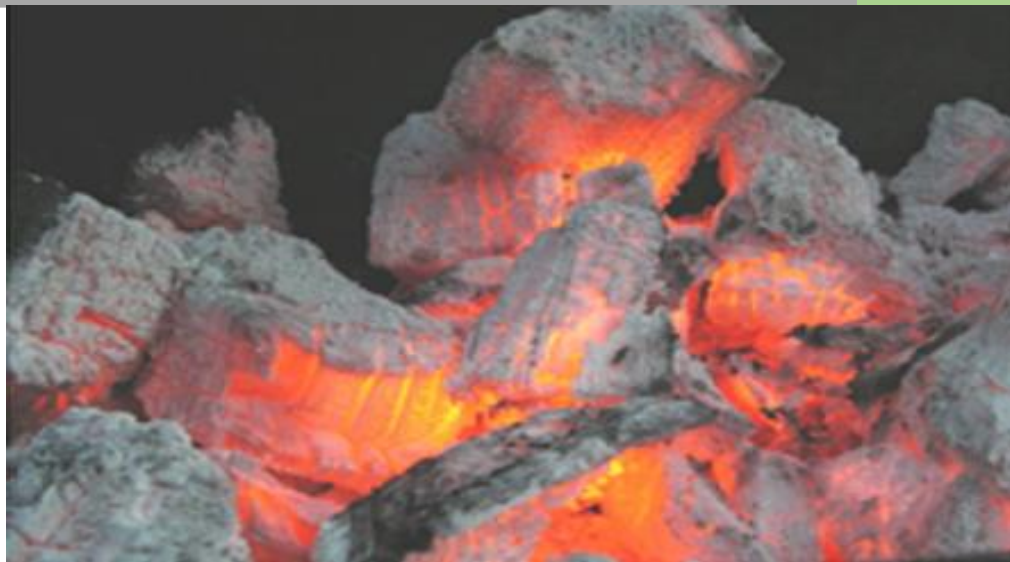


¿Por qué son peligrosos los incendios debidos al Smouldering o combustión sin llamas?



Antonio Galán Penalva

Consultor de Seguridad contra
Incendios

Noviembre 2015

¿Por qué son peligrosos los incendios debidos al Smouldering o combustión sin llamas?

1. Objetivos del informe	2
2. Antecedentes	2
3. Descripción del proceso de combustión sin llamas o smouldering	3
3.1. Diferencias entre el smouldering y la combustión con llamas	6
3.2. Estructura del frente del smouldering	7
4. Relación entre los incendios y el smouldering	9
5. Regulación sobre smouldering	12
6. Smouldering y aislamiento	14
7. Detección del smouldering	16
8. Conclusiones	17
9. Bibliografía	17
10. Sobre el autor	18

¿Por qué son peligrosos los incendios debidos al Smouldering o combustión sin llamas?

1. Objeto del informe.

El objetivo de este informe es conocer el fenómeno del smouldering. Para ello, se mostrará en este informe las condiciones en las que puede producirse este tipo de incendio, los materiales susceptibles de sufrirlo así como la regulación específica sobre smouldering en la actualidad, tanto a nivel nacional como a nivel europeo.

Finalmente, se mostrará la efectividad de los sistemas de detección cuando se presenta un incendio con smouldering.

2. Antecedentes

El smouldering es la causa más habitual de muerte en los incendios residenciales y las pérdidas económicas que causa producen unas perdidas en la propiedad próximas a 350 millones de dólares por año solo en Estados Unidos.

El primer trabajo científico publicado sobre el smouldering fue publicado en el año 1957. Este trabajo consistió en una toma de datos y observaciones de ensayos simples efectuados sobre polvo en combustión.

Posteriormente se realizaron una docena de investigaciones sobre polvo y materiales fibrosos. El bajo de número de trabajos sobre el smouldering continuó hasta la mitad de la década de los 70 pero esta vez los trabajos se centraron en las espumas poliméricas y los cigarrillos.

En la segunda mitad de la década de los 70, se incrementaron los trabajos sobre smouldering, centrándose principalmente en la detección de humos, la toxicidad, el caso de la espuma flexible de poliuretano (empleada en aplicaciones como relleno de mobiliario y colchones) y el caso de la celulosa. El mayor número de publicaciones se produjo en la década de los 80 y desde ese momento, el número de publicaciones se ha ido reduciendo, manteniéndose esta tendencia hasta la actualidad.

