	13,66945184	0,399706763
M2	_11	210	1	42,73373829	11,3029943	7,376332794	9,033794772	9,392265193	7,193820597	8,287292818	10,70982117	8,996046496	0,522226241
		211	2	137,6636855	9,708066259	13,23929183	16,21416071	15,46961326	16,56982212	14,36464088	15,39782193	15,41595664	0,399178145
		212	3	13,73584445	12,76473167	4,181987606	5,121680221	4,419889503	4,849820217	3,867403315	5,240486947	4,744607657	0,527941149
		213	4	11,29391655	12,92852209	3,792078739	4,644158832	7,182320442	5,631153677	2,209944751	6,021820407	5,487085212	0,367770816
		214	5	22,89307408	12,10563415	5,398922783	6,612060733	7,73480663	8,365820787	4,972375691	5,631153677	6,660208189	0,491295672
		215	6	29,60837581	11,77509793	6,139914897	7,519553774	6,077348066	7,193820597	8,287292818	6,803153867	7,160906998	0,493509255
		216	7	95,23518818	10,10454443	11,01168505	13,48601068	14,36464088	11,1004879	23,20441989	24,38315671	18,42973657	0,170186603
		217	8	140,4108544	9,632556406	13,37073866	16,37514364	15,46961326	16,96048885	17,12707182	17,74182231	17,03044261	0,23745577
		218	9	100,119044	10,10064347	11,29050601	13,82748271	16,57458564	10,31915444	13,8121547	20,86715614	15,49075998	0,277461529
		219	10	6,715301731	13,73070579	2,924070402	3,581109022	2,762430939	3,287153297	2,762430939	3,287153297	3,12851097	0,779838121
		220	11	148,3471201	9,58494837	13,74341368	16,83155873	10,49723757	19,69515595	25,96685083	20,47648941	19,22942586	0,311039506
		221	12	21,97735112	12,1951305	5,289842392	6,478469978	5,524861878	6,021820407	6,077348066	6,412487137	5,979297288	0,621916885
		222	13	59,52199261	10,83131637	8,705501409	10,66162758	12,15469613	8,365820787	8,839779006	13,83515501	11,01779911	0,394936904
		223	14	694,7284881	7,433204522	29,74148254	36,42439367	43,64640884	56,8084953	41,43646409	28,68049074	42,736037	0,188147859
		224	15	11,29391655	13,03304828	3,792078739	4,644158832	3,867403315	3,677820027	4,972375691	4,459153487	4,352043385	0,597336297
		225	16	168,7982662	9,4226215	14,66017147	17,954312	17,67955801	21,6484896	19,33701657	18,50753011	18,50753011	0,361914262
		226	17	47,00711212	11,11566775	7,736363101	9,47472389	11,04972376	10,31915444	8,287292818	7,975154057	9,536002402	0,327149225

Muestra	Imagen	Objeto	Objeto imagen	Área	ASTM E-112 96		Diámetro, Circular	Diámetro, Esférico	Feret, 0°	Feret, 45°	Feret, 90°	Feret, 135°	Feret, Avg	Esfericidad
		227	18	17,09349531	12,458033	4,665202481	5,713473479	3,867403315	5,240486947	7,73480663	7,584487327	6,1438506	0,444276961	
		228	19	246,3294771	8,911915221	17,70978349	21,68917184	16,57458564	24,77382344	25,96685083	20,08582268	21,63731547	0,400146771	
		229	20	16,78825433	12,57830881	4,623361255	5,662230529	4,972375691	5,240486947	3,867403315	5,240486947	5,008244175	0,785818751	
		230	21	66,54253533	10,56816637	9,204595993	11,27286871	26,51933702	22,03915633	9,392265193	16,56982212	18,59205135	0,171007359	
		231	22	18,31445927	12,38393691	4,82894334	5,914006908	4,972375691	4,459153487	6,077348066	7,193820597	5,782237071	0,476011029	
		232	23	343,3961112	8,440198443	20,90993803	25,6084011	36,4640884	29,4618242	19,33701657	24,77382344	27,65718982	0,323661323	
		233	24	25,33500198	11,9831535	5,679570969	6,955770566	7,73480663	6,021820407	6,077348066	8,365820787	7,10407302	0,515740589	
		234	25	10,37819358	13,14203366	3,635096488	4,451902668	4,419889503	4,459153487	3,314917127	4,459153487	4,207273682	0,609087377	
		235	26	271,6644791	8,730298018	18,59822458	22,77724565	26,51933702	32,58715804	22,09944751	17,35115558	24,36311577	0,209450731	
		236	27	36,01843656	11,52977455	6,772008399	8,293678687	4,972375691	7,975154057	9,392265193	8,365820787	7,811463861	0,530484016	
		237	28	783,8588566	7,261466342	31,59177256	38,69044386	62,43093923	32,97782477	33,70165746	59,93382914	47,13159689	0,174029112	
		238	29	12,82012149	12,83704548	4,040183863	4,948013177	3,867403315	4,068486757	6,077348066	6,412487137	5,10521235	0,492745072	
		239	30	15,26204939	12,66717765	4,408201993	5,398724981	4,419889503	4,459153487	4,972375691	5,240486947	4,929541782	0,64078282	
		240	31	146,2104331	9,58767581	13,6440795	16,70990416	17,12707182	31,80582458	30,38674033	12,27248809	22,94304324	0,260446699	
		241	32	513,1101004	7,903991323	25,55997008	31,30329536	27,0718232	28,28982401	27,0718232	29,07115747	28,00163315	0,507973901	
		242	33	219,7735112	8,961217984	16,72795042	20,48672088	14,36464088	48,9951607	55,80110497	33,3684915	38,45934956	0,120847918	
		243	34	15,87253136	12,55881873	4,495501597	5,505640806	6,629834254	7,584487327	5,524861878	3,677820027	5,937813685	0,463283114	
		244	35	11,59915753	12,98550194	3,842981402	4,706499323	5,524861878	4,459153487	2,762430939	5,240486947	4,618371062	0,555714759	
		245	36	33,57650865	11,61947768	6,538420191	8,007603208	6,629834254	8,365820787	8,839779006	7,584487327	7,842360332	0,522075286	
		246	37	1167,241537	6,643160012	38,55098032	47,21338559	59,1160221	34,93115842	66,29834254	83,76449966	61,05622369	0,059702069	
		247	38	35,10271359	11,56005575	6,68536933	8,187571818	9,392265193	6,412487137	7,182320442	9,928487706	8,17036088	0,516997134	
		248	39	31,43982174	11,71180745	6,326960117	7,748628055	6,077348066	7,975154057	8,287292818	6,803153867	7,333372872	0,547374657	
		249	40	215,1948964	9,087480228	16,55278381	20,27219433	18,78453039	22,42982306	18,78453039	19,30448922	19,72212762	0,345960598	
		250	41	11,29391655	13,02136681	3,792078739	4,644158832	3,867403315	4,068486757	4,419889503	4,459153487	4,340586404	0,563382251	
		251	42	166,6615793	9,429944727	14,56709008	17,84031522	14,91712707	19,69515595	21,54696133	15,0071552	17,66021775	0,320707884	
		252	43	106,8343457	10,01895936	11,6630062	14,2836837	17,12707182	18,91382249	12,70718232	11,49115463	14,97907131	0,289791058	
		253	44	19,8406642	12,24626842	5,026123582	6,155493551	8,287292818	3,677820027	6,629834254	9,928487706	7,230697674	0,389413875	
		254	45	28,08217087	11,79897442	5,97957611	7,323186862	9,944751381	11,49115463	8,287292818	4,459153487	8,761149015	0,372658412	
		255	46	179,7869418	9,3043967	15,12983291	18,52950637	20,99447514	15,39782193	24,30939227	29,4618242	22,48348414	0,247726377	
		256	47	142,8527823	9,651836503	13,48650479	16,51692242	11,04972376	19,30448922	19,33701657	14,22582174	16,45514184	0,37197008	
		257	48	53,11193187	10,92786054	8,223394187	10,07119086	18,78453039	11,88182136	7,73480663	16,17915539	13,56053387	0,267404409	
M2	_12	258	1	18,00921828	12,42275791	4,788533062	5,86451644	6,077348066	7,975154057	5,524861878	4,459153487	6,119731731	0,525648148	
		259	2	414,5172614	8,169932322	22,97345793	28,13559392	24,86187845	26,33649036	29,83425414	28,28982401	27,76851286	0,273868853	
		260	3	346,1432801	8,446851525	20,99341117	25,71063066	27,0718232	32,19649131	26,51933702	17,35115558	25,79267325	0,44138487	
		261	4	76,92072892	10,48585639	9,896388931	12,12010752	13,25966851	11,88182136	13,25966851	13,83515501	13,0453268	0,37743191	

