



[cuaderno técnico de prevención de incendios]

Notas para la utilización de este cuaderno técnico	4
Introducción	5
1. Principios de prevención de incendios	6
1.1 El triángulo del incendio	6
1.2 Desarrollo y evolución de un incendio	7
1.3 Los sistemas de prevención de incendios	8
1.3.1 Protección activa	8
1.3.2 Protección pasiva	8
2. Reacción al fuego de los materiales	9
2.1 Definición	9
2.2 Normativas nacionales e internacionales	9
3. Resistencia al fuego de las estructuras 11	
3.1 Definición	11
3.2 Normativas nacionales e internacionales	12
4. Potencial del incendio	13
5. Toxicidad y opacidad de las exhalaciones	14
6. Estándares internacionales	15
6.1 Reino Unido	15
6.2 Alemania	15
6.3 Francia	15
6.4 Italia	16
7. El método Europeo de clasificación	18
7.1 Las siete euroclases	18
7.2 S.B.I. - Single Burning Item	19
8. La prueba “Room Corner Test”	20
8.1 Estudios acerca de los conductos para la circulación del aire	20
8.2 La elección del modelo de incendio	20
8.3 La medición de la propagación del incendio en los conductos	21
8.4 La medición de la infiltración de las exhalaciones en los conductos para el manejo del aire	23
8.5 Los conductos examinados	23
8.6 Los procedimientos de prueba	24
8.7 Los resultados	24
9. Las ventajas de Hydrotec	27
10. Conclusiones	28
Bibliografía	29

Aceptación de las informaciones

Esta publicación ha sido redactada como cuaderno técnico de consulta para los operadores del sector y no constituye un estándar de calidad. La aplicación de los contenidos de este cuaderno a un proyecto en especial depende exclusivamente de la decisión del proyectista. La empresa P3 no tiene ni el poder ni la autoridad para hacer aplicar las informaciones contenidas en este texto.

Modificaciones

P3 se reserva el derecho de modificar de acuerdo con sus propios criterios los contenidos de este manual en ediciones posteriores o por medio de suplementos y como lo requieran los resultados de los trabajos del Comité Europeo para la Redacción de Estándares (European Standardisation Committee), con cuyas directivas este manual está en conformidad.

Interpretaciones formales

Se puede solicitar una interpretación formal de algunas partes del texto que fueran de definición dudosa solamente por escrito a la empresa P3, la cual enviará, también por escrito, la respuesta solicitada. Toda otra interpretación oral o escrita expresada por cualquier otra persona, tanto física como jurídica, se deberá considerar no oficial. Esto no impide que cualquier persona manifieste su propia opinión sobre parte(s) del cuaderno técnico, siempre que especifique claramente que se trata de una opinión personal y que de ninguna forma constituye un acto oficial de la empresa P3.

Aplicación

Las indicaciones contenidas en este cuaderno técnico han sido redactadas en base a principios de ingeniería y estudios e investigaciones con el asesoramiento y las informaciones obtenidas de constructores, usuarios, talleres experimentales y otros especialistas del sector. Éstas serán sometidas a revisiones o modificaciones posteriores si esto fuera necesario o recomendable a la luz de nuevas experiencias o necesidades. La empresa P3 no se asume ninguna responsabilidad en cuanto a la aplicación de los principios y de las técnicas mencionados en este manual. De todas formas, tanto en la proyectación como en la construcción, prevalece el respeto de las leyes o de los reglamentos emitidos por las autoridades competentes en esta materia.

Permiso de uso y de reproducción

Está permitido el uso no exclusivo y exente de derechos de autor de partes del texto y de las ilustraciones, siempre que el propósito de tal utilización sea que tales datos se introduzcan en las especificaciones para licitaciones, concursos, dibujos contractuales y especificaciones de buena ejecución en la realización de sistemas de manejo del aire. Contrariamente, está prohibida por ley toda reproducción, aunque fuera parcial, de este catálogo, copyright by P3 Srl 2003 - PADOVA - ITALY.

Utilización de los logos

Los logos P3, P3ductal están registrados y son de propiedad de Sixton Holding S.A. y representan un signo de identificación del P3ductal. Sixton Holding S.A. y P3 establecen la obligación de hacer un uso correcto de los logos y prohíbe expresamente la utilización de los mismos para otros fines o por otros motivos. La presencia de los logos no constituye de ninguna forma la aprobación de los productos, o de los métodos o componentes por parte de la empresa Sixton Holding o de P3.

Con el aumento general de la sensibilidad acerca del tema de la seguridad, sostenida por otra parte por una creciente focalización a nivel legislativo, la edificación moderna ha intensificado la atención que se le presta a los aspectos de la seguridad en caso de incendio. Los arquitectos y proyectistas ya no pueden dejar de lado toda una serie de evaluaciones sobre la implementación de sistemas de prevención de incendios, o bien, de una serie de actividades que permitan prevenir un incendio o, de todos modos, si éste inicia y se desarrolla, que se pueda detectar lo más rápidamente posible limitando así los daños que se pudieran causar a las personas o a las cosas. Los nuevos proyectos deben prever sistemas de protección activa que comprendan todos los elementos presentes en las instalaciones y de tipo organizativo que permitan una intervención directa en caso de incendio para confinarlo o extinguirlo y de sistemas de protección pasiva que permitan también obstaculizar el desarrollo, la extensión y la propagación de un incendio sin intervenir directamente en él. Para que sea verdaderamente eficaz, la prevención de incendios deberá tener en cuenta las evaluaciones de la reacción y de la resistencia al fuego. Ambos conceptos no son sinónimos y representan los dos parámetros con los cuales se evalúa el comportamiento ante el fuego, o sea el conjunto de transformaciones químico-físicas de un material o de un elemento de construcción (componente o estructura) cuando se somete a la acción del fuego. Los conductos para la ventilación y la calefacción no son elementos estructurales y no delimitan ni dividen ningún ambiente; por lo tanto están sujetos exclusivamente a vínculos relacionados con las características de reacción al fuego y no de resistencia al fuego, salvo en lo que se refiere al hecho de que atraviesan estructuras de división en comportamientos, como las paredes anti-incendio.

