

Francisco Javier Hoyuelos Álvaro
Alba Santamaría Herrera
Carlos Casado Marcos



Guía práctica

MADERA



**UNIVERSIDAD
DE BURGOS**

**Guía Práctica
ATEX MADERA**

FRANCISCO JAVIER HOYUELOS ÁLVARO
ALBA SANTAMARÍA HERRERA
CARLOS CASADO MARCOS

Guía Práctica ATEX MADERA



UNIVERSIDAD
DE BURGOS

2022

Francisco Javier Hoyuelos Álvaro. Universidad de Burgos. Facultad de Ciencias. fjha@ubu.es

Alba Santamaría Herrera. Universidad de Burgos. Facultad de Ciencias. asherrera@ubu.es

Carlos Casado Marcos. Universidad de Burgos. Unidad de Prevención de Riesgos Laborales. ccasado@ubu.es

Esta guía es una síntesis del libro electrónico titulado “*Evaluación y prevención del riesgo en atmósferas explosivas en el sector de la madera*”. ISBN: 978-84-18465-22-2. DOI: <https://doi.org/10.36443/9788418465222>

Proyecto subvencionado por la Junta de Castilla y León al amparo de la Orden de convocatoria de 21 de marzo de 2019, de la Consejería de Empleo, por la que se convocan para el año 2019, subvenciones públicas para la realización de proyectos de investigación en Prevención de Riesgos Laborales por las Universidades Públicas de Castilla y León.



**Junta de
Castilla y León**

Consejería de Empleo e Industria

© Los autores

© UNIVERSIDAD DE BURGOS

Edita: Servicio de Publicaciones e Imagen Institucional

UNIVERSIDAD DE BURGOS

Edificio de Administración y Servicios

C/ Don Juan de Austria, 1

09001 BURGOS - ESPAÑA

ISBN: 978-84-18465-21-5

DOI: <https://doi.org/10.36443/9788418465215>

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons
[Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)



ÍNDICE

PRÓLOGO	9
1. OBJETIVO Y ALCANCE.....	11
2. ¿EL POLVO DE MADERA EXPLOTA?	13
3. EL POLVO DE MADERA NO SIEMPRE EXPLOTA	17
4. RELACIÓN HUMEDAD - FORMA DE LAS PARTÍCULAS	19
5. RELACIÓN HUMEDAD - TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS.....	21
6. CARACTERIZACIÓN DEL POLVO.....	23
7. ¿QUÉ TENGO QUE HACER?.....	25
ANEXO	29
APÉNDICE	31
BIBLIOGRAFÍA.....	33

PRÓLOGO

El polvo de madera en determinadas condiciones explota. Consecuencia de ello, cada año se materializan accidentes graves y mortales por la activación de nubes de polvo de madera. A las lesiones personales con largos periodos de recuperación y secuelas permanentes para la vida se unen otro tipo de pérdidas. El efecto de la explosión y la propagación de los incendios destruyen las naves y los sueños de sus propietarios. No hay que viajar lejos de nuestra provincia para conocer estos trágicos sucesos.

La presente guía muestra el trabajo de campo realizado por el excelente equipo especializado de la UBU en las denominadas ATEX. La prueba de explosividad es determinante para sacar conclusiones y hacer más sencilla la evaluación de los riesgos. Mediante la divulgación de esta guía se informa a todas las personas interesadas del estado de la cuestión de una forma sencilla y práctica. 10 minutos sirven para dar cuenta de los contenidos y sacar conclusiones de valor pedagógico. 10 minutos que pueden salvarte la vida y las ilusiones. El cuidado de los detalles por el que se caracteriza al profesional del sector de la madera en todos sus trabajos debe extenderse a la prevención de sus propios riesgos laborales. La identificación de nubes de polvo, su frecuencia, el tamaño de las partículas y su estructura junto con la humedad es la información básica para poder tomar buenas decisiones preventivas.

Disfruta de la lectura amena de esta guía sabiendo que detrás hay muchos días de trabajo exhaustivo y bien hecho. Este pasito adelante en la promoción de la salud y la prevención de grandes accidentes en forma de explosiones es un nuevo pellizco que nos indica que todo avanza si se quiere y se sabe.

Salud.

Fernando de la Parte Alcalde
*Jefe del Área de seguridad y salud laboral
de la oficina territorial de trabajo en Burgos
de la Junta de Castilla y León.*

3 de diciembre de 2021

1. OBJETIVO Y ALCANCE

La riqueza forestal de Castilla y León es la más extensa de España. Es entendible que la explotación de este recurso se trate, por tanto, de una actividad de gran relevancia para la economía de la comunidad, siendo la principal fuente de riqueza para muchos municipios de la región.

Para la elaboración de esta guía se han recogido muestras de distintos aserraderos e industrias de transformación de la madera de la comarca de la Sierra de la Demanda (Burgos). Esta zona tiene gran tradición en la industria forestal y maderera, situándose entre Burgos y Soria, las provincias líderes en este ámbito a nivel de Castilla y León.

Las especies estudiadas van desde el pino insigne (*Pinus radiata*), pino Soria (*Pinus sylvestris L*), roble francés (*Quercus petraea*), roble húngaro (*Quercus frainetto*), mezcla de pino y roble, hasta fibras de tableros de densidad media (MDF).

Los procesos presentes en esta industria abarcan el corte con distintas sierras del producto en verde, pero también el lijado (Figura 1) o cepillado del producto ya seco, contando también con sistemas de aspiración que extraen el polvo generado. Cada una de estas operaciones tienen un mayor o menor peligro en función de las características de las partículas generadas.



Figura 1. Lijadora automática empleada en la transformación primaria de la madera.

Este documento se ha elaborado para ayudar a los profesionales de la industria: empresarios, trabajadores, representantes de los trabajadores, personal técnico, técnicos de prevención... a conocer el comportamiento del polvo de madera desde el punto de vista de su explosividad, de forma que sea posible reducir la siniestralidad y así evitar daños a las personas y también a las instalaciones.

Guía práctica ATEX MADERA

Con ayuda de esta guía será más sencillo determinar de manera práctica si en una situación concreta existe un riesgo de explosión por la presencia de polvo de madera.

Para el desarrollo de este documento se ha trabajado en los laboratorios de la Universidad de Burgos simulando atmósferas con polvo de madera, mediante la realización de numerosos ensayos en múltiples condiciones diferentes.

Esta guía puede servir de herramienta para su utilización en la industria de la madera (aserraderos, muebles, tableros, carpinterías) y en aquellas otras actividades en las que exista polvo de madera.

2. ¿EL POLVO DE MADERA EXPLOTA?