Muestra	Imagen	Objeto	Objeto imagen	Área	ASTM			Feret, 0°	Feret, 45°	Feret, 90°	Feret, 135°	Feret, Avg	Esfericidad
					E-112 96	Diámetro, Circular	Diámetro, Esférico						
262		5	18,31445927	12,44370849	4,82894334	5,914006908	5,524861878	4,849820217	4,419889503	6,412487137	5,407892134	0,679383745	
263		6	15,87253136	12,57580444	4,495501597	5,505640806	6,077348066	4,459153487	4,419889503	6,412487137	5,465643984	0,507033355	
264		7	72,64735509	10,47270106	9,617561298	11,77862732	10,49723757	11,88182136	13,25966851	11,88182136	11,95529886	0,191246224	
265		8	26,86120692	11,8889038	5,848140805	7,162218044	4,972375691	7,584487327	8,839779006	8,756487517	7,653702868	0,456593017	
266		9	26,25072495	11,87769001	5,781302715	7,080361435	8,287292818	6,412487137	6,629834254	9,537820976	7,836130353	0,357641534	
267		10	22,89307408	12,09693889	5,398922783	6,612060733	7,182320442	6,803153867	5,524861878	6,021820407	6,552517564	0,466030653	
268		11	77,83645188	10,42468005	9,955121725	12,19203758	14,91712707	9,147154246	13,25966851	17,35115558	13,61089864	0,258227976	
269		12	997,832789	6,90816865	35,64379562	43,65295649	29,83425414	51,33916108	62,43093923	62,66849625	52,76251622	0,125017488	
270		13	60,13247459	10,80898134	8,750031118	10,71616311	9,392265193	15,0071552	14,36464088	7,584487327	11,9606171	0,367423462	
271		14	16,78825433	12,47950604	4,623361255	5,662230529	3,867403315	6,021820407	8,287292818	7,193820597	6,311124747	0,441712968	
272		15	75,69976496	10,45870865	9,817531985	12,02353142	11,60220994	12,27248809	13,25966851	10,70982117	12,35684811	0,253341836	
273		16	351,3323769	8,374907959	21,15018382	25,90263012	20,99447514	27,11782382	32,0441989	32,97782477	28,26557034	0,197184959	
274		17	36,32367754	11,5041748	6,800642812	8,328747252	7,73480663	8,756487517	8,287292818	7,975154057	8,297410713	0,476140693	
275		18	268,9173102	8,759520741	18,50394968	22,66178717	20,99447514	22,42982306	26,51933702	24,77382344	23,62357773	0,254052339	
276		19	275,327371	8,69169068	18,72318607	22,93028597	25,41436464	24,77382344	24,86187845	26,33649036	25,46707867	0,165602414	
277		20	24,11403803	12,04901198	5,541023985	6,786092075	3,867403315	7,193820597	8,287292818	7,584487327	6,867104808	0,523279852	
278		21	83,94127163	10,33595715	10,33815005	12,66113237	16,57458564	23,21115652	16,57458564	8,365820787	16,24599173	0,281433229	
279		22	22,89307408	12,08651211	5,398922783	6,612060733	7,73480663	4,068486757	7,182320442	8,756487517	7,129667825	0,438046479	
280		23	11,59915753	13,01655576	3,842981402	4,706499323	4,419889503	4,459153487	3,867403315	4,068486757	4,307689858	0,651602418	
281		24	77,53121089	10,45037788	9,935582703	12,16810814	14,36464088	12,27248809	10,49723757	14,61648847	13,00265358	0,304242377	
282		25	475,8706999	7,967321209	24,61498311	30,14596981	33,70165746	24,38315671	31,49171271	30,63382439	30,79304752	0,225460096	
283		26	38,15512347	11,45477546	6,969979343	8,536133701	9,944751381	7,193820597	7,73480663	9,928487706	8,645975314	0,533054794	
284		27	47,00711212	11,17250765	7,736363101	9,47472389	9,944751381	7,584487327	8,287292818	12,66315482	9,717414654	0,502764006	
285		28	115,6863344	9,928162955	12,13657347	14,86366153	22,6519337	17,35115558	9,392265193	20,47648941	17,80561668	0,338200434	
286		29	225,57309	8,984606174	16,94722922	20,75527163	23,75690608	15,0071552	28,17679558	34,14982496	25,50407444	0,214512199	
287		30	885,5041055	7,059818688	33,57765394	41,12255278	65,74585635	64,23116317	44,19889503	38,83782572	53,56313377	0,1013751	
288		31	194,4385092	9,229276963	15,73425559	19,26974282	22,6519337	18,52315576	17,12707182	24,77382344	20,784626	0,360298996	
289		32	437,1050945	8,125991123	23,59108924	28,89200699	19,88950276	29,4618242	34,25414365	27,89915728	27,99674517	0,481413219	
290		33	19,23018223	12,37557462	4,948194465	6,060053762	4,972375691	6,412487137	6,077348066	4,849820217	5,660039471	0,656436645	
291		34	57,69054669	10,90871217	8,57052422	10,49632101	8,287292818	10,31915444	11,60220994	10,70982117	10,26423611	0,540568452	
292		35	181,6183877	9,339624558	15,20669962	18,62364502	12,15469613	18,13248904	21,54696133	17,74182231	17,35692358	0,454461158	
293		36	304,9357468	8,588899535	19,70421913	24,13175716	25,41436464	22,03915633	22,09944751	26,72715709	24,00161017	0,258983913	
294		37	36,32367754	11,48067686	6,800642812	8,328747252	9,944751381	6,412487137	7,182320442	11,1004879	8,881652898	0,403598366	
295		38	36,32367754	11,51691789	6,800642812	8,328747252	7,182320442	7,975154057	8,287292818	7,975154057	7,898899253	0,523318926	
296		39	39,07084643	11,37711551	7,053123189	8,63795997	9,392265193	8,365820787	9,944751381	9,147154246	9,263569746	0,379392242	

Muestra	Imagen	Objeto	Objeto imagen	Área	ASTM			Feret, 0°	Feret, 45°	Feret, 90°	Feret, 135°	Feret, Avg	Esfericidad
					E-112 96	Diámetro, Circular	Diámetro, Esférico						
M2	_13	297	40	51,28048594	11,0186071	8,080367725	9,896026353	14,91712707	11,1004879	6,629834254	13,44448828	11,64176653	0,368421335
		298	1	246,0242361	8,84670903	17,69880749	21,67572953	16,57458564	22,42982306	37,01657459	33,3684915	27,2852868	0,171274925
		299	2	19,8406642	12,24427856	5,026123582	6,155493551	7,182320442	4,459153487	5,524861878	8,365820787	6,483149107	0,385320246
		300	3	453,8933488	8,020308734	24,03986191	29,44161888	36,4640884	34,14982496	23,20441989	29,85249093	31,18087648	0,187480536
		301	4	18,61970025	12,39676152	4,869018245	5,963086645	5,524861878	4,849820217	5,524861878	5,631153677	5,462964892	0,579028953
		302	5	10,68343457	13,12060005	3,688166397	4,516897386	4,419889503	4,459153487	3,314917127	4,068486757	4,137869646	0,655685105
		303	6	21,36686914	12,19400512	5,215854939	6,387857543	5,524861878	4,849820217	7,182320442	7,193820597	6,28500684	0,491983122
		304	7	55,85910076	10,91015353	8,433386984	10,32836904	13,25966851	14,61648847	11,04972376	6,803153867	11,53939434	0,37953198
		305	8	36,62891853	11,4955781	6,829157163	8,363668777	8,839779006	9,537820976	6,629834254	7,193820597	8,101703938	0,484326727
		306	9	14,04108544	12,76758679	4,228198816	5,17827509	3,867403315	4,459153487	5,524861878	6,021820407	5,076195611	0,621995553
		307	10	67,45825829	10,6469558	9,267713962	11,35016929	7,73480663	12,27248809	13,25966851	12,27248809	11,36609698	0,337818968
		308	11	74,784042	10,53721161	9,75797108	11,95058718	15,46961326	15,78848866	8,287292818	11,1004879	12,81069225	0,428446073
		309	12	40,29181038	11,31955357	7,162480458	8,771889817	12,15469613	6,412487137	9,944751381	13,83515501	10,53146085	0,336752211
		310	13	171,2401941	9,422456747	14,76583173	18,08371413	19,33701657	16,56982212	14,36464088	17,35115558	16,82932211	0,468174778
		311	14	334,8493636	8,456814907	20,6480859	25,2877108	28,17679558	32,58715804	25,41436464	22,82048979	27,00878433	0,245766471
		312	15	139,1898904	9,70194324	13,31247808	16,30379191	21,54696133	15,78848866	11,60220994	18,13248904	16,85569296	0,44483844
		313	16	297,3047221	8,618460387	19,45610776	23,82789517	30,93922652	14,61648847	32,59668508	42,74449302	30,26602134	0,241387149
		314	17	77,83645188	10,45200079	9,955121725	12,19203758	14,91712707	17,35115558	14,91712707	10,70982117	14,30645326	0,322114527
		315	18	34,7974726	11,52856325	6,656239041	8,151895954	11,04972376	7,975154057	6,077348066	10,31915444	8,88719522	0,383576326
		316	19	22,28259211	12,09768277	5,326450735	6,523304215	6,077348066	7,975154057	7,182320442	5,631153677	6,742806398	0,3841024
		317	20	34,49223162	11,56005575	6,626980706	8,116063271	7,182320442	9,147154246	9,392265193	7,584487327	8,429884086	0,439057065
		318	21	927,9326028	6,994454642	34,37267061	42,09620969	59,66850829	41,57249283	35,35911602	63,44982971	50,07539618	0,099901043
		319	22	60,13247459	10,84367968	8,750031118	10,71616311	9,944751381	8,365820787	10,49723757	13,44448828	10,54496234	0,494291554
		320	23	87,60416349	10,36064811	10,5613013	12,93442571	11,04972376	11,88182136	10,49723757	11,49115463	11,45176548	0,631061058
		321	24	25,64024297	11,95213015	5,713682813	6,997547341	6,629834254	5,631153677	7,182320442	8,756487517	7,229829562	0,466736898
		322	25	1134,275511	6,746760161	38,00268983	46,54189424	64,64088398	43,13515975	40,8839779	58,37116222	51,24286673	0,17200348
		323	26	59,21675163	10,86687975	8,683150919	10,63425493	13,25966851	12,27248809	8,287292818	9,147154246	10,87327639	0,506817725
		324	27	23,50355606	12,12867914	5,47043481	6,699641512	5,524861878	6,803153867	6,077348066	5,631153677	6,035615179	0,717311631
		325	28	54,02765483	10,97598933	8,293982556	10,15764044	9,944751381	9,928487706	8,839779006	11,49115463	10,15927789	0,45338864
		326	29	15,26204939	12,67630811	4,408201993	5,398724981	4,419889503	6,021820407	4,972375691	4,068486757	4,948584501	0,676082123
		327	30	193,8280272	9,253108199	15,70953561	19,23946826	24,30939227	19,69515595	11,60220994	21,6484896	19,64097078	0,474061875
		328	31	505,1738347	7,84981633	25,36153196	31,06026819	29,83425414	50,94849435	46,96132597	25,16449017	38,08919339	0,135084626
		329	32	419,4011172	8,128327011	23,10839864	28,30085581	38,67403315	29,85249093	26,51933702	30,63382439	31,41192986	0,186350413
330	33	27,16644791	11,92560395	5,881275012	7,202797508	6,629834254	7,584487327	6,077348066	6,412487137	6,728342401	0,647627224		
331	34	253,9605018	8,818273034	17,98200639	22,02256322	23,75690608	22,42982306	19,33701657	24,77382344	22,84340065	0,200934032		