Con esta situación, este fenómeno no ha sido estudiado con la profundidad y extensión que lo han sido otro tipo de trabajos como por ejemplo las llamas de un incendio. Esto ha provocado una falta de guías y documentos cuantitativos que aportaran información técnica para estimar y conocer el comportamiento realista del proceso de propagación del smouldering, la detección, la producción de gases y la transición a las llamas.

Los productos de los que se dispone un mayor número de trabajos son la espuma flexible de poliuretano (empleada en relleno de mobiliario y colchones) y la celulosa, pero aun así se necesitan más estudios experimentales y teóricos.

Por tanto, los datos disponibles a día de hoy, deben ser tratados y analizados con mucha precaución ya que proceden de situaciones análogas pero en diferentes condiciones. En este tipo de experimentos, el flujo de oxígeno tiene un papel muy relevante. Además, hay que considerar la dirección del movimiento del oxígeno como otro factor de gran importancia en la propagación del smouldering. La mayor toxicidad asociada a los humos procedentes de esta forma de combustión incompleta y la mayor facilidad de propagación son factores que han puesto en alerta a las autoridades de algunos países.

¿Por qué son peligrosos los incendios debidos al Smouldering o combustión sin llamas?

3. Descripción del proceso de combustión sin llamas o smouldering

El smouldering es una reacción de combustión superficial heterogénea que bajo ciertas condiciones se propaga a través del interior de los sólidos combustibles porosos. Su reacción es lenta, no se requieren altas temperaturas y se produce sin llamas. La reacción se mantiene debido al calor producido cuando el oxígeno ataca directamente a la superficie de un combustible en fase condensada.

El smouldering tiene un interés particular en la seguridad contra incendios ya que los productos procedentes de la combustión, puede ser altamente tóxicos y su detección en el interior de un material es difícil. Además, frecuentemente es la fuente de inicio de incendios a través de la transición de smouldering a llamas.

Es importante no confundir el smouldering con una combustión incandescente o glowing combustion. La diferencia reside en que la reacción de smouldering no produce luz visible mientras que la combustión incandescente o glowing produce luz en la zona de combustión.

El smouldering es proceso que constituye un riesgo de incendio importante por dos motivos:

- Produce una mayor transformación de un combustible a compuestos tóxicos en comparación con una llama.
- Proporciona una ruta para que la inflamación del combustible pueda ser iniciada por fuentes de calor mucho más débiles que una llama.

El proceso de inicio del smouldering está dominado por la cinética de oxidación de un sólido. La propagación del smouldering está controlada por la cantidad de oxígeno transportado a la zona de reacción. El control de la reacción vía transporte de oxígeno ocurre debido a que el calor producido durante el inicio del smouldering incrementa la temperatura local y por tanto la tasa de reacción en la zona, hasta que todo el oxígeno que la rodea se ha consumido.

Posteriormente, la reacción continua consumiendo oxígeno a medida que alcanza la nueva zona de reacción, produciendo a nivel local una cantidad muy baja de oxígeno la cual limita la reacción.

La evolución del smouldering a zonas alejadas del área del inicio de la reacción es muy dependiente de las condiciones de suministro de oxígeno. Si la iniciación se produce en una zona profunda de una capa de partículas finas, la reacción se desplazará a la superficie del material muy lentamente.. Cuando el smouldering alcanza el exterior del material, la propagación se vuelve más rápida sobre esa región, debido al mayor aporte de oxígeno.

Son muchos los materiales sólidos que son susceptibles de poder sufrir reacciones de smouldering, unos ejemplos serían el carbón, algodón, polvo, papel, turba, humus, madera, paneles de fibras orgánicas, espumas sintéticas, polímeros carbonizados entre otros.

En términos generales, el combustible consiste en un agregado permeable formado por partículas, granos, fibras o matrices porosas. Estos combustibles agregados facilitan la reacción en la superficie con el oxígeno. Ellos también actúan como aislantes térmicos y reducen las pérdidas de calor pero al mismo tiempo permiten el transporte de oxígeno a los lugares donde se produce la reacción por convección y difusión.

¿Por qué son peligrosos los incendios debidos al Smouldering o combustión sin llamas?

Las espumas sintéticas, como por ejemplo la espuma flexible de poliuretano (muy porosa, empleada en el relleno de mobiliario y colchones), es altamente susceptible de producir reacciones de smouldering. La naturaleza porosa de la espuma flexible permite alimentar con aire a la reacción exotérmica mientras protege la zona de la reacción de las pérdidas de calor de los alrededores. La espuma flexible de poliuretano es el material seleccionado por la mayoría de los laboratorios para llevar a cabo ensayos sobre las combustiones con smouldering debido a que se inflama fácilmente y presentan una gran tendencia a producir smouldering. Además, este material ofrece unas propiedades físicas muy homogéneas. Esto es una ventaja que no está presente en la mayoría de los combustibles naturales.