La continua evolución de los materiales utilizados para el aislamiento y de la tecnología en general, ha llevado hacia una distinción bien diferenciada entre materiales homogéneos y materiales compuestos. En el caso de éstos últimos (entre los cuales están comprendidos los conductos en aluminio preaislado) según la normativa Italiana, por ejemplo, la clasificación de reacción al fuego es doble, o sea que está definida por la combinación de dos números que, respectivamente, identifican la clase del producto terminado y la clase del componente aislado en forma individual. Por mucho tiempo, la disciplina normativa de esta delicada materia ha sido muy genérica y coordinada en forma insuficiente a nivel internacional. La necesidad de una armonización funcional de los criterios de clasificación a nivel Europeo, finalmente ha llevado a la definición de un sistema unívoco de pruebas. La aplicación de esta metodología permite crear una clasificación uniforme estructurada en base a siete clases. También en ámbito Italiano ha sido necesario una intervención a nivel gubernamental que aclarara toda duda creada por esta situación realmente muy confusa. El decreto ministerial del 31-3-2003, en efecto, aclaró de forma definitiva, abrogando todas las normativas emanadas anteriormente, la disciplina y los parámetros que se han de aplicar devolviéndole a los conductos preaislados su exacto valor en términos de calidad y seguridad. La emanación de este decreto representa un objetivo fundamental, especialmente para la empresa P3, que participó de forma activa en el proceso de análisis técnico que condujo a formular los dictámenes legislativos, sometiendo a sus conductos a las pruebas más selectivas y severas, entre las cuales se halla el "room corner test".

Este cuaderno técnico no pretende ser solamente una guía detallada para la comprensión de los principios que están a la base de los sistemas de prevención de incendios, sino que además desea presentar de forma sistemática la normativa en vigencia así como ilustrar los resultados de las pruebas que la empresa P3 efectuó sobre sus conductos P3ductal. El manual, por lo tanto, representa una herramienta de trabajo para todos los que, en la propia actividad, deben afrontar día tras día los problemas relacionados con el fuego.

1.1 El triángulo del incendio

Un estudio detallado del tema de la prevención de incendios necesariamente debe partir de un repaso de algunos conceptos fundamentales. Por tanto, el primer paso de este análisis debe concentrarse en el fenómeno de la combustión.

La combustión obedece a una reacción química de oxidación con desarrollo de llamas, de luz y de calor.

Para que la combustión se produzca, deben entrar en interacción entre si tres factores:

- presencia de sustancias comburentes
- presencia de sustancias combustibles
- presencia de un factor de inicio o encendido.

Estos tres elementos componen el así llamado “triángulo del incendio” (Fig. 1). Esta representación gráfica permite ilustrar de forma inmediata el hecho que solamente la presencia simultánea y la interacción de los tres “lados” puede dar lugar al fenómeno de la combustión.

Cuando falta uno de estos elementos, el incendio se apaga.

La sustancia comburente más común (y prácticamente la única que se toma en consideración en los tratados sobre la prevención de incendios) es el oxígeno. Es posible que se produzcan incendios con sustancias distintas que, de todas formas, poseen una composición molecular caracterizada por una importante presencia de oxígeno (como por ejemplo, los explosivos y el celuloide).

Se identifican, en cambio, como sustancias combustibles, aquellas sustancias que se oxidan durante la combustión, es decir que se asocian a uno o más átomos de oxígeno.

Otro aspecto que hay que evaluar, aunque sea externo al triángulo, es la velocidad.

Solamente si ésta supera ciertos parámetros, el calor generado por la oxidación de una molécula puede provocar el aumento de la temperatura con respecto a las que la rodean provocando así una reacción en cadena que lleva a la verdadera combustión.

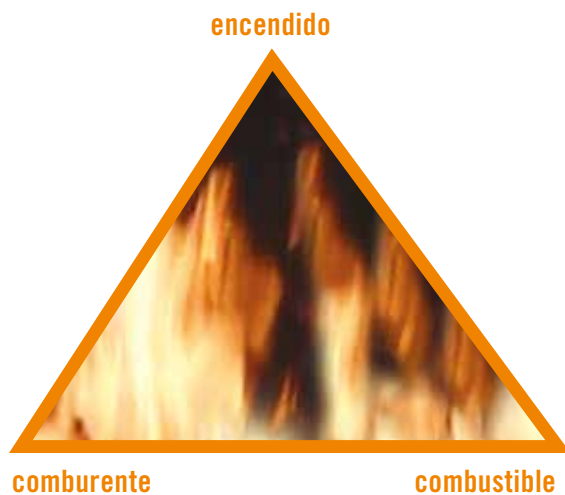


Fig. 1 - El triángulo del incendio

Como se muestra en el triángulo, la presencia del comburente y del combustible no es suficiente, aunque las condiciones ambientales fueran ideales, para generar la combustión.

En efecto, se debe alcanzar por un tiempo suficiente la temperatura mínima necesaria para activar la reacción molecular (energía de activación).

Un último elemento que se ha de tomar en consideración es de tipo “geométrico”: si con valores de masa equivalentes, se incrementa la superficie del combustible, también la velocidad de reacción será mayor, lo cual provocará un consiguiente aumento de la facilidad de encendido.

Se pueden identificar tres fases de evolución de un incendio (Fig. 2):

- encendido
- desarrollo
- declinación

Las fuentes que le permiten al incendio desarrollarse pueden ser identificadas entre las siguientes:

- **encendido directo** - una llama, una chispa o un material incandescente entra en contacto con un material combustible en presencia de una sustancia comburente (como por ejemplo el oxígeno, componente fundamental del aire);
- **encendido indirecto** - el calor de encendido se propaga por convección, conducción o irradiación, o sea, sin contacto directo;
- **fricción** - el calor es generado por refregamiento;
- **autocombustión** - el calor se produce en el interior del combustible por procesos lentos de oxidación natural o por efecto de reacciones químicas particulares.

En la **fase de encendido** y desarrollo las llamas tienden a estar localizadas, mientras la temperatura presenta un alto grado de variabilidad en el interior del ambiente.

Durante la **fase de desarrollo**, aumentan notablemente tanto la temperatura ambiental como la velocidad de propagación del frente del fuego.

A este punto, las llamas, abarcando todas las superficies combustibles presentes, provocan una llamarada general ("flash over") que lleva a la terminación de la fase de desarrollo.

En esta fase, la temperatura media es muy elevada (aproximadamente 1000 °C) y ya el incendio se puede considerar generalizado.

Después que la temperatura ha alcanzado su pico máximo, el incendio va hacia la **fase de declinación** caracterizada por el agotamiento del material combustible y, por tanto, por una más o menos lenta disminución de la temperatura.

Un incendio se puede considerar extinguido cuando la temperatura del ambiente disminuye por debajo de los 300 °C.