Muestra	Imagen	Objeto	Objeto imagen	Área	ASTM E-112 96	Diámetro, Circular	Diámetro, Esférico	Feret, 0°	Feret, 45°	Feret, 90°	Feret, 135°	Feret, Avg	Esfericidad
		332	35	867,4948872	7,108070885	33,23445193	40,70223328	65,19337017	54,85516165	28,72928177	50,55782762	50,08929595	0,138880819
		333	36	357,7424377	8,367102082	21,3422543	26,13785884	24,30939227	29,85249093	30,93922652	22,82048979	27,08802446	0,249839897
		334	37	27,16644791	11,90713718	5,881275012	7,202797508	7,73480663	7,584487327	6,077348066	5,631153677	6,854709418	0,56771687
		335	38	32,3555447	11,67955011	6,418438985	7,860662225	8,839779006	7,193820597	6,077348066	8,756487517	7,731638478	0,568981642
		336	39	20,75638717	12,18667173	5,140802753	6,295941132	7,182320442	4,849820217	5,524861878	8,756487517	6,68816894	0,383346798
		337	40	39,68132841	11,32672412	7,108012135	8,705182462	10,49723757	10,70982117	7,73480663	7,584487327	9,261024952	0,310566669
		338	41	57,69054669	10,8923385	8,57052422	10,49632101	11,60220994	12,27248809	7,182320442	9,537820976	10,41233073	0,466464631
			<b>Máximo</b>	1404,413785	13,73070579	42,28658378	51,78837916	107,7348066	84,54583312	100	120,4871723	82,81800803	0,785818751
			<b>Mínimo</b>	6,715301731	6,423693799	2,924070402	3,581109022	2,762430939	3,287153297	2,209944751	3,287153297	3,12851097	0,059702069



## ANEXO E

### TRABAJO EXPERIMENTAL DE LOS TIPOS DE TEJIDO

#### E.1 Tipos de tejidos

Tabla E.1 Tipos de tela (Gacén, 1991)

Tipos de telas seleccionadas para la experimentación	
<p><b>Esterilla</b> dos o más hilos en la urdimbre o la trama, o ambos se tejen como uno solo en un tejido plano</p>	
<p><b>Sarga</b> los hilos de urdimbre y trama hacen bastas por encima de dos o más hilos de la dirección opuesta, en una progresión regular hacia la izquierda o hacia la derecha y resulta en un tejido a espina.</p>	
<p><b>Raso o satén</b> los hilos de la urdimbre se dividen en series mayores que para la sarga (de cinco a ocho series). De estos hilos, cada uno sólo cubre la trama en la primera pasada; en la siguiente, el tercero saltando uno y así sucesivamente. De aquí resulta que, teniendo la urdimbre pocos enlaces con la trama y siendo ésta de seda, la superficie del tejido aparece brillante. Por eso recibe también el nombre de satén que tiene una textura más densa que la de los tejidos cruzados, pero a la vez es suave, pero menos resistente. Los principales tejidos son satén, piel de ángel, raso, damasco.</p>	
<p><b>Satén</b> los hilos de urdimbre y trama hacen bastas sobre cuatro o más hilos de la dirección opuesta, en una progresión de dos a la derecha o a la izquierda.</p>	

---

### Tipos de telas seleccionadas para la experimentación

---

**Maquinilla** aditamento especial del telar que permite construir hasta 32 ligamentos diferentes



**De felpa** se tejen hilos adicionales de urdimbre o de trama para dar origen a una tela tridimensional cortada o sin cortar



**Gasa** un aditamento llamado calota en el telar hace que uno de dos hilos de urdimbre pase sobre el otro en picadas alternadas de los hilos de trama.



## E.2 Selección de los tejidos en pruebas de laboratorio

Se puede observar en las Fig. E.1 y E.2 ambos lados de la muestra tejido tipo charme punto de urdimbre expuesto a cambio de temperatura y presión. En ambos lados hay presencia de partículas de madera.

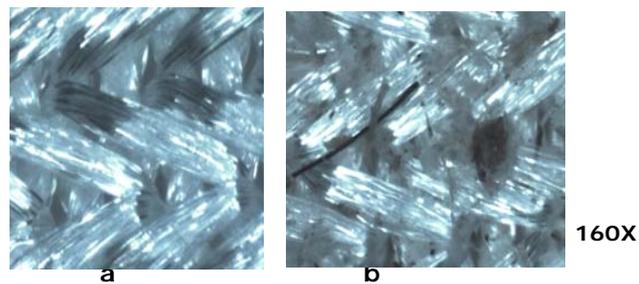


Fig. E.1 Microfotografías a un aumento de magnitud de 160X del tejido tipo charme punto de urdimbre expuesto a cambio de temperatura y presión por el lado del derecho, la foto **a** sin muestra y la foto **b** con muestra.

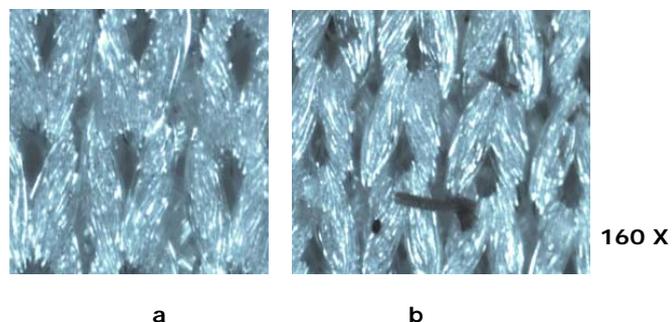


Fig. E.2 Microfotografías a un aumento de magnitud de 160X del tejido tipo de charme punto de urdimbre expuesto a cambio de temperatura y presión por el revés, la foto **a** sin muestra, la foto **b** con muestra.

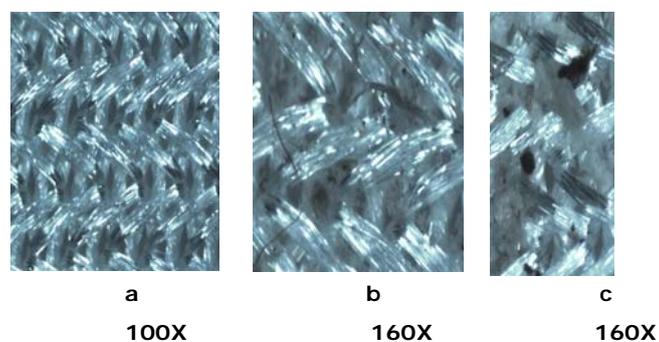


Fig. E.3 Microfotografías a un aumento de magnitud de 100X del tejido tipo de charme por el lado derecho de la tela. Se observa que el lado **a** está sin muestra; los lados **b** y **c** a una magnitud de 160x se observan con muestras.

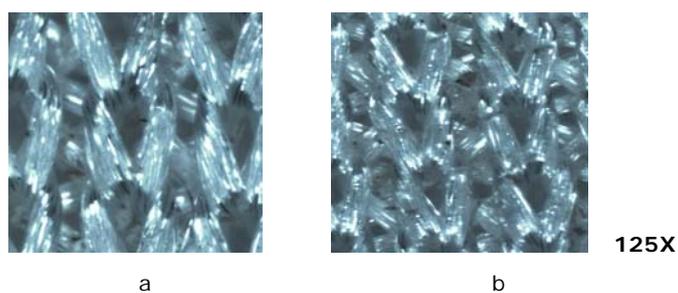


Fig. E.4 Microfotografías a un aumento de magnitud de 125X del tejido tipo de charme por el revés. El lado **a** se observa sin muestra y el lado **b** con muestra.