La propagación del smouldering se puede producir en una dimensión y en múltiples dimensiones. Además, el frente del smouldering se puede desplazar en el mismo sentido que el movimiento del oxígeno o en sentido contrario.

- **Unidimensional.**

La propagación del smouldering es una situación idealizada que algunas veces se aproxima a los incendios reales. El smouldering unidimensional puede presentarse en dos configuraciones. Estas dos configuraciones se diferencian por el papel jugado por los mecanismos de transporte de calor y masa y las reacciones químicas.

- Propagación en el mismo sentido.

Cuando el flujo de oxígeno se produce en la misma dirección que el movimiento del frente del smouldering. El oxígeno fluye a través de la carbonización y reacciona en la zona de smouldering y cuando se ha empobrecido el flujo de oxígeno continua hacia el combustible virgen. El transporte de calor hacia dicha zona se produce de manera convectiva y produce un precalentamiento.

¿Por qué son peligrosos los incendios debidos al Smouldering o combustión sin llamas?

- Propagación en sentido contrario.

Se produce cuando el oxígeno fluye a través del combustible virgen y reacciona en la zona de smouldering. El flujo de oxígeno empobrecido viaja a través de la carbonización. El transporte convectivo se produce hacia la carbonización posterior al frente, reduciendo el precalentamiento del combustible.

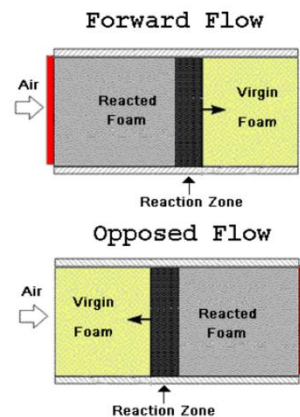


Figura 1. Configuraciones Unidimensionales del Smouldering. Fuente: Smouldering Combustion phenomena in science and technology. G. Rein. 2009.

- **Multidimensional.**

Factores tales como la geometría de la fuente de ignición, geometría del combustible y la fuerte influencia del flujo de oxígeno normalmente interactúan entre sí para asegurar que la zona de reacción del smouldering tenga un gradiente de temperatura y en la propagación se desarrolle en varias dimensiones. El número de posibles configuraciones es ilimitado. En la práctica se estudian pocas configuraciones y éstas normalmente son de dos dimensiones, ya que son los casos más probables a la vez que presentan un interés práctico.

¿Por qué son peligrosos los incendios debidos al Smouldering o combustión sin llamas?

3.1. Diferencias entre el smouldering y la combustión con llamas.

La diferencia fundamental entre el smouldering y la combustión con llamas reside en la forma de la reacción de oxidación y en la liberación de calor que ocurre en la superficie sólida del combustible o en la matriz porosa. En la última etapa, éstos ocurren en fase gaseosa alrededor del combustible.

La temperatura, la propagación y el calor liberado durante el proceso de smouldering son inferiores en comparación con la combustión de llama de un sólido. Los valores habituales de smouldering a temperatura ambiente son de alrededor de 500 – 700 °C y entre 6 y 12 KJ/g. El smouldering se propaga a una velocidad baja, aproximadamente 10-30 mm/h, es decir, 2 órdenes de magnitud más bajo que la velocidad de propagación de la llama.



Figura 2. Comparación de dos tipos de regímenes de combustión para combustibles sólidos. Llamas procedentes de hierba y smouldering sobre carbón.
Fuente: Smouldering Combustion phenomena in science and technology. G. Rein. 2009. (Fotografía: J.B. Nielsen, Dominio público, Wikipedia commons)

Debido a su baja temperatura, el smouldering es una reacción de oxidación incompleta y por tanto emite una mezcla de humos y partículas tóxicas, asfixiantes e irritantes en una cantidad mucho mayor que los incendios con llamas. Un factor importante de toxicidad en incendios con smouldering será el CO.

La transición del estado de smouldering a llamas es una ignición en fase gaseosa espontánea apoyada por la reacción de smouldering que actúa como fuente de combustible gaseoso y de calor para continuar la reacción. La transición ocurre cuando se cumplen las condiciones críticas dentro de los poros, desencadenando por tanto el comienzo de las reacciones en fase gaseosa. Estas condiciones incluyen la inflamabilidad de la mezcla de gases dentro de los poros y el exceso de calor liberado por las fuertes reacciones de oxidación en fase sólida. La transición a llamas se puede ver favorecida por un aumento de los niveles de oxígeno y corrientes de aire (por ejemplo el viento). La transición a las llamas solamente ha sido observado hasta la fecha en la propagación en un mismo sentido debido a que los gases calientes precalientan el combustible que está por delante de la reacción. No obstante, esta transición no está lo suficientemente investigada y por ello el conocimiento no es el adecuado en este momento.