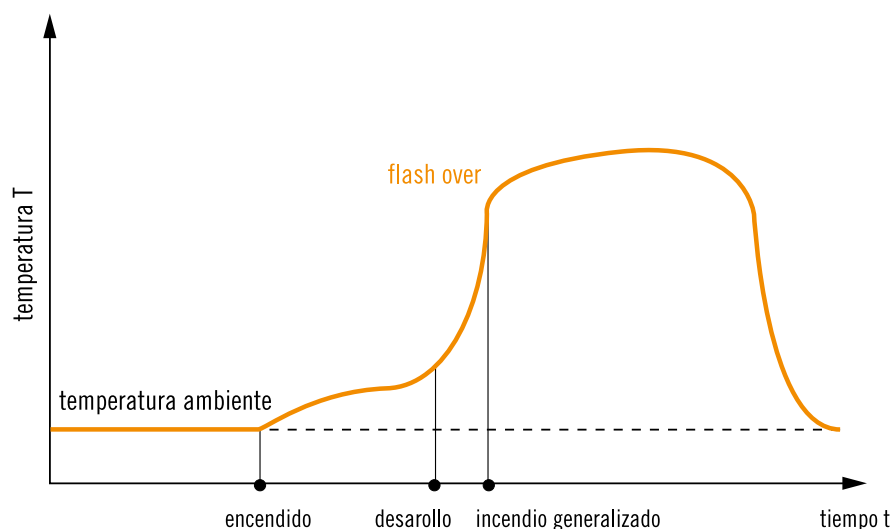


Fig. 2 - Etapas de evolución de un incendio

1.3 Los sistemas de prevención de incendios

La prevención de incendios abarca todas las actividades que permiten prevenir el principio de un incendio o, de todas formas, en caso de desarrollo, que permiten detectarlo lo más rápido posible y, combatiéndolo, limitar los daños que el fuego pudiera causar a las personas y a las cosas.

Los sistemas de prevención que se pueden poner en práctica se distinguen como indicamos a continuación:

- sistemas de protección activa
- sistemas de protección pasiva

1.3.1 Protección activa

Los sistemas de **protección activa** (Tabla 1) comprenden todos los elementos relacionados con la instalación y con la organización que gracias a su acción permiten una **intervención directa en el lugar del incendio** o para limitarlo o para apagarlo.

Entre los sistemas de protección activa están la presencia en el lugar de extintores, de sistemas automáticos para la extinción o de personal apto a combatir incendios. También la conexión de la alarma a la estación de bomberos constituye un elemento de protección activa.

Desde este punto de vista, es interesante mencionar que, aun hoy, el agua representa uno de los mejores agentes para la extinción de un incendio. Como ya hemos dicho en el caso del triángulo, para detener el fenómeno hay que eliminar por lo menos uno de los tres elementos fundamentales que lo producen y/o alimentan.

Arrojar agua sobre las sustancias o sobre los elementos combustibles permite limitar la acción del comburente (o sea, el aire en el ambiente) pues el estrato de agua tiende a evitar que el comburente y el combustible entren en contacto.

La misma agua, absorbiendo grandes cantidades de calor en fase de evaporación, permite enfriar el combustible, limitando así el efecto en cadena de la oxidación de las moléculas (fenómeno que, como ya hemos visto, se desarrolla cuando existen elevadas temperaturas).

1.3.2 Protección pasiva

En los **sistemas de protección pasiva** (Tabla 1) están incluidos todos los elementos relacionados con el proyecto o con la estructura que permiten obstaculizar el desarrollo y la extensión de un incendio **sin intervenir directamente** en el sitio donde se produce. Las opciones de protección pasiva son múltiples y van desde la aplicación de las distancias de seguridad, a la identificación de los posibles puntos de fugas, a la aplicación de compartimientos o estructuras contra el fuego.

Entre los elementos fundamentales para una correcta aplicación de la protección pasiva está, por cierto, la **elección de los materiales**. Para que esta elección sea verdaderamente eficaz, al momento de escogerlos se deberán tener muy en cuenta las evaluaciones acerca de la **reacción** y la **resistencia al fuego** de los mismos.

Protección activa	Protección pasiva
<ul style="list-style-type: none">• presencia de extintores• sistemas automáticos de extinción• presencia de personal anti-incendio• conexión de la alarma a la estación de bomberos	<ul style="list-style-type: none">• aplicación de las distancias de seguridad• identificación de los puntos de fuga• compartimentación• estructuras anti-incendio• reacción al fuego de los materiales• resistencia al fuego de las estructuras

Tabla 1 - Sistemas de protección activa y pasiva

Como ya mencionamos en el capítulo anterior, a la base de una correcta prevención pasiva de los incendios, están las evaluaciones acerca de la reacción y a la resistencia al fuego de los materiales empleados. Es sobre estos conceptos que también se fundan las distintas normativas que, a nivel nacional e internacional, analizan el comportamiento ante el fuego. Por **comportamiento ante el fuego** se quiere indicar el conjunto de las transformaciones químico-físicas que se producen en un material o en un elemento de construcción (componente o estructura) cuando éste está sometido a la acción del fuego.

La reacción al fuego de un material se puede interpretar como el grado de participación de ese material en la combustión.

Las evaluaciones acerca de la reacción al fuego analizan, por tanto, las características que los distintos materiales que están en el interior de un ambiente adoptan con respecto a la **inflamabilidad** (facilidad de encendido) y la **propagación del incendio**, si éste se produce.

Por ejemplo, si una papelería llena de papel se incendiara, las cortinas, la moquette, el sillón y los otros accesorios que están cerca no deben inflamarse fácilmente y, de todas formas, si esto sucediera, deberían poder limitar la propagación de las llamas (o sea, deberían apagarse) a una distancia muy limitada del origen del incendio.

Las evaluaciones sobre la reacción al fuego de los materiales asumen importancia casi exclusivamente en las fases de inicio y desarrollo del incendio. En efecto, cuando se ha alcanzado la fase de “flash over” (o sea la llamarada o deflagración) y, por lo tanto, en la fase de incendio ya generalizado, todos los materiales combustibles arden y alimentan el incendio.

Actualmente, en muchos países, las prestaciones de reacción al fuego de los materiales están clasificadas generalmente por medio de los números convencionales como el 0 (cero) y 1 (uno) para los materiales que más difícilmente se inflaman y que más fácilmente detienen la propagación de un incendio; mientras los números más altos como el 3 (tres) y el 4 (cuatro) identifican los materiales que más fácilmente se incendian y que no llegan a detener la propagación de las llamas porque ellos mismos contribuyen a alimentarlas y a extenderlas por medio de fenómenos como el goteo de las partes encendidas, el proceso de incandescencia, etc.

2.1 Definición

2.2 Normativas nacionales e internacionales

Francia	M0, M1, M2, M3, ...	
Alemania	A1, A2,	“A” = non combustibles
	B1, B2, B3,	“B” = combustibles
Gran Bretaña	0, 1, 2, 3,	
Italia	0, 1, 2, 3, 4,	materiales distintos de los acolchados
	1 IM, 2 IM,	“IM” (los “eme”) significa “acolchados” (en Italiano, “IMbottiti”)

Tabla 2 - Sistemas internacionales de clasificación de la reacción al fuego de los materiales

La clasificación numérica puede estar o no acompañada por una notación alfabética según el país de referencia y también puede adoptar significados distintos (Tabla 2). Por mucho tiempo, la disciplina normativa de esta delicada materia ha sido muy genérica y no suficientemente coordinada a nivel internacional.