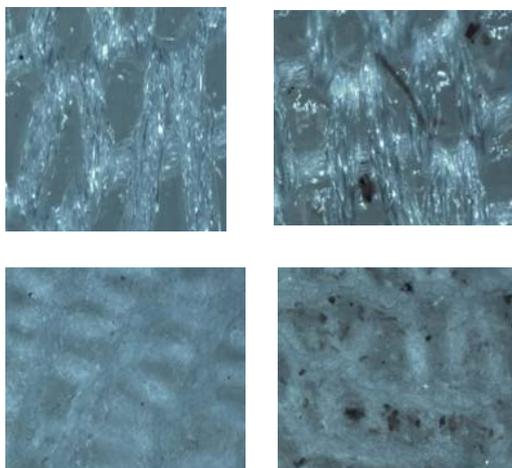


Fig. E.5 Microfotografías a un aumento de magnitud de 160X del tejido de crepe por un lado derecho sin muestra **a** y con muestra **b**

### E.3 COMPARACIÓN ENTRE LAS TELAS SELECCIONADAS Y LAS MASCARILLAS DESECHABLES CON DIFERENTES VELOCIDADES DEL AIRE

Tabla E.2 Concentración de las condiciones extremas de exposición No. 2 de los tejidos tafetán y tela no tejida de la mascarilla desechable de uso común. Peso del filtro en blanco = 0.0157 mg, caudal de aire = 1.8 l/min., tiempo de muestreo = 7 horas, TLV = 5 mg/m<sup>3</sup>.

Tiempo (min.)	Volumen del aire (m <sup>3</sup> )	Mascarilla			Mascarilla		
		Tafetán	Concentración mg/m <sup>3</sup> instantánea	Concentración mg/m <sup>3</sup> acumulada	desechable de uso común	Concentración mg/m <sup>3</sup> instantánea	Concentración mg/m <sup>3</sup> acumulada
0	0	0.0139	0	0	0.014	0	0
120	0.216	0.0139	0	0	0.014	0	0
240	0.432	0.0141	0.93	0.46	0.0141	0.46	0.23
360	0.648	0.0141	0	0.31	0.0141	0.00	0.15
420	0.756	0.0142	0.46	0.40	0.0143	0.93	0.40

Tabla E3. Concentración de las condiciones extremas de exposición No. 1 de los tejidos tafetán y Jacquard. Peso del filtro en blanco = 0.0140 mg, caudal de aire = 1.5 l/min, tiempo de muestreo = 9 horas, TLV = 5 mg/m<sup>3</sup>.

Tiempo (min.)	Volumen de aire (m <sup>3</sup> )	Tafetán		Tafetán		Jacquard		Jacquard	
		Tafetán Filtro 1	Concentración mg/m <sup>3</sup> instantánea	Concentración mg/m <sup>3</sup> acumulada	Jacquard Filtro 2	Concentración mg/m <sup>3</sup> instantánea	Concentración mg/m <sup>3</sup> acumulada		
0	0	0.0151	0		0.0153	0	0		
30	0.045	0.0152	2.22	2.22	0.0153	0	0		
60	0.09	0.0154	4.44	3.33	0.0156	6.67	0		
90	0.135	0.0157	6.67	4.44	0.0157	2.22	2.22		
120	0.18	0.0157	0	3.33	0.0157	0.00	2.22		
150	0.225	0.0157	0	2.67	0.0158	2.22	1.78		
180	0.27	0.0158	2.22	2.59	0.0161	6.67	1.85		
210	0.315	0.0158	0	2.22	0.0164	6.67	2.54		
240	0.36	0.0158	0	1.94	0.0164	0.00	3.06		
270	0.405	0.0158	0	1.73	0.0164	0.00	2.72		
300	0.45	0.0158	0	1.56	0.0164	0.00	2.44		
330	0.495	0.0158	0	1.41	0.0164	0.00	2.22		
390	0.585	0.0158	0	1.20	0.0164	0.00	1.88		
410	0.615	0.0159	3.33	1.30	0.0164	0.00	1.79		
440	0.66	0.016	2.22	1.36	0.0164	0.00	1.67		
510	0.765	0.016	0	1.18	0.0164	0.00	1.44		
540	0.81	0.0161	2.22	1.23	0.0167	6.67	1.36		

Tabla E4 Concentración de las condiciones normales de exposición No. 2 de los tejidos Jacquard y tela no tejida de la mascarilla desechable. Peso del filtro en blanco = 0.0157 mg, caudal de aire = 1.8 l/min., tiempo de muestreo = 7 horas, TLV = 5 mg/m<sup>3</sup>.

Tiempo	Volumen del aire (m <sup>3</sup> )	Jacquard	Concentración mg/m <sup>3</sup>		Mascarilla		
			instantánea	acumulada	desechable de uso común	Concentración mg/m <sup>3</sup> instantánea	Concentración mg/m <sup>3</sup> acumulada
0	0	0.0148	0	0	0.0148	0	0
120	0.216	0.0148	0	0	0.0149	0.46	0.83
240	0.432	0.015	0.93	0.46	0.015	0.46	0.83
360	0.648	0.015	0	0.31	0.015	0.00	0.56
420	0.756	0.0156	2.78	1.06	0.0151	0.46	0.71

Tabla E.5. Concentración de las condiciones extremas de exposición No.1 de los tejidos tafetán, mascarilla desechable normalizada y tela no tejida de la mascarilla desechable de uso común. Peso del filtro en blanco = 0.0142 mg, caudal de aire = 1.5 l/min., tiempo de muestreo = 6 horas, TLV = 5 mg/m<sup>3</sup>.

Tiempo (min.)	Volumen del aire (m <sup>3</sup> )	Tafetán	Mascarilla							
			Concentración mg/m <sup>3</sup> , instantánea	Concentración mg/m <sup>3</sup> , acumulada	Concentración de uso común	Concentración mg/m <sup>3</sup> , instantánea	Concentración mg/m <sup>3</sup> , acumulada	Mascarilla Desechable normalizada	Concentración mg/m <sup>3</sup> , instantánea	Concentración mg/m <sup>3</sup> , acumulada
0	0	0.0154	0	0	0.0148	0	0	0.015	0	0
30	0.045	0.0154	0	0	0.015	4.44	4.44	0.0151	2.22	2.22
60	0.09	0.0154	0	0	0.0153	6.67	5.56	0.0152	2.22	2.22
90	0.135	0.0154	0	0	0.0153	0.00	3.70	0.0152	0.00	1.48
120	0.18	0.0154	0	0	0.0157	8.89	5.00	0.0154	4.44	2.22
150	0.225	0.0156	4.44	0.89	0.0158	2.22	4.44	0.0155	2.22	2.22
180	0.27	0.0157	2.22	1.11	0.0161	6.67	4.81	0.0158	6.67	2.96
210	0.315	0.0157	0	0.95	0.0161	0.00	4.13	0.0159	2.22	2.86
240	0.36	0.0157	0	0.83	0.0161	0.00	3.61	0.0159	0.00	2.50
270	0.405	0.0157	0	0.74	0.0164	6.67	3.95	0.0159	0.00	2.22
300	0.45	0.0159	4.44	1.11	0.0164	0.00	3.56	0.0159	0.00	2.00
330	0.495	0.016	2.22	1.21	0.0164	0.00	3.23	0.016	2.22	2.02
360	0.585	0.016	0	1.03	0.0166	4.44	3.08	0.0162	4.44	2.05

Tabla E.6 Concentración de las condiciones normales de exposición No. 2 de los tejidos tafetán, tela no tejida de la mascarilla desechable y Jacquard. Peso del filtro en blanco = 0.0149 mg, caudal de aire = 1.8 l/min., tiempo de muestreo = 6 horas, TLV = 5 mg/m<sup>3</sup>.

Tiempo (min.)	Volumen del aire (m <sup>3</sup> )	Tafetán	Mascarilla							
			Concentración mg/m <sup>3</sup> , instantánea	Concentración mg/m <sup>3</sup> , acumulada	Concentración de uso común	Concentración mg/m <sup>3</sup> , instantánea	Concentración mg/m <sup>3</sup> , acumulada	Jacquard	Concentración mg/m <sup>3</sup> , instantánea	Concentración mg/m <sup>3</sup> , acumulada
0	0	0.0152	0	0	0.0151	0	0	0.0154	0	0
120	0.216	0.0152	0	0	0.0151	0	0	0.0155	0.46	0.46
240	0.432	0.0152	0	0	0.0151	0	0	0.0155	0	0.23
360	0.648	0.0154	0.93	0.31	0.0153	0.93	0.31	0.0157	0.93	0.46

## E.4 VELOCIDADES DEL AIRE

### E.4.1. Velocidad del aire a 0.41 m/s.

- *Tejido tipo Jacquard y mascarilla desechable*

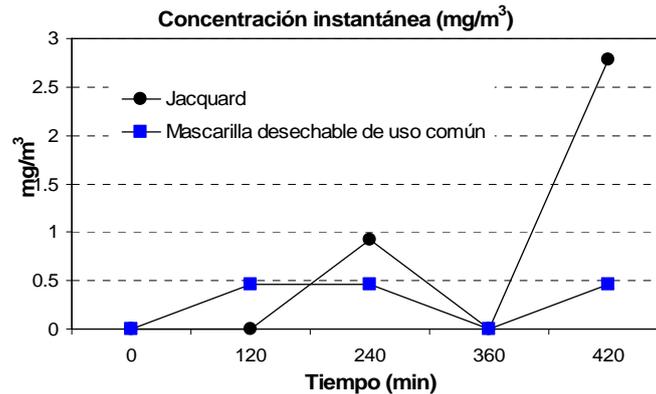


Fig. E4.6 Concentración instantánea en  $\text{mg}/\text{m}^3$  los tejidos Jacquard y mascarilla desechable de uso común, en un tiempo total de 420 minutos de muestreo. En este caso el tejido tipo Jacquard deja pasar mayor concentración que la mascarilla desechable.