El flujo de calor necesario para alcanzar la ignición del smouldering es más baja que la ignición con llamas. Por ejemplo, la ignición del smouldering con espuma flexible de poliuretano se produce con un nivel de flujo de calor de 2 kW/m² mientras que la ignición con llamas se produce por encima de 10 kW/m².

¿Por qué son peligrosos los incendios debidos al Smouldering o combustión sin llamas?

Por tanto, la transición de smouldering a llamas proporciona un peligroso atajo a un incendio con llamas, el cual puede ser iniciado por una fuente de calor más débil que para producir una llama sobre un combustible sólido.

3.2. Estructura del frente del smouldering.

Cuando se estudia la propagación del smouldering a través del interior de los materiales combustibles es habitual considerar el proceso unidimensional y dividirlo en dos configuraciones (mismo sentido y dirección opuesta). En estas situaciones se pueden diferenciar 4 zonas:

1.- Zona de precalentamiento del material

El calor procedente del frente de la reacción es transportado hacia la parte delantera para precalentar el combustible hasta temperaturas donde se produce la evaporación del agua.

2.- Evaporación

Esta reacción endotérmica se produce en un rango de temperaturas aproximado entre 80 y 100°C, produciendo vapor de agua. En este frente, la pérdida de masa depende del contenido de humedad.

3. Zona de combustión

Esta es la zona de donde se producen las reacciones de pirolisis y oxidación. La reacción de pirolisis absorbe calor y convierte el combustible en gases volátiles, hidrocarburos aromáticos, trazas de CO y CO₂ y vapor de agua. Estas reacciones producen un residuo carbonizado. La pirolisis se produce por encima de los 200 °C. El calor producido por encima de esta temperatura, incrementa la pirolisis si hay disponible una mayor cantidad de combustible. La pirolisis es más intensa en las capas interiores del combustible, donde el transporte de oxígeno es más reducido y la oxidación es menor.

La oxidación involucra una reacción exotérmica del combustible y la carbonización producida por el frente de pirolisis. La reacción de oxidación se produce sobre unos 300 °C y es la principal fuente de CO y CO₂.

4.- Zona de cenizas y carbonización.

Esta es la zona donde el Smouldering ha cesado y la temperatura va descendiendo hasta llegar a la temperatura ambiente. La ceniza producida es el contenido mineral presente en el combustible mineral y la carbonización es el resultado de una combustión incompleta.

¿Por qué son peligrosos los incendios debidos al Smouldering o combustión sin llamas?

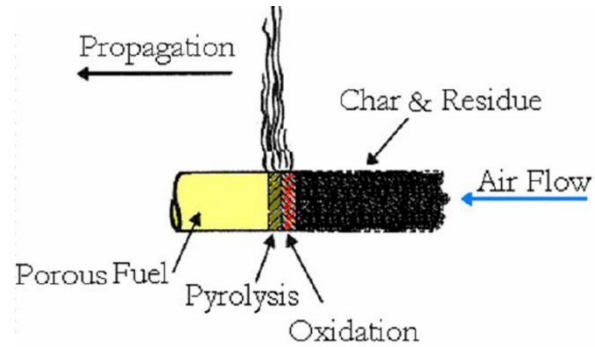


Figura 3. Estructura de la smouldering unidimensional sobre un cigarrillo. Fuente: Smouldering Combustion phenomena in science and technology. G. Rein. 2009.

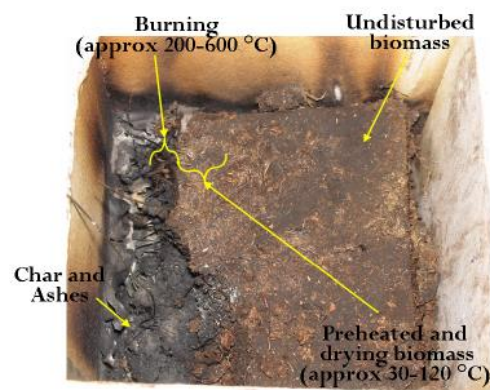


Figura 4. Rango de temperaturas del smouldering sobre una muestra de turba. Fuente: Smouldering Combustion phenomena in science and technology. G. Rein. 2009.