En virtud de varias motivaciones técnicas, económicas y aun legales, el CEN (o sea el Comité Europeo de Reglamentación y Normativa, en el cual están representados además de los distintos Estados miembros de la Unión Europea también otros países no Europeos miembros del organización ISO (la “International Standards Organization”) no había llegado a un acuerdo definitivo sobre los métodos de prueba y clasificación de la reacción al fuego que se pudiera adoptar a nivel supranacional.

La necesidad de una uniformación funcional de los criterios de clasificación a nivel Europeo finalmente ha llevado a la definición de un método de prueba unívoco denominado S.B.I., contenido en la norma EN 13823, que se utiliza junto a otros métodos ya adoptados a nivel internacional, como el EN ISO 1182, el EN ISO 1716 y el EN ISO 11925-2 (disposición de la Comisión Europea publicado en la Gaceta Europea del 23-2-2000 en base a la Directiva para las Construcciones 89/106/CEE).

La aplicación de esta metodología permite crear una clasificación uniforme estructurada en base a siete clases (para un análisis más detallado de este argumento, véase el capítulo 7).

La nueva normativa Europea supera los antiguos [criterios de clasificación nacionales](#), cuyos resultados, sin embargo, todavía se pueden aplicar.

A nivel Italiano, la normativa establece que, para los materiales que pueden ser atacados por las llamas en uno solo de sus lados, existen dos métodos de prueba: [UNI 8457](#) (CSE RF 2/75/A) y [UNI 9174](#) (CSE RF 3/77).

El primer método evalúa la fase de inicio o encendido del incendio mientras el segundo método se focaliza en particular en la fase de desarrollo del mismo.

De la combinación de los resultados de estas dos pruebas se obtiene la clase de reacción al fuego (de 1 a 5 - cuanto más bajo es el valor de referencia más difícil es que el incendio se produzca y se desarrolle).

Para que un material o producto esté en la clase 0, la normativa Italiana establece también que éste deba aprobar el test de no combustibilidad ISO 1182.2.

Para los materiales aislantes compuestos, como por ejemplo los conductos P3ductal que están compuestos por un estrato aislante de poliuretano revestido por láminas de aluminio, la normativa Italiana establece una doble clasificación, o bien, un doble número que se refiera respectivamente al comportamiento del producto en su totalidad y al comportamiento del componente aislante sin las láminas de revestimiento.

A falta de un criterio de evaluación unívoco, P3 ya había hecho certificar y homologar sus propios productos clasificándolos en las mejores clases de reacción al fuego, por ejemplo: en las clases 1 (uno), 0-1 (cero-uno), 0-2 (cero-dos) en Italia, en las clases M1 (“eme uno”) y M2 (“eme dos”) en Francia, B1 (“be uno”) y B2 (“be dos”) en Alemania, y así sucesivamente.

Después de la introducción del método de prueba Europeo y, en especial, del método S.B.I. P3 tomó la iniciativa y se adelantó tanto para favorecer que la normativa Italiana se hiciera eco de esta disciplina como para someter a pruebas sus propios materiales según estos nuevos protocolos.

De esta forma, los usuarios y los operadores del sector tienen la seguridad de estar utilizando un producto no sólo seguro sino también aprobado oficialmente por los organismos de control competentes.

La resistencia al fuego de las estructuras puede ser definida como la tendencia de la estructura a conservar las características requeridas de estabilidad, hermeticidad y aislamiento en un lapso de tiempo definido.

La resistencia al fuego, por lo tanto, trata de cuantificar y clasificar la duración en el tiempo de estructuras y compartimentaciones de las construcciones en la hipótesis de desarrollo de un incendio normalizado.

Esto significa que partiendo de la premisa que un incendio de cierta magnitud ya se ha desarrollado en un cierto y determinado ambiente, es necesario que las estructuras (paredes, armazones, vigas, pilares, puertas y compuertas anti-incendio) que delimitan este ambiente, resistan a las cargas estáticas (Fig. 3). También es necesario que las mismas estructuras no permitan que se produzcan fugas de llamas o de gas a alta temperatura y que no transmitan calor por conducción hacia el exterior del ambiente en el cual se ha producido el incendio.



Fig. 3 - Puerta anti-incendio

Se debe considerar, en efecto, que un revestimiento de paredes en madera, paño o papel colocado en el local adyacente al ambiente donde el incendio ya está presente podría inflamarse y provocar otro incendio por efecto del recalentamiento o como consecuencia del derrumbe de las paredes o bien a causa del efecto de los gases incandescentes que podrían filtrar por las fisuras, de la caída de una pared o de una puerta que podría poner en plena comunicación los dos ambientes adyacentes. La resistencia de las estructuras al fuego se identifica generalmente con la sigla REI, donde los símbolos tienen estos significados:

- R = estabilidad o sea, la tendencia de un elemento de la construcción a conservar la resistencia mecánica en presencia de la acción del fuego
- E = hermeticidad o sea, la tendencia de un elemento de la construcción a no producir o a no dejar pasar, en presencia de la acción del fuego, vapores o gases calientes en el lado no expuesto
- I = aislamiento térmico o sea, la tendencia de un elemento de la construcción a reducir la transmisión del calor dentro de un cierto límite.

Estos parámetros se detectan y se consideran en la prueba de resistencia al fuego ISO 834. En este test, el elemento que se ha de examinar se monta de tal forma que se construye una pared o parte de una pared o techo de un ambiente, en cuyo interior se han colocado los quemadores que aumentan la temperatura interna según el gráfico y la tabla de la página siguiente (Tabla 3).

Es interesante analizar, en función del tiempo t [min], la curva de aumento de la temperatura $T - T_0$, donde T es la temperatura promedio del horno de prueba descrito en la norma internacional ISO 834. La relación matemática que se hace evidente es la siguiente:

$$T [^{\circ}\text{C}] = 345 \log_{10} (8^* t_{min} + 1) + 20 \quad \text{e } T_0 = 20 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

La tabla indica, a título de ejemplo, las temperaturas promedio del horno definidas por la norma internacional arriba mencionada, ISO 834.