- *Tejido tipo tafetán, mascarilla desechable y la mascarilla regulada*

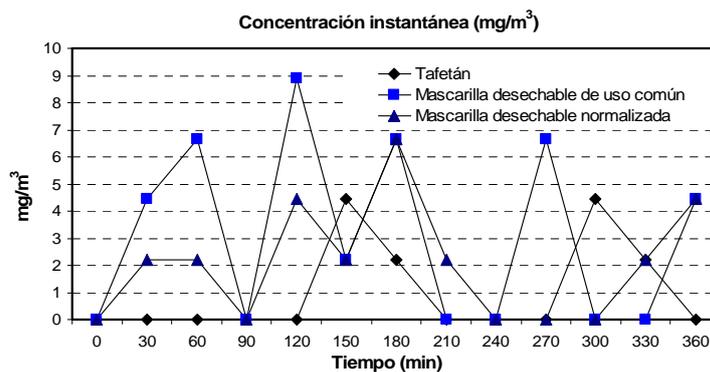


Fig. E.7 Concentración instantánea en  $\text{mg}/\text{m}^3$  los tejidos tafetán, mascarilla desechable normalizada y mascarilla desechable de uso común, en un tiempo total de 360 minutos de muestreo. Se aprecia que el tejido tipo tafetán se comporta de forma similar a la mascarilla desechable regulada.

- *Tejido tipo Jacquard y mascarilla desechable*

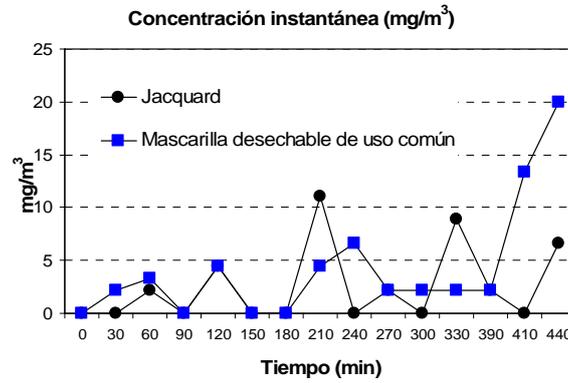


Fig. E.8 Concentración instantánea en  $\text{mg}/\text{m}^3$  los tejidos Jacquard y mascarilla desechable de uso común, en un tiempo total de 440 minutos de muestreo. El tejido Jacquard presenta una menor concentración que la mascarilla desechable.

#### E.4.2. Velocidad del aire a 0.18 m/s

- *Tejidos tipo Jacquard y tafetán*

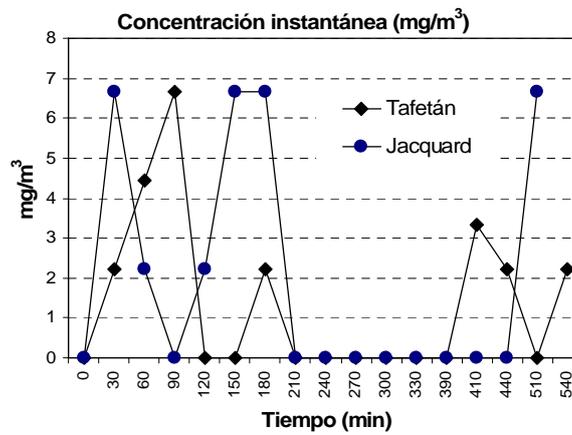


Fig. E.9 Concentración instantánea en  $\text{mg}/\text{m}^3$  para los tejidos Jacquard y tafetán, en un tiempo total de 540 minutos de muestreo.

- *Tejido tipo tafetán y mascarilla desechable*

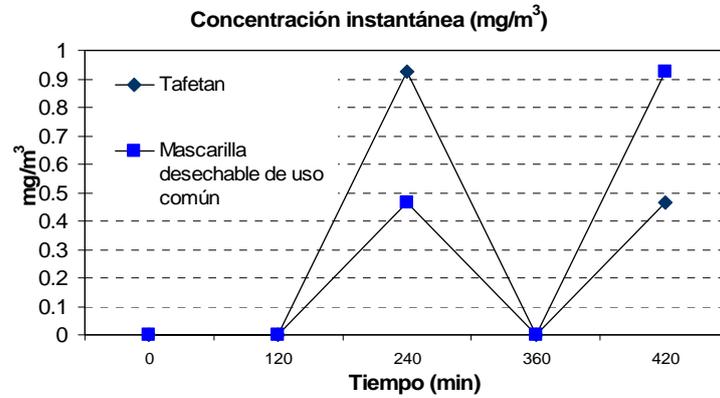


Fig. E.10 Concentración instantánea en mg/m<sup>3</sup> para los tejidos tafetán y mascarilla desechable, en un tiempo total de 420 minutos de muestreo. El tejido tipo tafetán tiene una menor concentración que la mascarilla desechable.

#### E.4.3. Velocidad del aire a 0.23 m/s

- *Tejido tipo Jacquard y mascarilla desechable*

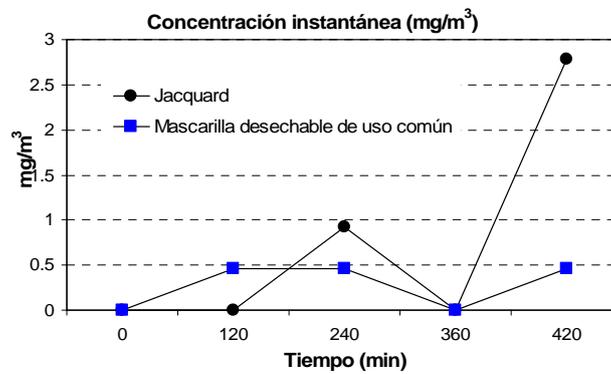


Fig. E.11 Concentración instantánea en mg/m<sup>3</sup> los tejidos Jacquard pelo y mascarilla desechable, en un tiempo total de 420 minutos de muestreo.

#### E.4.4 Velocidad del aire a 0.33 m/s

- *Tejidos tipo tafetán, Jacquard y mascarilla desechable*

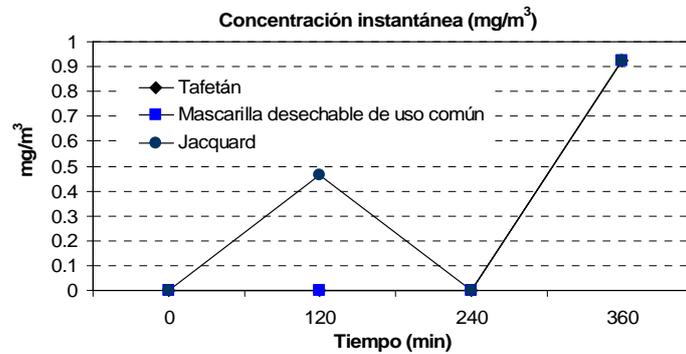


Fig. E.12 Concentración instantánea en  $\text{mg}/\text{m}^3$  los tejidos Jacquard, tafetán y mascarilla desechable, en un tiempo total de 420 minutos de muestreo. El tejido tipo tafetán tiene mejor rendimiento que los otros tejidos.

### E.5 Datos experimentales entre los telas no tejidas y los tejidos seleccionados a diferentes tiempos y velocidades del aire.

Tabla E.7 Datos de la experimentación entre los tejidos tipo Jacquard y tela no tejido en condiciones extremas de exposición.

Tiempo (min)	Volumen ( $\text{m}^3$ )	Peso acumulado (mg) Filtro 1 jacquard	Concentración $\text{mg}/\text{m}^3$ acumulada	Peso acumulado (mg) Filtro 2 mascarilla desechable de uso común	Concentración $\text{mg}/\text{m}^3$ acumulada
0	0	0.0147	0	0.015	0
30	0.045	0.0147	0	0.0151	2.22
60	0.09	0.0148	1.11	0.0154	3.50
90	0.135	0.0148	0.74	0.0154	2.96
120	0.18	0.015	1.67	0.0156	2.90
150	0.225	0.015	1.33	0.0156	2.67
180	0.27	0.015	1.11	0.0156	2.80
210	0.315	0.0155	2.54	0.0158	2.60
240	0.36	0.0155	2.22	0.0161	2.80
270	0.405	0.0156	2.22	0.0162	2.96
300	0.45	0.0156	2.00	0.0163	2.89
330	0.495	0.016	2.63	0.0164	2.83
390	0.585	0.0162	2.56	0.0166	2.74
410	0.615	0.0162	2.44	0.017	3.25
440	0.66	0.0165	2.73	0.0179	4.39

Tabla E.8 Datos de la experimentación entre los tejidos tipo tafetán y Jacquard en condiciones extremas de exposición.