Sí, la experiencia acumulada en los numerosos ensayos realizados demuestra que el polvo de madera realmente explota. Este polvo se suspende en el aire, formando nubes explosivas, que pueden encenderse con facilidad por la acción de fuentes de ignición como las chispas o superficies calientes que pueden ser inherentes al procesado y transformación de la madera, Figura 2.

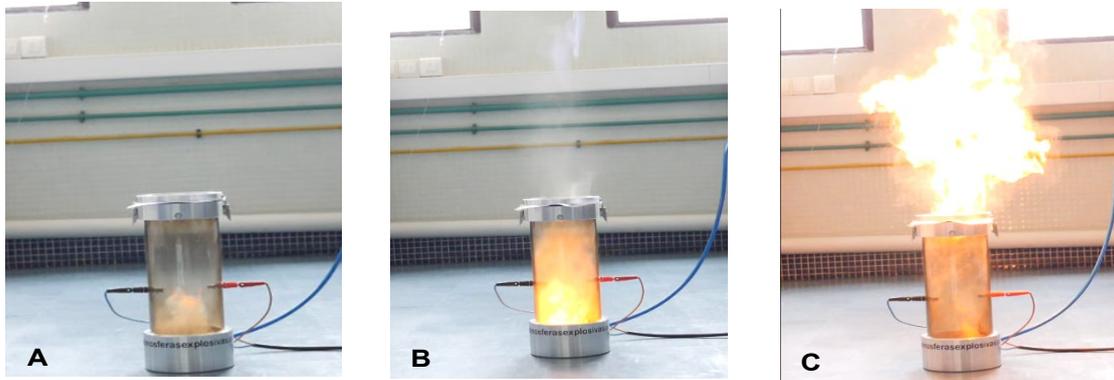


Figura 2. Secuencia de una explosión con menos de 2 gramos de polvo de madera en el interior de un tubo Hartmann (equipo empleado en las pruebas de explosividad).

Existen numerosos casos de explosiones debidas a nubes de polvo de madera que han dado lugar a graves consecuencias. Un ejemplo de una trágica explosión ocurrió en la compañía de productos forestales de Lakeland Mills en Prince George, en la Columbia Británica (Canadá) el 23 de abril de 2012. Veinticuatro empleados estaban trabajando en el aserradero cuando se produjo una fuerte explosión y comenzó el fuego, Figura 3. El resultado fue de dos muertos y veintidós heridos. (Worksafe, 2014)



Figura 3. Incendio producido tras la explosión en Lakeland Mills. Fuente: Andrew Johnson/The Canadian Press (CBC News, 2015).

Otro caso de accidente grave debido al polvo de madera ocurrió el 17 de julio de 2015 en un molino de harina de madera en Bosley, Reino Unido, donde se realizaba el procesado de la madera hasta obtener un polvo fino usado para fabricar suelos laminados. Este polvo dio lugar a una explosión que provocó la destrucción de la fábrica. Más de treinta personas resultaron heridas y se encontraron a cuatro trabajadores muertos entre los escombros. La enorme explosión (Figura 4) se produjo después de que en la misma fábrica ya se hubieran producido sendos incendios en 2010 y 2012. (Amyotte, 2014)



Figura 4. Destrucción provocada por la explosión en la fábrica de suelos laminados de Bosley (UK). Fuente: (Amyotte, 2014) con foto cedida por cortesía del Servicio de Incendios y Rescate de Cheshire.

También en España encontramos accidentes de este tipo, en septiembre de 2016 tuvo lugar una explosión (Figura 5) y un incendio posterior en un silo de la instalación de la fábrica de parqué de la empresa Wood Manners en Torrelavega (Cantabria). (El Diario Montañés, 2016).

El estallido se localizó en un silo, donde se encontraban tres operarios, uno de ellos resultó ileso, otro sufrió heridas y quemaduras leves, mientras que el tercero quedó atrapado en el interior del silo sufriendo quemaduras muy graves y falleciendo horas después en el hospital. (Díaz, 2016)



Figura 5. Labores de rescate de la persona herida en el interior de la fábrica. Fuente: Joaquín Díaz / Cadena Ser.

Datos como estos son más que suficientes para asegurar que el polvo de madera explota, siendo necesario resaltar la importancia de una correcta evaluación del riesgo para evitar la formación de atmósferas explosivas en el sector de la madera.

3. EL POLVO DE MADERA NO SIEMPRE EXPLOTA

En el apartado anterior se ha señalado que el polvo de madera explota, pero ¿siempre explota? La probabilidad de la explosión está condicionada por varios factores.

El punto de inicio de toda explosión es que exista una fuente de ignición (llama, calor, chispa...) que causa una combustión, en este caso del polvo de madera. La llama se propaga a través de la nube de combustible, que se mantiene suspendida en el aire. Además, la propagación de la llama no se limita solo a las nubes de polvo, sino que la existencia de capas depositadas supone un peligro adicional, pudiendo incrementar el alcance y la gravedad de la explosión mediante la generación de explosiones secundarias.

La mayor o menor propagación de dicha llama y que derive o no en una explosión depende de varios factores.

Las características más importantes de las partículas del polvo de las que depende que una explosión se produzca o no son el tamaño medio, la humedad y la forma o estructura microscópica de éstas.

- **El tamaño de partícula:** las partículas de mayor tamaño son menos eficientes en la propagación de la llama que las más pequeñas, las cuales reaccionan más rápida y eficientemente. Esto es debido a que, al ser más finas, tienen mayor superficie por masa, se dispersan más fácilmente en el aire y permanecen en el aire por períodos más largos e intensifican la severidad de la explosión. (Dudarski et al., 2015).