3.1 Definición

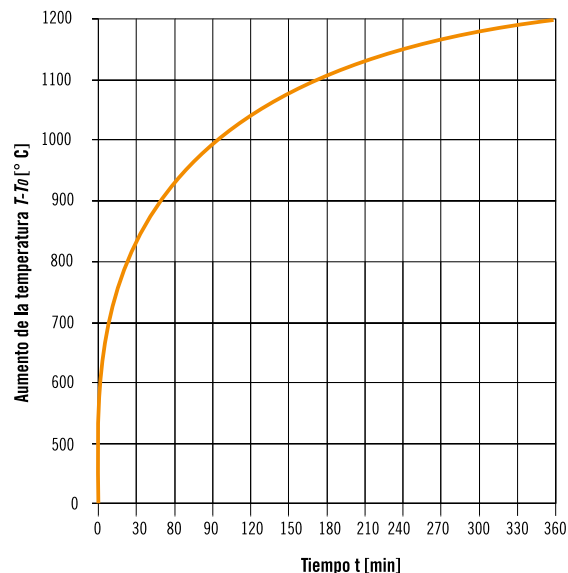


Tabla 3 - Curva de aumento de la temperatura media del horno de prueba

A menudo, aun recientemente, se ha creado cierta confusión a causa del uso ambiguo de la locución “material resistente al fuego” por la tardía caracterización de la disciplina de la reacción al fuego de los materiales. Estas ambigüedades ahora se han superado y el término “resistente al fuego” debe entenderse únicamente como referido a los elementos estructurales “de sostén y/o de división.” Como los conductos de ventilación y calefacción no son considerados como elementos estructurales y como no delimitan ni separan ningún ambiente no están sujetos a ningún vínculo relacionado con las características de resistencia al fuego. Solamente en lo que respecta al hecho de que atraviesan estructuras divisorias como las paredes anti-incendio de deben utilizar compuertas contra el fuego y estructuras resistentes al fuego (Fig. 4). Se sabe, en efecto, que si cualquier tipo de conducto atraviesa la “zona de la escalera o la zona del ascensor” o los “locales expuestos al peligro de incendio, de explosión y de estallido” o “salidas” el hecho de atravesar estos



Fig. 4 - Compuerta anti-incendio

locales puede ser admitido si los conductos están encerrados en otras estructuras resistentes al fuego de clase generalmente por lo menos equivalente a la del ambiente que atraviesan. La resistencia al fuego de un artículo, si no se especifica otra cosa, indica generalmente el más bajo entre los valores de “estabilidad”, “hermeticidad” y “aislamiento térmico” determinados por la manifestación de los siguientes fenómenos:

- pasaje de fuego y humo, que determina el valor temporal de la “hermeticidad a los gases y a las llamas”;
- temperatura media de 150 °C en el lado opuesto al de la exposición al fuego o un pico local de 180 °C en dicha superficie; se determina así el valor temporal del “aislamiento térmico”;
- pérdida de estabilidad y/o derrumbes o hundimientos que determinen el valor temporal de la “resistencia y estabilidad”;

3.2 Normativas nacionales e internacionales

Los métodos de prueba para determinar la resistencia al fuego de las estructuras son bastante similares casi en todo el mundo; difieren entre si solamente en las letras que convencionalmente acompañan a los números que indican la resistencia temporal. A título de ejemplo, en Italia la sigla “REI 30” indica que durante los primeros 30 minutos se garantizan la “resistencia y estabilidad R”, la “hermeticidad a los gases y a las llamas E” y el “aislamiento térmico I” de un artículo que, por hipótesis, es R90, E60, I30. Los artículos con resistencia al fuego inferior a los 15 (quince) minutos se consideran “NO resistentes al fuego”. Todo lo que hemos expuesto demuestra, además, que los conductos para ventilación y calefacción, cuando están fabricados en chapa de acero no son de ninguna forma “resistentes” al fuego. Es más, a causa de su elevada conductividad térmica, una chapa metálica no alcanzaría ni siquiera los 3 (tres) minutos de resistencia al fuego. Una cosa análoga también sucede si los conductos metálicos tradicionales están aislados con materiales esponjosos o fibrosos de clase uno, y aun utilizando aislamientos con materiales fibrosos no combustibles (resistencia al fuego en el orden de 10 minutos).

4 Potencial del incendio

El potencial del incendio, que constituye uno de los principios fundamentales de la resistencia al fuego, cuantifica **la magnitud de calor que el conjunto de los materiales combustibles presentes en un ambiente podría llegar a desarrollar**. Este valor, generalmente expresado en relación con el metro cuadrado de superficie o con el metro cúbico de volumen, depende del poder calorífico superior de los materiales presentes y de la cantidad en que están presentes.

Por ejemplo, un almacén que contiene exclusivamente azulejos de cerámica y ladrillos de vidrio no necesita protección que sea particularmente resistente al fuego, siendo casi nula la cantidad de material combustible que se halla presente.

Al contrario, el mismo almacén pero utilizado para depositar materiales textiles necesita no sólo protecciones particularmente resistentes al fuego, sino eficaces instalaciones de eliminación de exhalaciones (tóxicas y oscuras) que las fibras textiles, naturales y sintéticas despiden en grandes cantidades si entran en combustión.

Los conductos para la ventilación y calefacción P3ductal, constituidos por una parte central fina y ligera de material aislante de poliuretano (revestido con películas de aluminio), además de estar libres del riesgo de iniciar y de propagar un incendio, ni siquiera contribuyen de forma significativa al aumento del potencial del incendio de un ambiente.

Hagamos un primer ejemplo numéricamente concreto considerando, en un grande almacén para ropa, una sala con planta de 10 m x 10 m equivalentes a 100 m² atravesada por un conducto de sección neta de 50 cm x 50 cm, más que suficiente para las necesidades de la instalación y del ambiente:

- por cada metro de conducto se utilizan 2,08 m² de poliuretano de 20 mm de espesor. Un conducto de 10 m de largo requiere un volumen de poliuretano equivalente a unos 0,416 m³;
- con un peso específico de aproximadamente 50 kg/m³ y un poder calorífico superior de unos 6.000 kcal/kg el conducto contribuye al potencial del incendio de la sala con 1.248 kcal/m² de sala;
- como el potencial de incendio típico de un ambiente de este tipo está normalmente en el orden de 240.000 ÷ 360.000 kcal/m², el componente aislante de un conducto P3ductal incide en el potencial del incendio en menos del 0,5%;
- este porcentaje es bastante menor del que corresponde al margen de error con el cual se determinan las cantidades de mercadería combustible presente y no es ni siquiera significativa a los efectos de las disposiciones de resistencia al fuego de las compartimentaciones.

Como segundo ejemplo, consideremos ahora una pequeña habitación de hotel de 4,5 m x 3,5 m, que equivalen a 15,75 m² con un típico valor de potencial del incendio equivalente de aprox. 100.000 kcal/m². Un conducto P3ductal de sección libre de 25 cm x 25 cm, contribuye con un aporte al potencial del incendio que no supera el 2%; en efecto 4 lados del conducto de (25+2) cm, multiplicados por 4,5 m de longitud, por 0,020 m de espesor, por un peso específico de 50 kg/m³, por 6.000 kcal/kg, divididos por los 15,75 m² de la habitación, dan aproximadamente 1.815 kcal/m², valor inferior al 2% de un valor del potencial del incendio de 100.000 kcal/m².

Por tanto, aun desde este punto de vista los conductos P3ductal contribuyen a mejorar el nivel de seguridad global de un edificio.