Tiempo (min)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso (mg) del filtro 1 tafetán	Concentración mg/m <sup>3</sup> acumulada	Peso (mg) del filtro 2 jacquard	Concentración mg/m <sup>3</sup> acumulada
0	0	0.0151	0	0.0153	0
30	0.045	0.0152	2.22	0.0153	0
60	0.09	0.0154	3.33	0.0156	0
90	0.135	0.0157	4.44	0.0157	2.22
120	0.18	0.0157	3.33	0.0157	2.22
150	0.225	0.0157	2.67	0.0158	1.78
180	0.27	0.0158	2.59	0.0161	1.85
210	0.315	0.0158	2.22	0.0164	2.54
240	0.36	0.0158	1.94	0.0164	3.06
270	0.405	0.0158	1.73	0.0164	2.72
300	0.45	0.0158	1.56	0.0164	2.44
330	0.495	0.0158	1.41	0.0164	2.22
390	0.585	0.0158	1.20	0.0164	1.88
410	0.615	0.0159	1.30	0.0164	1.79
440	0.66	0.016	1.36	0.0164	1.67
510	0.765	0.016	1.18	0.0164	1.44
540	0.81	0.0161	1.23	0.0167	1.36

Tabla E.9 Datos de la experimentación entre los tejidos tipo tafetán, mascarilla desechable de uso común y mascarilla desechable normalizada en condiciones extremas de exposición.

Tiempo (min)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso (mg) del filtro del tafetán	Concentración mg/m <sup>3</sup> acumulada	Peso (mg) del filtro de la mascarilla desechable	Concentración mg/m <sup>3</sup> acumulada	Peso (mg) del filtro de la mascarilla normalizada	Concentración mg/m <sup>3</sup> acumulada
0	0	0.0154	0	0.0148	0	0.015	0
30	0.045	0.0154	0	0.015	4.44	0.0151	2.22
60	0.09	0.0154	0	0.0153	5.56	0.0152	2.22
90	0.135	0.0154	0	0.0153	3.70	0.0152	1.48
120	0.18	0.0154	0	0.0157	5.00	0.0154	2.22
150	0.225	0.0156	0.89	0.0158	4.44	0.0155	2.22
180	0.27	0.0157	1.11	0.0161	4.81	0.0158	2.96
210	0.315	0.0157	0.95	0.0161	4.13	0.0159	2.86
240	0.36	0.0157	0.83	0.0161	3.61	0.0159	2.50
270	0.405	0.0157	0.74	0.0164	3.95	0.0159	2.22
300	0.45	0.0159	1.11	0.0164	3.56	0.0159	2.00
330	0.495	0.016	1.21	0.0164	3.23	0.016	2.02
360	0.585	0.016	1.03	0.0166	3.08	0.0162	2.05

Tabla E.10 Datos de la experimentación entre los tejidos tipo tafetán y la tela no tejida de la mascarilla desechable de uso común en condiciones normales de exposición

Tiempo (min)	Peso (mg) del filtro del tafetán	Concentración mg/m <sup>3</sup> acumulada	Peso (mg) del filtro de la mascarilla desechable de uso común	Concentración mg/m <sup>3</sup> acumulada
0	0.0139	0	0.014	0
120	0.0139	0	0.014	0
240	0.0141	0.46	0.0141	0.23
360	0.0141	0.31	0.0141	0.15
420	0.0142	0.40	0.0143	0.40

Tabla E.11 Datos de la experimentación entre los tejidos tipo Jacquard y de la tela no tejida de la mascarilla desechable de uso común en condiciones normales de exposición

Tiempo	Peso (mg) del filtro Jacquard	Concentración mg/m <sup>3</sup> acumulada	Peso (g) del filtro de la Mascarilla desechable de uso común	Concentración mg/m <sup>3</sup> acumulada
0	0.0148	0	0.0148	0
120	0.0148	0	0.0149	0.83
240	0.015	0.46	0.015	0.83
360	0.015	0.31	0.015	0.56
420	0.0156	1.06	0.0151	0.71

Tabla E.12 Datos de la experimentación entre los tejidos tipo tafetán, Jacquard y de la tela no tejida de la mascarilla desechable de uso común en condiciones normales de exposición

Tiempo	Peso (mg) del filtro del tafetán	Concentración mg/m <sup>3</sup> acumulada	Peso (mg) del filtro de la mascarilla desechable de uso común	Concentración mg/m <sup>3</sup> acumulada	Peso (mg) del filtro del Jacquard	Concentración mg/m <sup>3</sup> acumulada
0	0.0152	0	0.0151	0	0.0154	0
120	0.0152	0	0.0151	0	0.0155	0.46
240	0.0152	0	0.0151	0	0.0155	0.23
360	0.0154	0.31	0.0153	0.31	0.0157	0.46

## ANEXO F

### PROGRAMA DE SIMULACIÓN DE MONTE CARLO

#### F.1. CÓDIGO FUENTE DEL PROGRAMA DE SIMULACIÓN DE MONTE CARLO (LENGUAJE FORTRAN)

- Programa para tela tejida

```

c      Programa para conocer cuantas partículas atraviesan una malla tejida o una malla no tejida
c
c      La malla tejida se representa por 1 malla de 4 celdas cuadradas de tamaño de poro 0.5
c      VERSION: RANDOM FORTRAN y SELECCION ALEATORIA DE TAMAÑO DE PARTICULA,
c      CON VALOR DE CONFIANZA
c
c
c      data iseed,pi /1234567, 3.14159/
c
c      *** Caso malla tejida
c
c      >>> Lectura de datos desde fichero teclado
c
c      Numero de partículas
c      write(6,*) 'Numero de partículas'
c      read(5,*) npar
c      write(6,*) npar
c      Tamaño de partícula.
c      write(6,*) 'Diámetro mínimo de las partículas esféricas (µm)'
c      read(5,*) dmin
c      write(6,*) dmin
c      write(6,*) 'Diámetro máximo de las partículas esféricas (µm)'
c      read(5,*) dmax
c      write(6,*) dmax
c      Valor de confianza.
c      write(6,*) 'Valor de confianza (95, 99, 99.7 o 99.999%)'
c      read(5,*) conf
c      write(6,*) conf
c      Malla tejida (um)
c      write(6,*) 'Tamaño del poro de la malla (µm)'
c      read(5,*) poro
c      write(6,*) poro
c
c      >>> Ejecución mediante Monte-Carlo

```

```

c
c      pnor= tamaño de partícula normalizado
kpas=0
iff=0
diammin=+1.e20
diammax=-1.e20
zmin=1e20
zmax=-1e20

c
if(conf.eq.95) then
  desv=(dmax-dmin)/(2*1.96)
else if(conf.eq.99) then
  desv=(dmax-dmin)/(2*2.576)
else if(conf.eq.99.7) then
  desv=(dmax-dmin)/(2*2.97)
else if(conf.eq.99.999) then
  desv=(dmax-dmin)/(2*4.4)
else
  desv=(dmax-dmin)/(2*2.97)
conf=99.7
endif
dmed=(dmax+dmin)/2.

c
do 1 i=1,npar

c Selección de la partícula
c supongo distribución gaussiana con intervalo de confianza
c [dmed +/- f*desv]
c Si quiero el 99%, el factor es 2.576; si 95%, el factor es 1.96
c Para 99.7% --> f=2.97; para 99.999% --> f=4.4
c
222 continue
call ranormal(iseed,Z,iff)

c
diam=dmed + desv*Z
if(diam.gt.dmax.or.diam.lt.dmin) goto 222

c
zmin=min(zmin,z)
zmax=max(zmax,z)
diammin=min(diammin,diam)
diammax=max(diammax,diam)
c resf = radio de la esfera
resf=diam/2.
pnor=resf/(2.*poro)

c
c Estimo posición x,y aleatoria del centro de la partícula (entre 0 y 1)
c Observo si choca
call ra0to1(iseed,x,iff)
call ra0to1(iseed,y,iff)
c write(6,*) x,y
if(x.le.pnor.or.x.ge.1-pnor) goto 1
if(x.ge.0.5-pnor.and.x.le.0.5+pnor) goto 1
if(y.le.pnor.or.y.ge.1-pnor) goto 1
if(y.ge.0.5-pnor.and.y.le.0.5+pnor) goto 1
c write(6,*) 'pasa',i
kpas=kpas+1
1 continue
write(6,*) 'diammin,diammax,dmed,desv,conf=',
# diammin,diammax,dmed,desv,conf
porz=real(kpas)/real(npar)*100.
write(6,*) 'zmin,zmax:',zmin,zmax
write(6,*) '>>> MALLA TEJIDA. TOTAL PASARON:',kpas,porz,'%
end

c
c -----
SUBROUTINE RAOTO1 (ISEED,RND,iff)