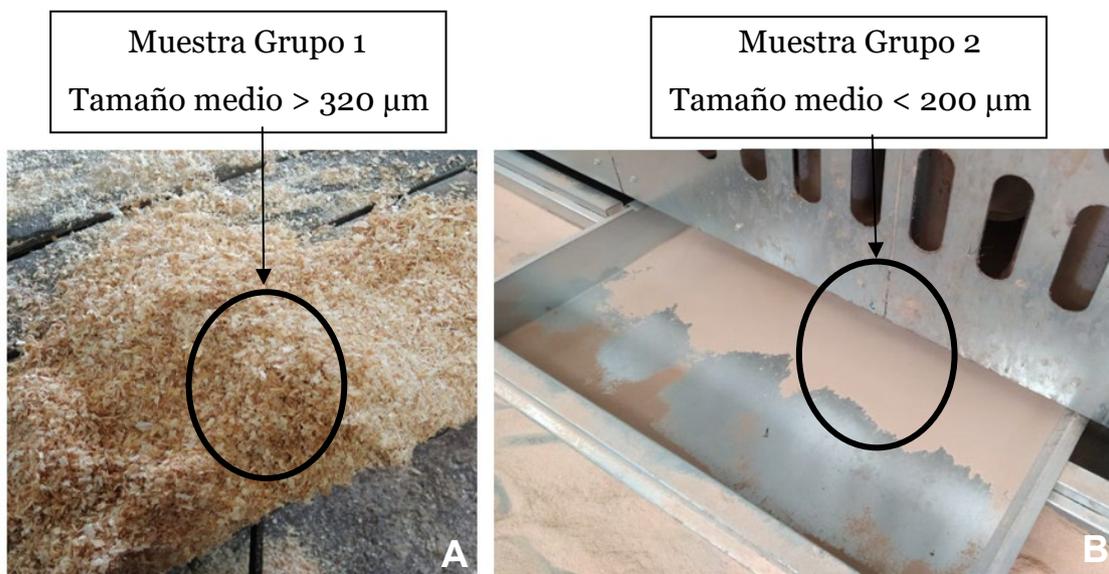


Figura 6. Diferencias de tamaños observables entre distintas muestras de polvo de madera. A – muestras de tamaño de partícula grande, recogidas tras los procesos de corte; B – muestras de tamaño de partícula pequeño, procedentes de los filtros de aspiración.

- **Humedad de la muestra:** la cantidad de agua contenida en la muestra influye de forma determinante en su explosividad ya que el agua incrementa el peso del polvo haciendo que este se deposite más rápidamente y hace más complicado que se formen atmósferas explosivas debidas al polvo en suspensión. Además, la humedad dificulta el mecanismo de propagación de las explosiones, llegando incluso a actuar como un inhibidor cuando el contenido en agua es suficientemente elevado, de manera que, a mayores humedades menor probabilidad de que la explosión tenga lugar. (De la Mata, 2011)
- **Forma de las partículas:** la estructura microscópica de las partículas influye en la explosividad del polvo, ya que aquellas con una mayor relación superficie/masa, por tener mayor área de contacto dispuesta, propagarán mejor la llama y serán, por tanto, más peligrosas, Figura 7. (Cashdollar, 2000) Las partículas grandes son ineficientes en la propagación de la llama por lo que son las porciones más finas las que contribuyen a aumentar la peligrosidad de la muestra presentando, en las mismas condiciones de ensayos, energías y temperaturas mínimas de ignición más bajas. (Amyotte et al., 2012). Se considera, por tanto, que además de la distribución de tamaño de partículas, la forma de estas también resulta clave.

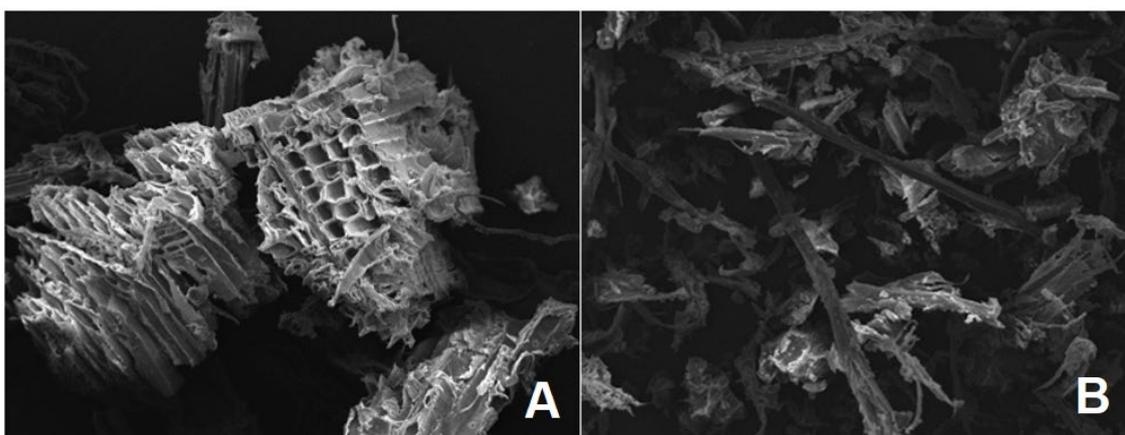


Figura 7. Comparación entre la forma de las partículas de dos muestras. A – las partículas tienen una estructura más definida. B – los canales se encuentran abiertos, por lo que las partículas presentan una mayor relación superficie/masa, lo que incrementa su peligrosidad. Fuente: imágenes tomadas por Microscopía Electrónica de Barrido en la Universidad de Burgos.

El polvo sometido a más procesos industriales o que ya ha explotado con anterioridad resulta más peligroso que el polvo recién cortado del mismo tamaño medio. Esto es debido a que reúne las tres condiciones: al ser polvo “roto”, sus partículas de mayor tamaño se han ido dividiendo en porciones más pequeñas (menor granulometría), en el transcurso de estos procesos ha disminuido su humedad y, además, su estructura ha perdido la forma de canales que se encuentra destruida dando lugar a partículas “abiertas” con una mayor relación superficie/masa.

4. RELACIÓN HUMEDAD - FORMA DE LAS PARTÍCULAS

Tras los ensayos realizados, Figura 6, las muestras han sido clasificadas en dos grupos:

- **Grupo 1:** aquellas procedentes directamente del corte, en las que la estructura no ha sido alterada y el tamaño de partícula es grande.
- **Grupo 2:** incluye las muestras sometidas a otros procesos más agresivos (como el lijado), las que se recogen en los conductos de aspiración o las que se han ido depositando con el paso del tiempo, de manera que su estructura se encuentra abierta o “rota”.

Se han realizado ensayos con muestras de diferentes especies de madera de ambos grupos y se ha evaluado la evolución de la explosividad respecto a la humedad.

Los resultados se muestran en las imágenes a continuación, Gráfico 1. La primera columna representa la evolución frente a la humedad de una muestra del primer grupo, procedente del corte, mientras que el resto de las columnas recogen los resultados del Grupo 2, cuyas partículas han perdido la estructura inicial.