Como ya ha sido descrito en la sección en que tratamos de forma general el argumento de la combustión, durante un incendio las moléculas de una sustancia combustible se combinan, en virtud del proceso de oxidación, con las moléculas de oxígeno presentes en el aire (sustancia comburente).

Las sustancias combustibles más comunes están caracterizadas por un considerable contenido de carbono. Cuando se produce la combustión, se despiden en el ambiente sustancias como el óxido de carbono y el anhídrido carbónico.

Sin embargo, no es posible identificar a priori todas las sustancias desarrolladas durante el incendio porque éstas dependen directamente de los elementos que se queman y de las condiciones en que la combustión se produce. De todos modos, son frecuentes, además de las que ya hemos mencionado más arriba, el ácido clorhídrico, el ácido nítrico y el fosgene. Todos estos gases ejercitan en el hombre una acción irritante y en ciertos casos aun efectos mucho más graves. No se debe dejar de lado tampoco la producción de exhalaciones (que, a diferencia de los gases están compuestas por partículas sólidas finísimas dispersas en el ambiente de la corriente de aire y de los círculos de gases calientes) que tiene en las personas evidentes efectos de irritación, empañamiento de la vista y desorientación.

La generación de gas y de exhalaciones asume fundamental importancia porque la mayor parte de los daños en las víctimas y en los heridos de un incendio están causados no tanto por las quemaduras de las llamas o por el derrumbe de las estructuras, como por la intoxicación y por el pánico provocado por estos productos de la combustión que rápidamente invaden todos los ambientes, aun aquéllos donde no hay llamas.

Por este motivo, en estos últimos años, especialmente en los medios de transporte público como los aviones, trenes e hidroalas y barcos de alta velocidad (donde no se puede prestar socorro muy rápidamente y donde el volumen de los ambientes es extremadamente limitado y, para peor, las personas no pueden abandonar tales medios sin exponerse a gravísimos riesgos) se ha prestado muchísima atención a la caracterización de los materiales empleados desde el punto de vista de la limitada tendencia a producir gases tóxicos y opacos.

También en este caso, sin embargo, los métodos de prueba y clasificación son numerosísimos y difieren no solamente entre un país y otro sino también entre los distintos sectores en que se emplean.

Actualmente, las normas más usadas son las disposiciones Francesas AFNOR en el campo ferroviario, las Americanas FAR o las Europeas AIRBUS en campo aeronáutico; mientras que en campo marítimo se aplican éstas y otras normas más. De todos modos, como demostración del extremo peligro de las exhalaciones de la combustión, todos estos métodos de prueba toman en consideración fundamentalmente los primeros minutos del desarrollo de un incendio (generalmente solamente cuatro) pues se sostiene que después de este período, la cantidad y la calidad de los gases es producidos por cualquier material combustible son de todas formas tan inhabilitantes que provocan desmayos y serio peligro de muerte en las personas que aún no se hayan puesto a salvo o en quien no esté protegido de alguna forma.

Visto el considerable esfuerzo tecnológico que está a la base de la fabricación de materiales con buenas características relacionadas con la toxicidad y la opacidad de los gases de la combustión, por muchos años se razonó siguiendo el criterio (no siempre correcto) que “lo que arde no produce humo” y, por lo tanto, por muchos años estas características han sido descuidadas (en favor de las características de reacción al fuego) tanto por los legisladores como por los redactores de las especificaciones técnicas para el suministro de materiales.

Otro punto de referencia es la norma Inglesa reglamentada por el test NES 713, a su vez utilizado para determinar la toxicidad de las exhalaciones de la combustión.

Antes de la uniformación de la normativa a nivel Europeo, cada nación presentaba una disciplina propia en el campo del “fuego”.

En cuanto al Reino Unido, la norma técnica de referencia es la BS476 partes 6 y 7.

6.1 Reino Unido

La parte 6 reglamenta el método de prueba para la propagación del fuego.

La parte 7 reglamenta el método de prueba para la medición de la propagación de la llama lateral a lo largo de la superficie de un producto.

Se establecen 5 clases que van de la 0 (la mejor) hasta la 4 (la peor).

En Alemania, el comportamiento ante el fuego de los materiales está reglamentado por la norma DIN 4102 – Parte 1, que define las siguientes clases:

6.2 Alemania

DIN 4102 A: materiales que no se inflaman, o sea materiales no inflamables.

DIN 4102 B: materiales que se inflaman

La clase B (de autoextinción) está subdividida además en:

B1 difícilmente inflamables, con alto poder de autoextinción;

B2 normalmente inflamables, con propiedades de autoextinción;

B3 fácilmente inflamables.

El material se somete a una prueba con una pequeña llama (B2) y en un horno. Si no pasa la prueba B2, automáticamente se le asigna la última clase (B3).

En Francia, la norma de referencia es la AFNORM NFP 92-501. El test prevé la utilización de un “Epiradiateur” con presencia simultánea presencia de una llama y calor generado por un panel radiante.

6.3 Francia

De esta forma, se identifican 6 clases: la clase M0 es la mejor (materiales no combustibles como, por ejemplo, los materiales inorgánicos en general) mientras la clase M5 es la peor.

La prueba más severa en este caso es la que está relacionada con la autoextinción Classement M1 seguido por el Classement M2 (ambos aceptados para las partes estructurales, el segundo para las partes complementarias).

M0 - material no-combustible (principalmente materiales inorgánicos).

M1 - material no inflamable.

M2 - material de bajo grado de inflamabilidad.

M3 - material moderadamente inflamable.

M4 - material altamente inflamable.

M5 - material extremadamente inflamable.

6.4 Italia

La normativa Italiana es particularmente complicada.

La disposición legislativa de referencia es el Decr. Minisit. del 26 de junio de 1984 (modificado posteriormente e integrado por el decreto del 3 de Septiembre de 2001).

Como muestra el artículo 1, dicho decreto tiene el objetivo de establecer las normas, los criterios y los procedimientos para la clasificación de reacción al fuego y la homologación de los materiales en relación con la prevención de incendios.

Los métodos de prueba para la determinación de la clase de reacción al fuego establecidas por la norma son:

- **UNI ISO 1182** Pruebas con fuego - Productos edilicios - Pruebas de no combustibilidad;
- **UNI 8456** Materiales combustibles susceptibles de ser atacados por la llama en ambos lados. Reacción al fuego mediante la aplicación de una pequeña llama;
- **UNI 8457 y UNI 8457/A1** Materiales combustibles susceptibles de ser atacados por la llama en un solo lado - Reacción al fuego mediante la aplicación de una pequeña llama (fig. 5);
- **UNI 9174 y UNI 9174/A1** Reacción al fuego de los materiales sometidos a la acción de una llama de encendido en presencia de calor radiante (fig. 6);
- **UNI 9175 y UNI 9175/A1** Reacción al fuego de muebles con acolchado sometidos a la acción de una pequeña llama.