```

```

CC
  if(iff.eq.0) then
    CALL SRAND(ISEED)
    iff=1
  endif
  RND=RAND()
c   ISEED=INT(RND*10000.)
c   WRITE(6,*) ISEED
C
C
  RETURN
  END

c
c -----
  subroutine ranormal(iseed,Z,iff)
c
c generador de números aleatorios siguiendo distribución normal
c método según: http://www.scribd.com/doc/5871164/Generacion-de-Numeros-Aleatorios
c
  call ra0to1(iseed,rnd,iff)
c Generador de Schmeiser
c (pero no da resultado entre 0 y 1, sino entre -5.05 y +5.05...
c O sea, sigue la ley normal reducida)
  Z=(rnd**0.135 - (1-rnd)**0.135)/0.1975
c
c Algoritmo de Box-Muller
c (tampoco va bien. Sale entre -4.85 y +4.85)
c http://www.unilim.fr/pages\_perso/jean.debord/math/random/random.htm#III.B
c 111 continue
c   call ra0to1(iseed,rnd1,iff)
c   call ra0to1(iseed,rnd2,iff)
cc   aux=-2.*log(rnd2)
cc   if(aux.lt.0.or.rnd2.eq.0.) goto 111
cc   teta=2.*3.14159*rnd1
cc   radi=sqrt(aux)
cc   Z=radi*cos(teta)
c   v1=2.*rnd1+1
c   v2=2.*rnd2+1
c   w=v1*v1+v2*v2
c   if(w.gt.1) goto 111
c   Z=v1*sqrt(-2.log(w)/w)
  return
  end

```

- **Programa para tela no tejida**

```

c Programa para conocer cuantas partículas atraviesan una malla no tejida
c
c La malla no tejida se representa por NNT capas de celdas cuadradas de tamaño de poro aleatorio
c y con orientaciones aleatorias sobre la primera capa de malla.
C VERSION: giro de partícula en vez de giro de malla
C VERSION: RANDOM FORTRAN y SELECCION ALEATORIA DE TAMAÑO DE PARTICULA
c VERSION: REPETICION ALEATORIA DE SERIE DE NNT CAPAS (todas las partículas se hacen pasar por
c la misma combinación de malla no tejida
c
  parameter(nkapmax=20)
  real*4 tnor(nkapmax),alfa(nkapmax),despx(nkapmax),despy(nkapmax)
c

```

```

data iseed,pi /1234567, 3.14159/
c
c *** Caso malla no tejida
c
c >>> Lectura de datos desde fichero teclado
c
c Numero de partículas
  write(6,*) 'Numero de partículas'
  read(5,*) npar
  write(6,*) npar
c Tamaño de partícula
  write(6,*) 'Diámetro mínimo de las partículas esféricas (µm)'
  read(5,*) dmin
  write(6,*) dmin
  write(6,*) 'Diámetro máximo de las partículas esféricas (µm)'
  read(5,*) dmax
  write(6,*) dmax
c Valor de confianza.
  write(6,*) 'Valor de confianza (95, 99, 99.7 o 99.999%)'
  read(5,*) conf
  write(6,*) conf
c Malla NO tejida (µm)
  write(6,*) 'Tamaño del poro MINIMO de la malla (um)'
  read(5,*) poromin
  write(6,*) poromin
  write(6,*) 'Tamaño del poro MAXIMO de la malla (um)'
  read(5,*) poromax
  write(6,*) poromax
c Numero de capas de malla no tejida
  write(6,*) 'Numero de capas de malla no tejida'
  read(5,*) nkapas
  write(6,*) nkapas
  if(nkapas.gt.nkapmax) then
    write(6,*) '### No. CAPAS > MAXIMO'
    stop
  endif
c Numero de casos de mallas no tejidas
  write(6,*) 'Numero de casos de mallas no tejidas'
  read(5,*) ncasos
  write(6,*) ncasos
c
c >>> Ejecucion mediante Monte-Carlo
c
  kpsa=0

```

```

iff=0
pmin=+1.e20
pmax=-1.e20
diammin=+1.e20
diammax=-1.e20
zmin=+1.e20
zmax=-1.e20
c
if(conf.eq.95) then
  desv=(dmax-dmin)/(2*1.96)
else if(conf.eq.99) then
  desv=(dmax-dmin)/(2*2.576)
else if(conf.eq.99.7) then
  desv=(dmax-dmin)/(2*2.97)
else if(conf.eq.99.999) then
  desv=(dmax-dmin)/(2*4.4)
else
  conf=99.7
  desv=(dmax-dmin)/(2*2.97)
endif
dmed=(dmax+dmin)/2.
c
c >>> COMIENZO MACROBUCLE DE REPETICIONES DE CASOS DE MALLAS NO TEJIDAS
c
do 333 kaso=1,ncasos
c
c estimo tamaño poro aleatorio de la capa 1
call ra0to1(iseed,rnd,iff)
poro=(poromax-poromin)* rnd + poromin
pmax=max(pmax,poro)
pmin=min(pmin,poro)
c tnor= tamaño de partícula normalizado
tnor(1)=resf*0.5/poro
c
c Las siguientes capas están giradas aleatoriamente
do k=2,nkaps
c estimo tamaño poro aleatorio. tnor= tamaño radio partícula normalizado
call ra0to1(iseed,rnd,iff)
poro=(poromax-poromin) * rnd + poromin
pmax=max(pmax,poro)
pmin=min(pmin,poro)
tnor(k)=resf*0.5/poro
c estimo angulo de giro aleatorio de la capa (entre 10 y 80°)
call ra0to1(iseed,rnd,iff)

```

```

    ang=(80.-10.)*rnd + 10.
c estimo sentido de giro aleatorio (0-0.5 --> (-) 0.5-1 --> (+))
    call ra0to1(iseed,rnd,iff)
    if(rnd.lt.0.5) ang=-ang
    alfa(k)=ang*pi/180.
c estimo desplazamiento aleatorio normalizado de la capa (entre 0 y 0.5)
    call ra0to1(iseed,rnd,iff)
    despx(k)=rnd*0.5
    call ra0to1(iseed,rnd,iff)
    despy(k)=rnd*0.5
    enddo
c
c >>> PARA CADA CASO DE MALLA NO TEJIDA, HAGO PASARLE TODAS LAS PARTICULAS
c
    do 1 i=1,npar
c
c Selección de la partícula
c supongo distribución gaussiana con intervalo de confianza
c [dmed +/- f*desv]
c Si quiero el 99%, el factor es 2.576; si 95%, el factor es 1.96
c Para 99.7% --> f=2.97; para 99.999% --> f=4.4
c
222  continue
    call ranormal(iseed,Z,iff)
c
    diam=dmed + desv*Z
    if(diam.gt.dmax.or.diam.lt.dmin) goto 222
c
    zmin=min(zmin,z)
    zmax=max(zmax,z)
    diammin=min(diammin,diam)
    diammax=max(diammax,diam)
c resf = radio de la esfera
    resf=diam/2.
c
c estimo posición x,y aleatoria del centro de la partícula (entre 0 y 1)
c miro si choca en malla horizontal (capa 1)
    call ra0to1(iseed,x,iff)
    call ra0to1(iseed,y,iff)
c
    write(6,*) x,y
    if(x.le.tnor(1).or.x.ge.1-tnor(1)) goto 1
    if(x.ge.0.5-tnor(1).and.x.le.0.5+tnor(1)) goto 1
    if(y.le.tnor(1).or.y.ge.1-tnor(1)) goto 1
    if(y.ge.0.5-tnor(1).and.y.le.0.5+tnor(1)) goto 1

```

```

c      write(6,*) 'pasa 1',i,' tnor=',tnor
c      kpasa=kpasa+1
c
c Las siguientes capas están giradas aleatoriamente
      do 2 k=2,nkpas
c miro si choca en malla inclinada (capa k)
c nuevo punto x',y' de la partícula
c      x' = cos(ang)*(x+despx)-sin(ang)*(y+despy)
c      y' = cos(ang)*(x+despx)-sin(ang)*(y+despy)
      xx=cos(alfa(k))*(x+despx(k))-sin(alfa(k))*(y+despy(k))
      yy=sin(alfa(k))*(x+despx(k))+cos(alfa(k))*(y+despy(k))
      xx=abs(xx)
      yy=abs(yy)
      if(xx.le.tnor(k).or.xx.ge.1-tnor(k)) goto 1
      if(xx.ge.0.5-tnor(k).and.xx.le.0.5+tnor(k)) goto 1
      if(yy.le.tnor(k).or.yy.ge.1-tnor(k)) goto 1
      if(yy.ge.0.5-tnor(k).and.yy.le.0.5+tnor(k)) goto 1
c      write(6,*) 'pasa A-',k,i,' tnor=',tnor
2    continue
c
c Ha pasado todas las capas
      kpasa=kpasa+1
c
c a otra partícula
1    continue
c
c a otro caso de malla (la estadística la haré del total de casos)
333 continue
c
      write(6,*) 'diammin,diammax,dmed,desv,conf=',
#      diammin,diammax,dmed,desv,conf
      porz=real(kpasa)/(real(npar)*real(ncasos))*100.
      write(6,*) 'zmin,zmax:',zmin,zmax
      write(6,*) '>>> MALLA NO TEJIDA. TOTAL PASARON:',kpasa,porz,'%
      end
c
c -----
      SUBROUTINE RAOTO1 (ISEED,RND,iff)
C
      if(iff.eq.0) then
          CALL SRAND(ISEED)
          iff=1
      endif
      RND=RAND()

```

```

RETURN
END
c
c -----
  subroutine ranormal(iseed,Z,iff)
c
c Generador de números aleatorios siguiendo distribución normal
c Método segun: http://www.scribd.com/doc/5871164/Generacion-de-Numeros-Aleatorios
c
  call ra0to1(iseed,rnd,iff)
c Generador de Schmeiser
c (pero no da resultado entre 0 y 1, sino entre -5.05 y +5.05...
c O sea, sigue la ley normal reducida)
  Z=(rnd**0.135 - (1-rnd)**0.135)/0.1975
  return
  end

```

**Datos.txt.**

```

275700 / numero de partículas
32.93 / diámetro mínimo de la partícula esfera (µm)
48.77 / diámetro máximo (µm)
99.7 / Intervalo de confianza (%)
5 / tamaño de poro mínimo de la malla (µm)
10 / tamaño de poro máximo de la malla (µm)
2 / numero de capas
1000 / numero de casos de mallas no tejidas

```

## F.2 DISTRIBUCIONES DE LAS PARTÍCULAS POR SIMULACIÓN DE MONTE CARLO

Tabla F.1 Distribución normal de las distribuciones de partícula por simulación de Montecarlo de los tejidos tipo Jacquard, Tafetán y tela no tejida con una muestra de 275700 partículas y un nivel de confianza de 99.7%.