¿Por qué son peligrosos los incendios debidos al Smouldering o combustión sin llamas?

4. Relación entre los incendios y el smouldering

Como se ha indicado anteriormente, el smouldering es un proceso que entraña un gran riesgo y que puede convertirse un gran incendio si se dan determinadas condiciones. El smouldering puede darse en diferentes escenarios y situaciones, siendo cada una ellas independientes entre sí. Seguidamente se muestran los diferentes ámbitos en los que puede aparecer un incendio debido al smouldering.

Construcción.

Las estadísticas de incendio nos muestran la frecuencia y el peligro de los incendios con smouldering. Durante el año 2001, hubo 31,200 incendios con smouldering produciendo un daño en la propiedad de 386 millones de dólares solo en los Estados Unidos. El daño inherente de este tipo de incendios en los edificios procede de 4 causas:

- Puede ser iniciado por fuentes de calor muy débiles.
- Producen penachos de humo más fríos, lo que provoca que la detección sea más difícil.
- Los gases producidos durante el smouldering suponen un riesgo de toxicidad.
- Los incendios con smouldering se pueden transformar de manera abrupta en incendios con llama.

Dado que los incendios con smouldering producen productos de oxidación incompleta y por tanto emite una mezcla de gases y partículas asfixiantes e irritantes. La proporción de producción es menor y el crecimiento es más lento en comparación con un incendio con llamas pero suponen una amenaza cuando las personas están durmiendo, personas incapacitadas, etc.

Se ha determinado en base a estudios, que la amenaza para la vida de las personas es debida al CO y ocurre en la mayoría de los casos en un rango de 50-150 min desde el inicio del incendio. Además, la activación de los detectores de humo en presencia de incendio con smouldering es poco efectiva ya que el humo procedente del smouldering se comporta de manera diferente a los humos generados en un incendio con llamas.

¿Por qué son peligrosos los incendios debidos al Smouldering o combustión sin llamas?

Industria aeroespacial.

En el sector aeroespacial preocupan los incendios debidos al smouldering, incluidos los vuelos espaciales. La industria aeronáutica sufre muchos incidentes debidos al smouldering cada año pero la mayoría de ellos no llega más allá del punto de inicio debido a que son detectados a tiempo. No obstante, en algunas ocasiones han sucedido accidentes debido a este tipo de fenómeno como por ejemplo el vuelo de la compañía Swissair en 1998.

Además, se han producido incidentes en el espacio, como por ejemplo en las lanzaderas espaciales y estaciones orbitales. Por ello, hay un creciente interés en estudiar el smouldering en situaciones de gravedad cero e investigar cual sería el comportamiento de los materiales en dichas condiciones.

Incendios forestales.

El smouldering de los combustibles del suelo en los bosques no tienen un impacto visual del frente de llamas, sin embargo, un factor relevante en los incendios forestales es el daño posterior al bosque.

Los grandes incendios debidos al smouldering a escala local no son habituales pero ocurren de manera habitual a escala global. Una vez comienzan estos incendios, es muy difícil su extinción a pesar de las lluvias o los intentos de los bomberos ya que pueden persistir durante largos periodos de tiempo. Al propagarse estos incendios por debajo de la superficie, representan un gran consumo de biomasa y una fuente de emisiones a la atmosfera.

Las consecuencias de este tipo de incendios tienen su consecuencia en el paisaje, pudiendo afectar a pequeña escala o a gran escala y provocan severos daños en el suelo afectado, ya que el calor prolongado puede matar las raíces, semillas y plantas.

Incendios subterráneos.

Los incendios con smouldering de turba y carbón pueden penetrar muchos metros de profundidad por debajo del suelo y causar grandes perturbaciones en la química atmosférica global. Cuando están activos este tipo de incendios, la combustión del terreno y las capas subterráneas pueden duran largos periodos de tiempo y emitiendo grandes cantidades de productos de combustión causando un deterioro de la calidad del aire. Este tipo de incendios son considerados una amenaza emergente, planteando un riesgo global con consecuencias sociales, económicas y ambientales.

En el año 2009, se declaró un incendio subterráneo en el Parque Nacional de la Tablas de Daimiel a causa de la autocombustión de los terrenos secos antes inundados.

¿Por qué son peligrosos los incendios debidos al Smouldering o combustión sin llamas?



Figura 5. Una fumarola en un agujero del suelo del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel. Fuente: El País.

¿Por qué son peligrosos los incendios debidos al Smouldering o combustión sin llamas?