En cuanto a los conductos para la circulación del aire acondicionado, las pruebas relevantes son la UNI 8457, la UNI 9174 y la UNI ISO 1182.

Como ha hemos analizado anteriormente, las pruebas que establece la norma UNI 8457 tienden a evaluar, en el contexto de un simulacro de la acción de una llama de encendido, la reacción al fuego en condiciones de encendido de un incendio.

La norma UNI 9174, por medio de la utilización de una llama y de una plancha radiante tiende, en cambio, a crear las condiciones típicas del incendio en fase de desarrollo. Por último,



Fig. 5 - Test con llama de encendido según la UNI 8457



Fig. 6 - Test con llama y panel radiante según UNI 9174

la norma UNI ISO 1182 verifica la no combustibilidad del material.

En general, la norma Italiana tiene como propósito atribuir, en base a los resultados de estas pruebas, una clase de reacción al fuego identificada con un número de 1 a 5 (identificando con el número más bajo el material que muestra un menor grado de participación en el incendio).

La clase 0 se atribuye cuando también se pasa el test de incombustibilidad según la norma UNI 1182. La ley identifica algunos tipos de materiales, como el metal, a los cuales se atribuye por convención y sin necesidad de prueba la clase 0.

Especial atención se les debe prestar sin duda a los sistemas de conductos para el manejo del aire.

La constante evolución de los materiales utilizados para el aislamiento y de la tecnología en general, ha llevado a las autoridades legislativas hacia una posición diferenciada entre los materiales homogéneos y los materiales compuestos.

Para éstos últimos (entre los cuales está P3ductal) la clasificación es doble, es decir que está definida por la combinación de dos números que respectivamente identifican la clase de reacción al fuego del producto terminado y la clase solamente del componente aislante.

7.1 Las siete euroclases

El método comprende 7 clases de reacción al fuego identificadas por letras en orden alfabético creciente.

Más precisamente, con las letras:

- A1 y A2 se identifican los materiales inorgánicos no combustibles
- B-C-D-E se identifican los materiales combustibles que presentan distintas características de reacción al fuego
- F se identifican los materiales combustibles de los cuales no se determina la reacción al fuego.

La metodología de prueba examina el comportamiento ante el fuego del material por medio del monitoreo de los siguientes parámetros:

- aumento de la temperatura
- duración del incendio
- porcentaje de incremento del incendio
- propagación del fuego
- pérdida de masa
- potencial calorífico bruto
- fuga total de calor
- goteo y opacidad de las exhalaciones

La Gaceta Europea del 23-2-2000 presenta detalladamente en un adjunto la siguiente tabla de clasificación.

Clases de reacción a la acción del incendio para los productos para la construcción (excluyendo los pisos)

Clase	Método de prueba	Criterios de clasificación	Clasificación adicional
A1	EN ISO 1182	$\Delta t \leq 30 \text{ }^\circ\text{C}$ $\Delta m \leq 50\%$ $t_f = 0$ (incendio no persistente)	-
	EN ISO 1716	$\text{PCS} \leq 2,0 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ (1) $\text{PCS} \leq 2,0 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ (2) $\text{PCS} \leq 1,4 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-2}$ (3) $\text{PCS} \leq 2,0 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ (4)	-
A2	EN ISO 1182	$\Delta t \leq 50 \text{ }^\circ\text{C}$ $\Delta m \leq 50\%$ $t_f \leq 20 \text{ s}$	-
	EN ISO 1716	$\text{PCS} \leq 3,0 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ (1) $\text{PCS} \leq 4,0 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ (2) $\text{PCS} \leq 4,0 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-2}$ (3) $\text{PCS} \leq 3,0 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ (4)	Producción de humo (5) gotas/partículas encendidas (6)
	EN 13823 (SBI)	$\text{FIGRA} \leq 120 \text{ W}\cdot\text{s}^{-1}$ $\text{LFS} < \text{margen de la muestra}$ $\text{THR}_{600\text{s}} \leq 7,5 \text{ MJ}$	Producción de humo (5) gotas/partículas encendidas (6)

B	EN 13823 (SBI)	FIGRA $\leq 120 \text{ W}\cdot\text{s}^{-1}$ LFS < margen de la muestra THR _{600s} $\leq 7,5 \text{ MJ}$	Producción de humo (5) gotas/partículas encendidas (6)
	EN ISO 11925-2 (8) exposición 30 s	Fs $\leq 150 \text{ mm}$ entro 60 s	Producción de humo (5) gotas/partículas encendidas (6)
C	EN 13823 (SBI)	FIGRA $\leq 250 \text{ W}\cdot\text{s}^{-1}$ LFS < margen de la muestra THR _{600s} $\leq 15 \text{ MJ}$	Producción de humo (5) gotas/partículas encendidas (6)
	EN ISO 11925-2 (8) exposición 30 s	Fs $\leq 150 \text{ mm}$ entro 60 s	Producción de humo (5) gotas/partículas encendidas (6)
D	EN 13823 (SBI)	FIGRA $\leq 750 \text{ W}\cdot\text{s}^{-1}$	Producción de humo (5) gotas/partículas encendidas (6)
	EN ISO 11925-2 (8) exposición 30 s	Fs $\leq 150 \text{ mm}$ entro 60 s	Producción de humo (5) gotas/partículas encendidas (6)
E	EN ISO 11925-2 (8) exposición 15 s	Fs $\leq 150 \text{ mm}$ entro 20 s	gotas/partículas encendidas (7) gotas/partículas encendidas (6)
F	reacción no determinada		

Símbolos empleados

ΔT	aumento de la temperatura
Δm	pérdida de masa
t_f	duración del incendio
PCS	potencial calorífico bruto
FIGRA	porcentaje de incremento del incendio
THR _{600s}	fuga total de calor
LFS	propagación lateral del fuego
SMOGRA	porcentaje de incremento del humo
TSP _{600s}	producción total de humo
Fs	propagación del fuego

Notas

- (1) para productos homogéneos y los componentes principales de productos no homogéneos
- (2) para cualquier componente externo no fundamental de productos no homogéneos
- (3) para cualquier componente interno no fundamental de productos no homogéneos
- (4) para el producto, en forma global
- (5) $s1 = \text{SMOGRA} \leq 30 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ e $\text{TSP}_{600s} \leq 50 \text{ m}^2$
 $s2 = \text{SMOGRA} \leq 180 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ e $\text{TSP}_{600s} \leq 200 \text{ m}^2$
 $s3$ non $s1$ o $s2$
- (6) d0 = ausencia de gotas /partículas encendidas en EN 13823 (SBI) en un lapso de 600s
d1 = ausencia de gotas /partículas encendidas de duración superior a 10 s en EN 13823 (SBI) en un lapso de 600s d2 no d0 o d1 - la combustión del papel en EN ISO 11925-2 da lugar a una clasificación en d2
- (7) aprobación de la prueba = ausencia de combustión del papel (no clasificado).
No aprobación de la prueba = combustión del papel (clasificado en d2)
- (8) Cuando las llamas atacan la superficie y, si es apropiado para las condiciones finales de aplicación del producto, la parte lateral de un objeto.