Distribución 1		Distribución 2		Distribución 3		Distribución 4		Distribución 5		Distribución 6	
-6.9	5.7937E-24	-4.9	2.1736E-13	-8.9	5.0917E-14	-12.9	2.8196E-10	-29.7	3.26179E-19	-39.5	3.312E-198
-6.8	1.2613E-23	-4.8	3.4363E-13	-8.4	2.4547E-13	-12.8	3.2833E-10	-29.4	4.84862E-19	-39	9.118E-196
-6.7	2.7298E-23	-4.7	5.4119E-13	-7.9	1.1323E-12	-12.7	3.821E-10	-29.1	7.19314E-19	-38.5	2.424E-193
-6.6	5.8737E-23	-4.6	8.4909E-13	-7.4	4.9977E-12	-12.6	4.4441E-10	-28.8	1.06501E-18	-38	6.222E-191
-6.5	1.2565E-22	-4.5	1.3271E-12	-6.9	2.1106E-11	-12.5	5.1659E-10	-28.5	1.57373E-18	-37.5	1.542E-188
-6.4	2.6724E-22	-4.4	2.0663E-12	-6.4	8.5284E-11	-12.4	6.0012E-10	-28.2	2.32081E-18	-37	3.69E-186
-6.3	5.6506E-22	-4.3	3.205E-12	-5.9	3.2974E-10	-12.3	6.9676E-10	-27.9	3.41577E-18	-36.5	8.526E-184
-6.2	1.1878E-21	-4.2	4.9523E-12	-5.4	1.2198E-09	-12.2	8.0847E-10	-27.6	5.01734E-18	-36	1.902E-181
-6.1	2.4825E-21	-4.1	7.6232E-12	-4.9	4.3178E-09	-12.1	9.3754E-10	-27.3	7.35522E-18	-35.5	4.097E-179
-6	5.1582E-21	-4	1.169E-11	-4.4	1.4624E-08	-12	1.0866E-09	-27	1.07611E-17	-35	8.521E-177
-5.9	1.0655E-20	-3.9	1.7858E-11	-3.9	4.739E-08	-11.9	1.2586E-09	-26.7	1.57127E-17	-34.5	1.711E-174
-5.8	2.1883E-20	-3.8	2.7176E-11	-3.4	1.4694E-07	-11.8	1.4569E-09	-26.4	2.28973E-17	-34	3.318E-172
-5.7	4.4681E-20	-3.7	4.12E-11	-2.9	4.3595E-07	-11.7	1.6855E-09	-26.1	3.33008E-17	-33.5	6.211E-170
-5.6	9.0699E-20	-3.6	6.2223E-11	-2.4	1.2376E-06	-11.6	1.9488E-09	-25.8	4.8335E-17	-33	1.123E-167
-5.5	1.8304E-19	-3.5	9.3615E-11	-1.9	3.3614E-06	-11.5	2.2519E-09	-25.5	7.00174E-17	-32.5	1.959E-165
-5.4	3.6726E-19	-3.4	1.4031E-10	-1.4	8.736E-06	-11.4	2.6006E-09	-25.2	1.01225E-16	-32	3.302E-163
-5.3	7.3259E-19	-3.3	2.095E-10	-0.9	2.1724E-05	-11.3	3.0015E-09	-24.9	1.46051E-16	-31.5	5.372E-161
-5.2	1.4528E-18	-3.2	3.1161E-10	-0.4	5.1688E-05	-11.2	3.4622E-09	-24.6	2.1031E-16	-31	8.44E-159
-5.1	2.8645E-18	-3.1	4.6173E-10	0.1	0.00011767	-11.1	3.9913E-09	-24.3	3.02241E-16	-30.5	1.28E-156
-5	5.6149E-18	-3	6.8158E-10	0.6	0.00025632	-11	4.5984E-09	-24	4.33493E-16	-30	1.875E-154
-4.9	1.0942E-17	-2.9	1.0023E-09	1.1	0.00053425	-10.9	5.2948E-09	-23.7	6.2051E-16	-29.5	2.651E-152
-4.8	2.12E-17	-2.8	1.4682E-09	1.6	0.00106543	-10.8	6.0931E-09	-23.4	8.86446E-16	-29	3.62E-150
-4.7	4.0837E-17	-2.7	2.1427E-09	2.1	0.00203301	-10.7	7.0075E-09	-23.1	1.26384E-15	-28.5	4.773E-148
-4.6	7.8203E-17	-2.6	3.115E-09	2.6	0.00371183	-10.6	8.0544E-09	-22.8	1.79833E-15	-28	6.075E-146
-4.5	1.4889E-16	-2.5	4.5114E-09	3.1	0.00648437	-10.5	9.2522E-09	-22.5	2.55379E-15	-27.5	7.466E-144

Distribución 1		Distribución 2		Distribución 3		Distribución 4		Distribución 5		Distribución 6	
-4.4	2.8182E-16	-2.4	6.5089E-09	3.6	0.01083877	-10.4	1.0622E-08	-22.2	3.6194E-15	-27	8.86E-142
-4.3	5.3035E-16	-2.3	9.3551E-09	4.1	0.01733503	-10.3	1.2187E-08	-21.9	5.11947E-15	-26.5	1.015E-139
-4.2	9.9223E-16	-2.2	1.3395E-08	4.6	0.02652781	-10.2	1.3975E-08	-21.6	7.22688E-15	-26	1.123E-137
-4.1	1.8456E-15	-2.1	1.9106E-08	5.1	0.03884279	-10.1	1.6015E-08	-21.3	1.01815E-14	-25.5	1.2E-135
-4	3.4129E-15	-2	2.7148E-08	5.6	0.05441916	-10	1.8342E-08	-21	1.43157E-14	-25	1.237E-133
-3.9	6.2745E-15	-1.9	3.8429E-08	6.1	0.07295003	-9.9	2.0995E-08	-20.7	2.00886E-14	-24.5	1.232E-131
-3.8	1.1469E-14	-1.8	5.4191E-08	6.6	0.09356887	-9.8	2.4018E-08	-20.4	2.81335E-14	-24	1.185E-129
-3.7	2.084E-14	-1.7	7.6127E-08	7.1	0.11483376	-9.7	2.7459E-08	-20.1	3.93219E-14	-23.5	1.1E-127
-3.6	3.7651E-14	-1.6	1.0654E-07	7.6	0.13484663	-9.6	3.1375E-08	-19.8	5.48507E-14	-23	9.859E-126
-3.5	6.7625E-14	-1.5	1.4852E-07	8.1	0.15151055	-9.5	3.5829E-08	-19.5	7.63602E-14	-22.5	8.533E-124
-3.4	1.2076E-13	-1.4	2.0627E-07	8.6	0.16288381	-9.4	4.089E-08	-19.2	1.06094E-13	-22	7.131E-122
-3.3	2.1438E-13	-1.3	2.8539E-07	9.1	0.16755032	-9.3	4.6638E-08	-18.9	1.47112E-13	-21.5	5.754E-120
-3.2	3.7838E-13	-1.2	3.9334E-07	9.6	0.1649092	-9.2	5.3163E-08	-18.6	2.03584E-13	-21	4.483E-118
-3.1	6.6396E-13	-1.1	5.4007E-07	10.1	0.15530191	-9.1	6.0566E-08	-18.3	2.81175E-13	-20.5	3.372E-116
-3	1.1583E-12	-1	7.3872E-07	10.6	0.13993971	-9	6.8958E-08	-18	3.87567E-13	-20	2.449E-114
-2.9	2.009E-12	-0.9	1.0066E-06	11.1	0.12065281	-8.9	7.8466E-08	-17.7	5.33155E-13	-19.5	1.717E-112
-2.8	3.4642E-12	-0.8	1.3664E-06	11.6	0.09953279	-8.8	8.9232E-08	-17.4	7.31978E-13	-19	1.163E-110
-2.7	5.9387E-12	-0.7	1.8477E-06	12.1	0.07856466	-8.7	1.0142E-07	-17.1	1.00295E-12	-18.5	7.602E-109
-2.6	1.0122E-11	-0.6	2.4891E-06	12.6	0.05933631	-8.6	1.152E-07	-16.8	1.3715E-12	-18	4.799E-107