5. Regulación sobre smouldering

En España hasta la fecha, la evaluación del proceso del smouldering solamente es considerado por las normas dedicadas al mobiliario.

En España, el Código Técnico de la Edificación recoge la obligatoriedad de ensayar bajo las normas **UNE-EN 1021-1** “Valoración de la inflamabilidad del mobiliario tapizado. Parte 1: Fuente de ignición: cigarrillo en combustión” y **UNE-EN 1021-2** “Valoración de la inflamabilidad del mobiliario tapizado. Parte 2: Fuente de ignición: Llama equivalente a una cerilla” las butacas y asientos fijos tapizados que hayan sido instalados en cines, teatros, auditorios, salones de actos, etc, es decir, edificios y establecimientos de uso de pública concurrencia.

Además, es posible encontrar métodos de ensayos similares a los anteriores en la normativa NFPA (National Fire Protection Association). Las normas de aplicación bajo el espectro de actuación de NFPA sería la **NFPA 260** “Standard methods of tests and classification system for cigarette ignition resistance of components of upholstered furniture” y la **NFPA 261** “Standard Method of Test for Determining Resistance of Mock-Up Upholstered Furniture Material Assemblies to Ignition by Smoldering Cigarettes”.

En el ámbito constructivo, hay países como Noruega que tienen en cuenta el proceso de Smouldering y disponen de requerimientos para los materiales aislantes combustibles en los áticos. Los ensayos se llevan a cabo según la norma **NT Fire 035** “Building products: flammability and smouldering resistance of loose-fill thermal insulation”. Esta norma está basada en la **BS 5803 part 4**. “Methods for determining flammability and resistance to smouldering” y **BS 5852 part 2** “Methods of test for the ignitability of upholstered composites for seating by flaming sources”.

En la actualidad, se está desarrollando bajo el ámbito de CEN una norma europea armonizada (**FprEN 16733:2015**) para la evaluación del Smouldering en los productos utilizados en construcción con vistas a que en el futuro este tipo de combustión sea incluida en el sistema europeo de clasificación de reacción al fuego (UNE-EN 13501-1). El comité encargado de su desarrollo es el CEN/TC 127 “Fire Safety in buildings”.

El método de ensayo incluido en este proyecto de norma consiste en someter a una muestra colocada verticalmente y expuesta constantemente al calor procedente de un quemador con gas propano a un ataque con una llama sobre la superficie de la muestra. El smouldering es detectado midiendo las temperaturas proporcionadas por los termopares colocados dentro de la muestra de ensayo. Según el proyecto de norma, los criterios para llegar a la conclusión de que se ha producido smouldering sobre una muestra son los siguientes:

- Aparición de llamas sostenidas en los bordes de la muestra y que no hayan sido originadas por una propagación de llama visible sobre la superficie de la muestra.
- Re-ignición de la muestra después de haber pasado 5 minutos o de la retirada del quemador y después de que todas las llamas sostenidas sobre la superficie se hayan extinguido.
- Un aumento mayor de 250 °C de la temperatura medida por lo termopares después de la retirada de la llama.

¿Por qué son peligrosos los incendios debidos al Smouldering o combustión sin llamas?

- Ninguno de los termopares instalados sobre la muestra debe sobrepasar una temperatura mayor de 50 °C después de haber transcurrido 6 horas desde el comienzo del ensayo o que se produzca un incremento de la temperatura durante al menos 60 minutos.

¿Por qué son peligrosos los incendios debidos al Smouldering o combustión sin llamas?

6. Smouldering y aislamiento

El smouldering es un proceso de combustión que afecta a materiales porosos y con celda abierta. Los materiales más usados para llevar a cabo investigaciones y ensayos para la evaluación del smouldering han sido históricamente la celulosa y la espuma flexible de poliuretano empleada en relleno de mobiliario y colchones. En este último material, la morfología juega un papel muy importante, debido a que su estructura porosa ayuda a difundir el oxígeno fácilmente y acelerar el proceso de ignición. No obstante, los poliuretanos pueden resistir el fuego de diferentes formas. Dependiendo de los tipos de aplicación, la resistencia al fuego puede ser realizada usando retardantes de llama o realizando modificaciones en la estructura de los polímeros utilizados.

En la actualidad, existen en el mercado diferentes tipos de ignífugantes como por ejemplo los retardantes de llama halogenados, los libres de halógenos, grafito expandible, óxidos metálicos, compuestos con fósforo, etc.

Por otro lado, la espuma rígida de poliuretano (la que se emplea como material aislante) no sufre smouldering ya que es un producto de celda cerrada. Por ello, no se debe confundir la espuma rígida de poliuretano con otras aplicaciones de espuma flexible de poliuretano con celda abierta.