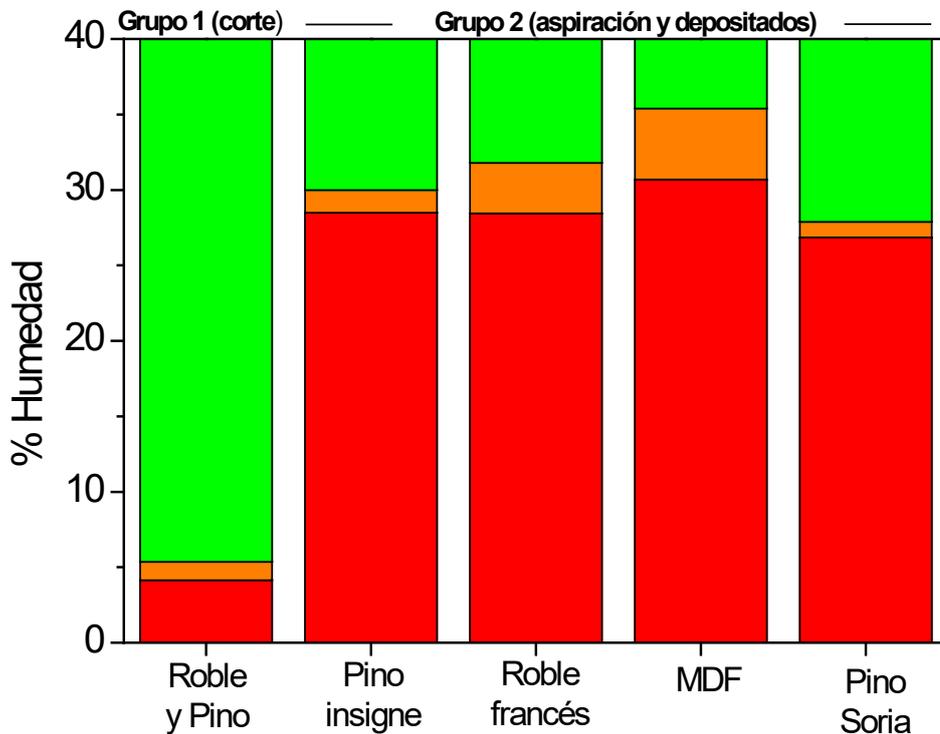


Gráfico 1. Comparación de las muestras de diferentes especies entre Grupo 1 (primera columna) y Grupo 2 (resto de columnas). En la zona roja la muestra explota, en la zona naranja se genera llama sin explosión y en la zona verde no se genera llama ni explosión.

Guía práctica ATEX MADERA

Con ambos grupos de muestras la humedad actúa como inertizante, al aumentar el contenido en agua todas las muestras dejan de generar explosión o llama.

No existen diferencias en el comportamiento de las distintas especies de roble, pino, fibras de densidad media para tableros (MDF), etc., dentro de un mismo grupo, pero sí advertimos grandes diferencias entre ambos grupos. Las muestras más peligrosas, las del Grupo 2, son capaces de seguir dando lugar a explosiones o generación de llama hasta humedades en torno o incluso en algunos casos por encima del 30 %.

La ESPECIE de la muestra NO INFLUYE en su peligrosidad, si no su humedad y tamaño medio de partícula, independientemente del tipo de madera.

5. RELACIÓN HUMEDAD - TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS

Del mismo modo que la forma de las partículas influye en la peligrosidad, también lo hace su granulometría o tamaño medio de partícula. Para ello se ha separado cada muestra en sus distintas porciones usando tamices y se han realizado pruebas para determinar la peligrosidad de cada porción.

El Gráfico 2 recoge los resultados de explosividad respecto a la humedad de las distintas porciones para las muestras del Grupo 1, recogidas directamente del corte. En este gráfico se señala en color rojo la zona de relación humedad – granulometría en la que las muestras dan lugar a una explosión cuando entran en contacto con la resistencia eléctrica empleada como fuente de ignición. La zona naranja indica los puntos en los que la nube de polvo sigue generando llama, aunque no derive finalmente en explosión. Además, se ha establecido una zona de margen de seguridad (a rayas rojas) en la que se ha de mantener la precaución antes de poder asegurar que la muestra no resulta peligrosa (zona verde).

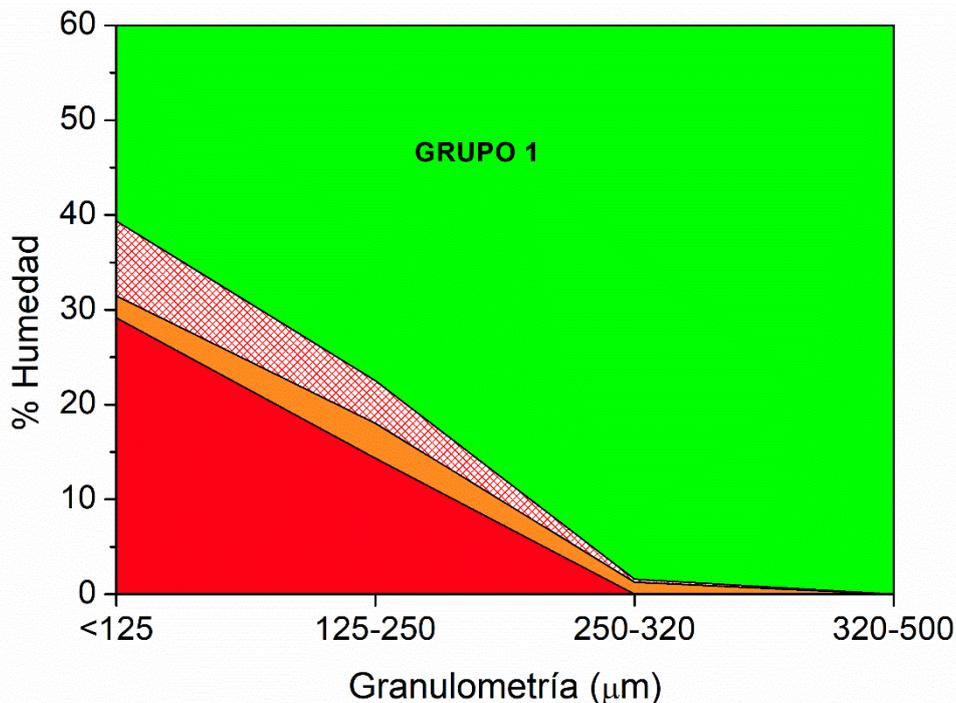


Gráfico 2. Relación de peligrosidad con el tamaño de partícula y la humedad de las muestras del Grupo 1 (muestras de corte).

En este caso, las porciones con tamaño de partícula inferior a 250 μm son capaces de generar llama hasta humedades elevadas (en torno al 30 %) y esta peligrosidad aumenta a medida que disminuye la granulometría.

Las muestras del Grupo 1, procedentes del corte de troncos verdes, NO GENERAN LLAMA NI PRODUCEN UNA EXPLOSIÓN, cuando tienen un tamaño medio de partícula de AL MENOS 320 μm y un nivel de humedad SUPERIOR AL 40 % para las partículas más pequeñas.

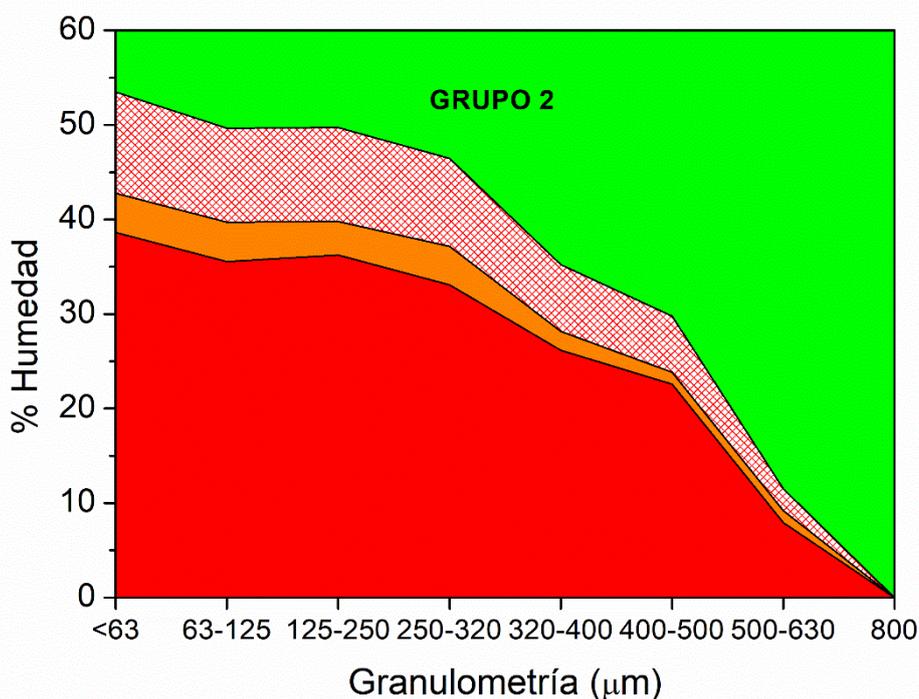


Gráfico 3. Relación de peligrosidad con el tamaño de partícula y la humedad de las muestras del Grupo 2 (muestras procedentes de procesos posteriores al corte o recogidas en los conductos de aspiración o como polvo depositado).

En este Grupo 2 la peligrosidad del polvo de madera aumenta notablemente, porciones de las muestras con tamaños de grano hasta 800 μm son capaces de generar explosiones si tienen un nivel de humedad suficientemente bajo y las porciones de menor granulometría siguen resultando peligrosas con humedades por encima del 40 %.

Las muestras del Grupo 2, que se recogen en los conductos de aspiración o que se han ido depositando con el paso del tiempo, NO GENERAN LLAMA NI PRODUCEN UNA EXPLOSIÓN, cuando tienen un tamaño medio de partícula de AL MENOS 800 μm y un nivel de humedad SUPERIOR AL 50 % para las partículas más pequeñas.

6. CARACTERIZACIÓN DEL POLVO

Además de la humedad, el tamaño y la forma de las partículas, existen otros parámetros técnicos de utilidad a la hora de valorar la peligrosidad del polvo, como son:

La **Temperatura Mínima de Inflamación (TMI)** es el valor más bajo de temperatura capaz de provocar que la muestra inicie la ignición. Esta temperatura se mide empleando dos métodos, la inflamación en capa (TMI_{capa}) y en nube (TMI_{nube}). Este valor es determinante para establecer las temperaturas máximas de trabajo en áreas con atmósferas potencialmente explosivas. Cuanto más bajo sea este valor, más fácilmente se iniciará el incendio de la muestra y con ello la posible explosión.

La caracterización de las muestras con las que hemos trabajado nos da como resultado las temperaturas recogidas en la Tabla 1.

Tabla 1: Temperatura Mínima de Ignición en nube (°C) para las distintas muestras.

Tipo de madera	Porción (µm)					
	<63	63-125	125-250	250-320	320-400	400-500
Roble Húngaro	-	420	480	520	560	-
Mezcla de roble y pino	-	420	460	720	-	-
Roble Francés	440	400	460	700	-	-
MDF	460	440	480	550	580	640
Pino Insigne	480	480	460	520	580	620
Pino Soria	480	460	480	560	620	720

Al igual que hemos visto con anterioridad, no se observa diferencia entre las TMI_{nube} para las distintas especies en porciones de tamaño por debajo de 250 µm y sí hay una relación observable entre el tamaño de partícula y la TMI_{nube} , un mayor tamaño implica una mayor temperatura.

La **Concentración Mínima Explosiva de la mezcla (CME)** es la concentración más baja en que la mezcla de polvo y aire será explosiva. Se expresa en unidades de masa por unidad de volumen de aire; un valor bajo de CME hace que se incremente la probabilidad de que la explosión se produzca. Siempre y cuando la concentración de polvo en el aire se encuentre en el rango de explosividad, la severidad de la explosión dependerá de la concentración.

Cuando la concentración de polvo suspendido en el aire sea cercana a la mínima que pueda generar la ignición y la propagación de la llama, es decir, a la concentración mínima de explosividad, la presión de explosión será pequeña y, en consecuencia, la explosión tendrá poca repercusión. Al aumentar la concentración la severidad incrementará hasta un punto máximo a partir del cual la concentración será tan grande que dificultará la explosión hasta inhibirla.

La caracterización de las muestras con las que hemos trabajado nos da como resultado las concentraciones recogidas en la Tabla 2.

Tabla 2: Concentración Mínima Explosiva (g/m^3) para las distintas muestras.

Tipo de madera	Porción (μm)					
	<63	63-125	125-250	250-320	320-400	400-500
Roble Húngaro	-	77,98	565,39	779,85	-	-
Mezcla de roble y pino	-	77,98	136,47	506,90	-	-
Roble Francés	77,98	58,49	97,48	311,94	740,86	1481,71
MDF	97,48	77,98	116,98	214,46	292,44	779,85
Pino Insigne	77,98	55,49	77,98	214,46	331,44	526,40
Pino Soria	77,98	77,98	116,98	155,97	272,95	1676,67

De igual forma que sucedía con la explosividad y la TMI_{nube} , no se observan variaciones entre las distintas especies en porciones de tamaño pequeño, que sí empiezan a separarse al aumentar la granulometría promedio. Existe además una relación evidente entre el tamaño de partícula y la CME en cada muestra, un mayor tamaño de partícula implica una necesidad de mayor concentración, a excepción de las dos porciones de menor granulometría, donde se produce un mantenimiento o incluso una pequeña disminución de la concentración entre la fracción de menos de $63 \mu m$ y las partículas entre 63 y $125 \mu m$.