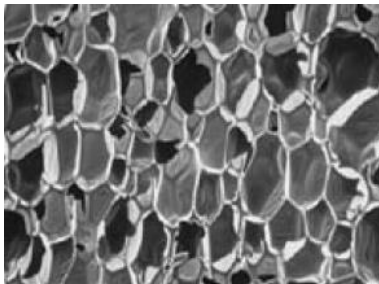


Figura 6. Estructura espuma de poliuretano con celda cerrada. Fuente: BASF Poliuretanos Iberia, S.A

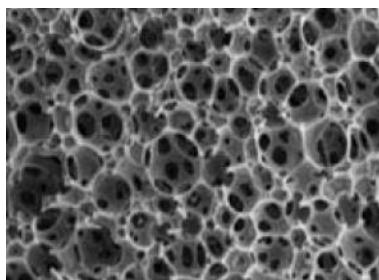


Figura 7. Estructura espuma de poliuretano con celda abierta. Fuente: BASF Poliuretanos Iberia, S.A

Otros productos aislantes como las espumas de poliestireno tampoco se ven afectadas por el smouldering, al ser también de celda cerrada.

Sin embargo, las lanas minerales son susceptibles de sufrir este proceso y en concreto se han producido incendios con smouldering en fábricas de lana mineral, en la construcción de edificios y en los laboratorios. El smouldering sobre lana mineral se puede apreciar en un rango de temperaturas entre 600°C y 900°C cuando previamente la superficie ha sido expuesta durante un tiempo a unas temperaturas comprendidas entre 300°C y 400°C. Con estos datos, se puede

¿Por qué son peligrosos los incendios debidos al Smouldering o combustión sin llamas?

concluir que algunos de los aislamientos denominados “no combustibles”, a base de fibras y clasificados A1 bajo determinadas condiciones no son capaces de resistir el smouldering.

Ante este escenario de riesgo, es necesario tomar un nuevo y diferente punto de vista tanto a nivel regulador, como a nivel asegurador. Por ello, la necesidad de incorporar al sistema de clasificación europeo herramientas para poder conocer y evaluar el riesgo de incendio de un producto, incluyendo el smouldering.

En la actualidad, los ensayos realizados por los laboratorios, la propagación de un incendio debido al smouldering y la posible ignición de otros materiales adyacentes no se tienen en cuenta. La importancia radica en que los materiales, a priori no combustibles, susceptibles de sufrir smouldering pueden convertirse en focos secundarios de incendios. En particular, todos los productos de lana de roca han demostrado tendencia al smouldering incluso bajo un ataque térmico de corta duración. El peligro de este tipo de combustión en este material aislante viene determinado por su uso e instalación, ya que se instala extensivamente detrás de paneles o en las cavidades. En estas situaciones, puede pasar muchas horas desde que comienza el smouldering hasta que es detectado.

¿Por qué son peligrosos los incendios debidos al Smouldering o combustión sin llamas?

7. Detección del smouldering

Los humos y su detección en los incendios con smouldering son notablemente distintos a los incendios con llamas. Es necesario conocer estas diferencias para que el sistema de detección instalado sea el adecuado.

Los incendios con smouldering solamente pueden ocurrir en sólidos porosos. La capa de humos de un incendio con smouldering crece lentamente y los humos se acumulan especialmente en habitaciones diferentes a donde se ha iniciado el incendio. Otro aspecto característico es que los humos procedentes de smouldering contienen partículas relativamente grandes.

Por el contrario, los incendios con llamas pueden ocurrir en todo tipo de materiales, incluidos los sólidos porosos, no porosos, líquidos y gases. La capa de humos es más caliente y se localiza en la habitación donde se ha originado el incendio. Al poder acceder al aire libremente a la llama, el calor desprendido será mucho mayor. Este tipo de incendio produce humos que contienen partículas relativamente pequeñas.

Para la detección de incendios, se pueden distinguir dos tipos de detectores:

- **Detectores de ionización**

Estos detectores responden al movimiento a través de un campo eléctrico de iones producido por una pequeña fuente radioactiva en la cabina de alarma de humos. Cuando las partículas del humo se mueven hacia la cabina, se inhibe el movimiento de los iones alterando la señal eléctrica. Los incendios que producen un gran número de partículas (incendios con llamas) son detectadas más fácilmente con un detector de ionización.

- **Detectores fotoeléctricos**

Este tipo de detectores funcionan gracias al principio de la diseminación de la luz procedente de las partículas. Las grandes partículas disponen de una mayor superficie y por tanto serán mejor detectadas.

En líneas generales, se considera que los detectores de ionización y fotoeléctricos funcionan de manera adecuada para proporcionar tiempo suficiente para avisar y por tanto, evacuar a las personas en una situación de incendio.

Sin embargo, los detectores de ionización puede que no funcionen de manera correcta cuando en una habitación se produce un incendio debido al smouldering, incluso cuando la habitación está llena de humo procedente de este tipo de combustión, debido a que las partículas liberadas en un incendio con smouldering presentan un gran tamaño.

¿Por qué son peligrosos los incendios debidos al Smouldering o combustión sin llamas?

8. Conclusiones

En base a la información mostrada anteriormente, se pueden concluir que:

- Se debería tener en cuenta en la evaluación del riesgo de los recintos, los incendios debidos al smouldering.
- Es necesario disponer de un sistema de clasificación de reacción al fuego que tenga en cuenta el proceso de smouldering, ya que queda demostrado que productos clasificados A1 (no combustibles) pueden presentar este tipo de combustión.
- Es importante que la instalación de detectores pueda funcionar correctamente en caso de aparición de un incendio por smouldering.
- Es necesario realizar investigaciones sobre el smouldering ya que es proceso muy complejo que está muy poco estudiado en muchos de los materiales que son susceptibles de sufrirlo.

9. Bibliografía

- **Fire dynamics**. Section two. Chapter 9. Smouldering Combustion. T.J Ohlemiller.
- **Smouldering Combustion phenomena in science and technology**. G. Rein. 2009.
- **Polyurethane flexible foam fire behaviour**. Ahmadreza Gharehbagh y Zahed Ahmadi.
- **True Fire Safety + Thermal Insulation for ventilated façades**. Pittsburgh Corning Europe SA.
- **Safety data sheet de las marcas comerciales Rockwool®, Roxul® y Lapinus®**. Fabricante Roxul Asia Sdn Bhd. Mayo 2007 (Rev. 5).
- **Statement of the record**. National Institute of Standards and Technology to the Boston City Council Committee on Public Safety (August 6, 2007).
- **Downward smolder of polyurethane foam**. J.L. Torero, A.C. Fernández Pello, M. Kitano.
- **Un insólito incendio subterráneo azota las Tablas de Daimiel**. Rafael Méndez. El País 12/10/2009.
- **Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Seguridad en caso de incendio (SI)**. (Junio 2015).
- **FprEN 16733:2015 “Reaction to fire tests for building products – Determination of a building product’s propensity to undergo continuous smouldering”**. (17/07/2015).
- **Nordtest method NT035. “Building products: Flammability and smouldering resistance of loose-fill thermal insulation”**. (1988-02).
- **Poliuretano proyectado. Celda abierta vs Celda cerrada. Apariencia similar, prestaciones diferentes**. BASF Poliuretanos Iberia, S.A.

¿Por qué son peligrosos los incendios debidos al Smouldering o combustión sin llamas?

10. Sobre el autor

Antonio Galán Penalva es Licenciado en Química por la Universidad de Alcalá de Henares y dispone del Postgrado de Perito de Seguros, Incendios y Riesgos Diversos por la Universidad de Barcelona e INESE y del Curso Europeo Superior de Seguridad contra Incendios organizado por la Asociación para la prevención y protección de riesgos (CEPREVEN) y CFPA Europe.

Actualmente desarrolla su actividad profesional prestando servicios de consultoría en materia de seguridad contra incendios, especializado en reacción al fuego.

Además, ostenta el cargo de Presidente del subcomité de normalización de seguridad contra incendios CTN-23-SC6 (Reacción al fuego de materiales), vocal del subcomité de normalización de ingeniería de seguridad contra incendios CTN-23-SC8, asiste al CEN/TC 127 (Fire Safety in Buildings) y colabora habitualmente con la Asociación para la prevención y protección de riesgos (CEPREVEN) en cursos sobre protección pasiva.

Durante 9 años, ha desarrollado su actividad profesional en el Laboratorio de Ensayos de Reacción al Fuego de AFITI-LICOF siendo destacable la posición de Director Técnico de Laboratorio. Durante este periodo, a nivel nacional participó en diferentes comités técnicos y de normalización y a nivel internacional fue representante de su laboratorio en EGOLF (European Group of Organisations for Fire Testing, Inspection and Certification).

Además, fue profesor del Master en Ingeniería de Protección contra Incendios de la Universidad de Comillas y de Profesionales de Ingeniería de Protección contra Incendios (APICI).