Tanto la Temperatura Mínima de Ignición en nube como la Concentración Mínima Explosiva son INDEPENDIENTES DE LA ESPECIE estudiada y están directamente RELACIONADAS CON EL TAMAÑO MEDIO DE PARTÍCULA.

7. ¿QUÉ TENGO QUE HACER?

El **primer** paso a adoptar ante la posibilidad de formación de atmósferas explosivas por polvo de madera es acudir a expertos en materia de prevención de riesgos, para que realicen un DOCUMENTO DE PROTECCION CONTRA EXPLOSIONES según el Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, Figura 8.

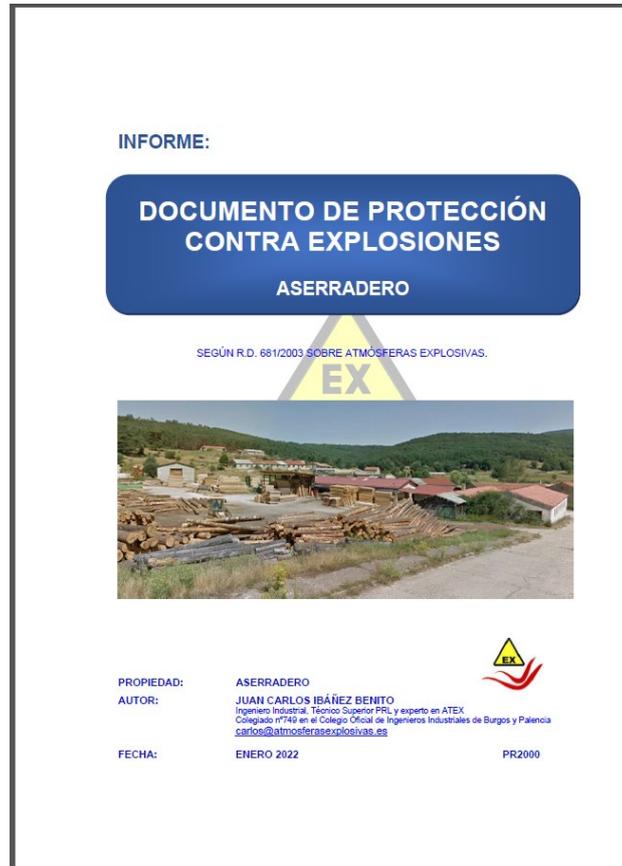


Figura 8. Ejemplo de documento de protección contra explosiones Fuente: imagen cedida por www.atmosferasexplosivas.es

Comienza conociendo el **PELIGRO**, el polvo, mediante su caracterización. Se realiza a través de los ensayos e investigaciones como esta, donde se han identificado una serie de parámetros del polvo de la madera, como son la humedad, el tamaño y la forma de las partículas, que facilitan el valorar la probabilidad de formación de una atmósfera explosiva. Como parte de la evaluación es imprescindible caracterizar cada muestra de madera para conocer el tamaño medio de partícula y su humedad en el momento de recogida.

Para hacer más fácil la evaluación de riesgos y el diagnóstico de la peligrosidad se ha elaborado un diagrama de flujo (Figura 9) en función de los datos obtenidos. Se puede valorar de forma cuantitativa el nivel de riesgo que puede existir en una instalación utilizando los Gráficos 2 y 3.

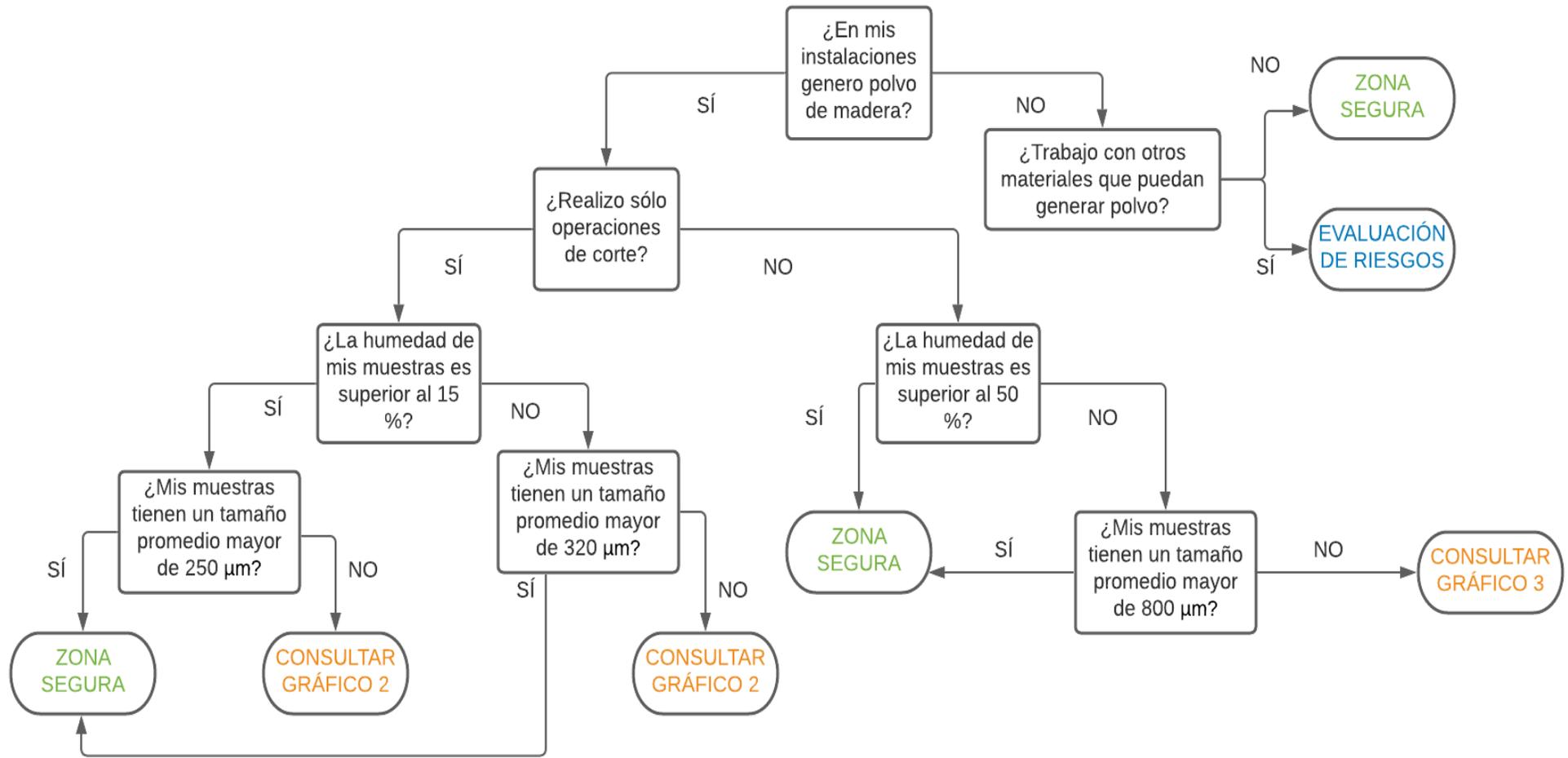


Figura 9. Diagrama de flujo para el análisis de peligrosidad de las muestras de polvo de madera.

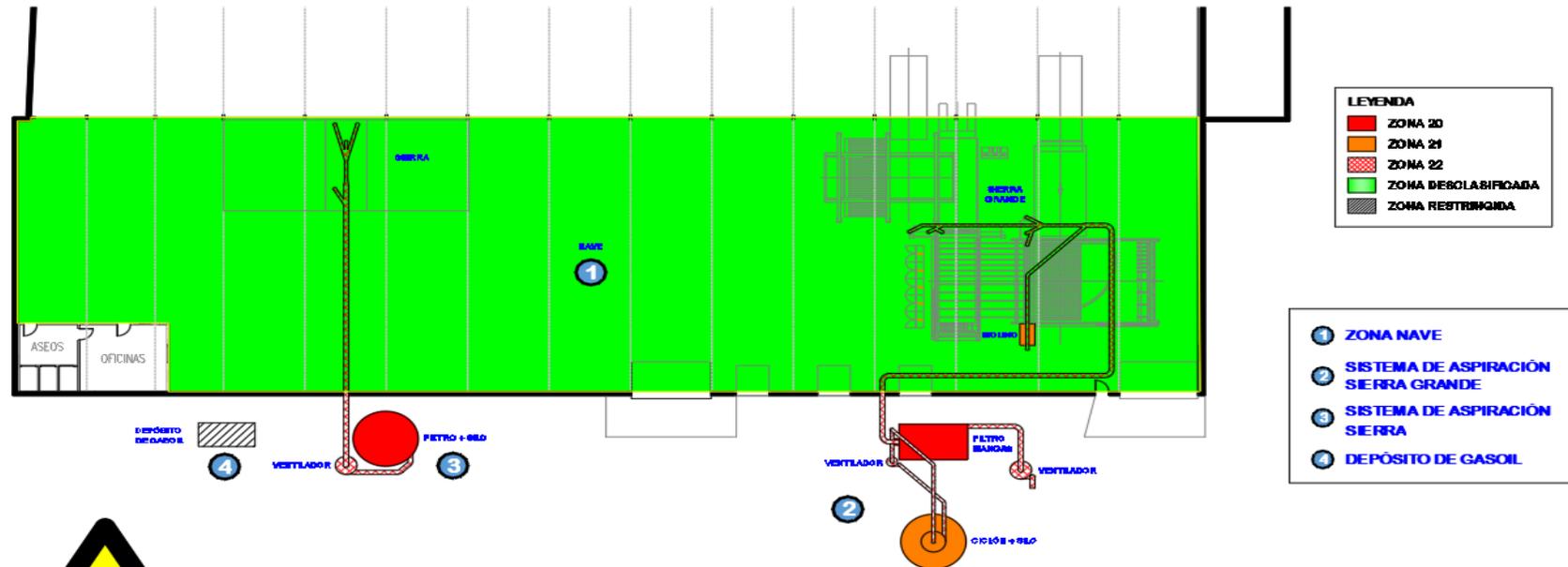
El **segundo** paso será ver la **PROBABILIDAD** de que ese polvo se ponga en suspensión, forme una atmósfera explosiva y que, además se produzca una ignición. Todo esto es improbable que se produzca, pero a veces se produce la EXPLOSIÓN . Con un **DAÑO**, generalmente catastrófico.

Con todo lo anterior ya somos capaces de ubicar exactamente las distintas zonas donde podría pasar la EXPLOSIÓN y así poder evitarla. El conocimiento, la formación adecuada, los procedimientos, la limpieza y los permisos de trabajo nos permiten disminuir el **RIESGO**, generalmente en más del 80 %. Y con todo lo anterior nos queda ZONIFICAR las áreas de la industria, en las distintas zonas (20, 21 y 22), Figura 10.

Y el paso **último** y que el empresario, creemos que equivocadamente, suele decir que es el más costoso, a veces es necesario ADECUAR TÉCNICAMENTE las instalaciones mediante paneles de explosión, apagallamas, supresores... y toda una tecnología muy avanzada... y MUY IMPORTANTE, todos los equipos que se pongan en el futuro, deben estar CERTIFICADOS, y si forman un conjunto la certificación será del conjunto.

Si no hay ignición no hay explosión.

ASERRADERO



Tf. 651 90 37 97

Para trabajos en caliente (corte y soldadura) permiso de trabajo.

www.atmosferasexplosivas.es

JUAN CARLOS IBAÑEZ BENITO
INGENIERO INDUSTRIAL
 TÉCNICO SUPERIOR EN PRL
 BOFERTO IN ATEN

PR1725 OCTUBRE 2021

AutoCad LT2007 LICENCIA AUTODESK Nº 344-3996320
 COLEGIADO Nº 748

Figura 10. Ejemplo de plano de instalaciones con riesgo de formación de atmósferas explosivas. Fuente: imagen cedida por www.atmosferasexplosivas.es

ANEXO

En esta guía se han seleccionado la Temperatura Mínima de Ignición en nube (TMI_{nube}) y la Concentración Mínima Explosiva (CME) como los parámetros de control para la clasificación de la explosividad de las muestras, sin embargo, existen otras propiedades o factores que se pueden cuantificar y que resultan igualmente útiles en la determinación de la peligrosidad del polvo. Entre dichos elementos se encuentran los siguientes:

La **Energía Mínima de Inflamación (EMI)** indica el valor más bajo de energía aportado por la fuente de ignición que es suficiente para que se produzca la inflamación de la mezcla más inflamable de una nube de polvo. En el caso del polvo, las energías de inflamación suelen localizarse en el rango entre 10 y 100 mJ.

La **Presión Máxima de explosión ($P_{m\acute{a}x}$)** se entiende como la sobrepresión o valor máximo de presión que se produce durante la explosión de una mezcla de polvo y aire de concentración óptima en un recipiente cerrado en condiciones de ensayo especificadas. Esta presión, por lo general, alcanza unos valores entre 6 y 10 bar.

La **constante característica o índice de deflagración ($K_{m\acute{a}x}$ o K_{st})** se calcula teniendo en cuenta la velocidad máxima de aumento de presión a cada concentración de polvo y el volumen de la instalación en la que se produce la explosión. Según el valor que se obtenga para esta constante se distinguen diferentes clases de explosión, Tabla 3.

Tabla 3. Diferentes clases de explosión dependiendo del valor de $K_{m\acute{a}x}$. Fuente: (De Gea, 2007).

Explosividad	$K_{m\acute{a}x}$ (bar m/s)	Tipo de explosión
Estándar 0	0	No se produce
Estándar 1	0-200	Débil
Estándar 2	201-300	Considerable / Grave
Estándar 3	>300	Muy grave

La explosividad del polvo de madera se suele clasificar como Estándar 1.

La **Concentración Límite de Oxígeno (CLO)** es el porcentaje más bajo de oxígeno en el aire, necesario para que se produzca la ignición con una concentración determinada de polvo en suspensión. Para calcular este límite se recurre a la situación más peligrosa, es decir, a la concentración de polvo en el aire más proclive a causar una explosión. Se ha llegado a la conclusión de que la combustión de madera no puede mantenerse cuando la concentración de oxígeno es menor del 14 %, lo que sugiere que dicha concentración es un valor crítico para este proceso. (Back III et al., 2000)

APÉNDICE

A continuación, en la Tabla 4, se recogen datos acerca de los parámetros de explosividad para muestras de madera de distintas especies. Dicha tabla se ha elaborado empleando datos obtenidos en nuestro estudio como otros recogidos en bibliografía.

Tabla 4. Datos bibliográficos de los parámetros de explosividad de diferentes muestras de polvo de madera. Fuente: elaboración propia y datos recogidos en ^aDe Gea (2007) e ^bIFA (2021).

TIPO DE POLVO	Tamaño de partícula (µm)	Humedad (%)	TMI _{capa} (°C)	TMI _{nube} (°C)	CME (g/m ³)	K _{máx} (bar m/s)	P _{máx} (bar g)	EMI (mJ)
Pulpa de madera ^a	20	-	325	480	30	107	9,1	>1000
Madera de peral ^a	27	-	300	400	30	205	10,5	-
Harina de madera ^a	31	-	310	500	30	224	10,3	>30
Depósito de polvo de madera de aglomerado ^b	43	-	320	490	60	102	9,2	-
Astillas/ polvo de madera ^b	<63	1,8	-	-	30	144	8,9	-
Residuo madera conglomerado ^b	61	-	320	490	30	156	9,2	-
Depósito de polvo de haya de aserrado ^b	69	7,9	320	-	30	86	7,2	-
Medium Density Fibers (MDF)	70	7,39	-	580	545	-	-	-
Depósitos de polvo de madera de aserrado ^b	83	8,6	330	410	20	63	7,4	30/100
	145	12,2	330	430	20	36	6,7	300/1000
Polvo molido de haya/ madera tropical (95:5) ^b	145	-	320	490	60	56	8,1	-
Roble Francés	145	9,95	-	460	97	-	-	-
Pino Insigne	265	10,34	-	500	136	-	-	-
Pino Soria	288	10,61	-	540	136	-	-	-
Mezcla de roble y pino	379	9,64	-	540	702	-	-	-

BIBLIOGRAFÍA

- Amyotte, P. R. (2014). Some myths and realities about dust explosions. *Process Safety and Environmental Protection*, 92(4), 292-299. doi:[10.1016/j.psep.2014.02.013](https://doi.org/10.1016/j.psep.2014.02.013)
- Amyotte, P. R., Cloney, C. T., Khan, F. I., & Ripley, R. C. (2012). Dust explosion risk moderation for flocculent dusts. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 25(5), 862-869. doi:[10.1016/j.jlp.2012.05.007](https://doi.org/10.1016/j.jlp.2012.05.007)
- Back III, G. G., Beyler, C. L., & Hansen, R. (2000). A quasi-steady-state model for predicting fire suppression in spaces protected by water mist systems. *Fire Safety Journal*, 35, 327-362.
- Cashdollar, K. L. (2000). Overview of dust explosibility characteristics. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 13(3-5), 183-199. doi:[10.1016/s0950-4230\(99\)00039-x](https://doi.org/10.1016/s0950-4230(99)00039-x)
- CBC News (2015). *Lakeland Mills explosion deaths ruled accidental*. Recuperado de <https://www.cbc.ca/news/canada/british-columbia/lakeland-mills-explosion-deaths-ruled-accidental-1.3075311>
- De Gea, X. (2007). *Prevención y protección de explosiones de polvo en instalaciones industriales*. Recuperado de <https://prevencion.fremap.es/Buenas%20prcticas/LIB.007%20-%20Lib.%20Prev.%20Prot.%20Explo.%20Polvo%20Inst.%20Ind.pdf>
- De la Mata, J. (2011). *Influencia de la humedad de la madera en la evaluación de las propiedades mecánicas del pino silvestre mediante técnicas no destructivas*. (Proyecto fin de carrera). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Díaz, J. (2016). *Fallece un trabajador de 59 años tras una explosión en la empresa Forjater de Torrelavega*. Recuperado de https://cadenaser.com/emisora/2016/09/08/ser_torrelavega/1473362866_434275.html
- Dudarski, G., Kowal, M., & Czestochowki, C. (2015). Dust explosion hazard in wood processing. *Forestry and Wood Technology*, 90, 61-65.
- El Diario Montañés, (2016). *Fallece un trabajador por una explosión en la empresa Wood Manners*. Recuperado de <https://www.eldiariomontanes.es/torrelavega-besaya/201609/08/herido-grave-quemaduras-trabajador-20160908211028.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.eldiariomontanes.es%2Ftorrelavega-besaya%2F201609%2F08%2Fherido-grave-quemaduras-trabajador-20160908211028.html>

Instituto de Seguridad y Salud en el Trabajo del Seguro Social de Accidentes de Trabajo de Alemania (IFA). (2021). GESTIS - DUST- EX [Base de datos]. Recuperado de <https://staubex.ifa.dguv.de/?lang=e>

Worksafe. (2014). *Lakeland Mills incident investigation: Incident investigation report*. WorkSafeBC Investigations. Recuperado de <https://www.worksafebc.com/en/resources/health-safety/incident-investigation-report-summaries/lakeland-mills-incident-investigation-incident-investigation-report?lang=en>

COLABORAN:



www.atmosferasexplosivas.es



<https://www.faeburgos.org/>



<https://www.ibermutua.es/>



<http://burmadera.org/>

FINANCIA:



**Junta de
Castilla y León**

Consejería de Empleo e Industria

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DESARROLLADO POR:



**UNIVERSIDAD
DE BURGOS**



**UNIVERSIDAD
DE BURGOS**

ISBN 978-84-18465-21-5



9 788418 465215