Fig. 7 - El test SBI P3ductal.

La falta de una coordinación clara y de una uniformidad entre las distintas normativas internacionales, ha llevado a la Comisión Europea a identificar métodos propios de prueba y clasificación de la reacción al fuego de los materiales. Ya a principios de los años '90, la Comisión Europea, con el sostén del grupo "Group of National Fire Regulators" había tratado de dar un paso adelante en este ámbito, proponiendo un sistema de clasificación basado tanto en los métodos de prueba ya existentes como en métodos nuevos, entre los cuales el que se denomina "Single Burning Item Test". Adelantándose a la normativa Europea, P3 ya procedió a efectuar estas pruebas directamente en los paneles.

7.2 S.B.I. Single Burning Item

8 Room Corner Test

8.1 Estudios sobre los conductos para el manejo y transporte del aire

Tanto la metodología de las distintas pruebas que establece la normativa Italiana como el test SBI, simulan un escenario ambiental de pequeña o media escala y, por tanto, no se pueden recrear las condiciones de un verdadero incendio. Para aumentar la fiabilidad de los resultados de estas técnicas de evaluación se tiende a combinar dichos resultados con los que se obtienen con particulares [pruebas de grande escala](#).

En esta categoría, el test de referencia es el que se denomina [room corner test \(ISO 9705\)](#). Concentrando la atención en las pruebas que corresponden a los conductos para la difusión del aire, es seguramente interesante evaluar los distintos resultados que muestran los conductos en aluminio preaislado y los conductos en chapa galvanizada revestida con lana de vidrio sometidos a esta metodología de prueba tan particular y selectiva.

8.2 La elección del modelo de incendio

Esta prueba, que se puede efectuar solamente en laboratorios especiales y gracias al auxilio de un quemador por difusión colocado en un rincón opuesto a la puerta de entrada, llega a replicar (en temperatura y duración) las condiciones reales de un incendio en una habitación de 2,4 metros por 3,6 metros con 2,4 metros de altura.

La ubicación angular del quemador, que llega a generar 300 kW, permite una reconstrucción fiel de la situación ambiental.

El conducto que se somete a la prueba, se instala en dos lados contiguos de la habitación, o sea [creando así una conformación a curva](#) (Fig. 8).

Los conductos para la circulación del aire acondicionado, en efecto, están ubicados generalmente siguiendo el perímetro de las paredes o, en caso de que los conductos atraviesen los locales, se colocan suspendidos en el cielorraso con sostenes especiales.

Esta disposición para la instalación hace posible que, en caso de incendio, los conductos sean atacados por las llamas de forma directa o lateral. A esto, sin embargo, se deben agregar las consecuencias de la nube de exhalaciones calientes que se acumulan en la zona del cielorraso.

[El room corner test prevé un simulacro de dos ataques térmicos](#) que gradualmente aumentan de grado de severidad. El primer paso es con la utilización del quemador de 100 kW por 10



Fig. 8 - La conformación de la sala para el Room Corner Test

minutos con el propósito de crear la condición típica de un incendio en fase de desarrollo; por otros 10 minutos, se levanta la potencia aplicada hasta un valor de 300 kW, de forma que se cree la situación ambiental de un incendio generalizado.

Así, el incendio provocado lleva a las condiciones de pirólisis al material combustible de los conductos (el aislante en el caso de los conductos en aluminio preaislado, el agente colante y el revestimiento externo en el caso de los conductos de chapa aislados con lana de vidrio).



Fig. 9 - Simulacro de incendio con el "room corner test"

Uno de los resultados más importantes del "room corner test", precisamente, está relacionado con la verificación de cómo el deterioro de estos materiales incide en el incendio tanto desde el punto de vista de la propagación en los mismos conductos como desde el punto de vista del daño que se produce en ellos y de la consiguiente infiltración de gases nocivos en el sistema de conductos para el aire.

Este deterioro, o sea la medición de la propagación del incendio en los conductos, resulta ser particularmente difícil por la conformación del canal del conducto y del ambiente de prueba.

Se puede superar esta dificultad realizando mediciones instrumentales de las exhalaciones recogidas por un sistema especial de aspiración (capa y conducto de escape). Esta medición se concentra en los porcentajes de oxígeno, de anhídrido carbónico y óxido de carbono, en la temperatura y en la capacidad de las exhalaciones además de la transmitancia óptica de dichas exhalaciones.

Se puede efectuar, por lo tanto, la medición del índice **SPR (Smoke Production Rate)** con la que se puede cuantificar el humo producido y del índice **RHR (Rate of Heat Release)** con el que se puede cuantificar el calor relacionado con los efectos de la combustión y, por ende, con la participación de los conductos en el incendio.

El índice RHR se calcula con la siguiente ecuación:

$$RHR = E \cdot V_{298}(t) \cdot x_{a,O_2} \cdot \left(\frac{\int_0^{\infty} \phi(t)}{1 + 0,105 \cdot \phi(t)} \right)$$

con:

$$V_{298}(t) = c \cdot A \cdot \frac{K_1}{K_2} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p(t)}{T_{ms}(t)}}$$

$$x_{a,O_2} = x_{O_2}^a \cdot \left[1 - \frac{H}{100 \cdot p} \cdot \exp \left(23,2 - \frac{31816}{T_a - 46} \right) \right]$$

$$\phi(t) = \frac{x_{O_2}^a \cdot (1 - x_{CO_2}(t)) - x_{O_2}(t) \cdot (1 - x_{CO_2}^a)}{x_{O_2}^a \cdot (1 - x_{CO_2}(t)) - x_{O_2}(t)}$$

8.3 La medición de la propagación del incendio en los conductos

Una vez determinado el índice RHR se puede proceder con el cálculo del **calor desarrollado en su totalidad durante el test**, o sea el índice **THE (Total Heat Evolved)**.

El cálculo se puede efectuar por medio de esta ecuación:

$$THE = \int_{t_0}^{t_f} RHR \cdot dt$$

Para calcular el arriba mencionado índice SPR correspondiente a la cantidad de exhalaciones producidas, se puede emplear la ecuación que mencionamos a continuación:

$$SPR = \frac{V(t)}{L} \ln \left(\frac{I_0}{I(t)} \right)$$

con

$$SPR = V_{298}(t) \frac{T_{ms}}{298}$$

Estos cálculos permiten evaluar la cantidad de humo producida en su totalidad durante el test, es decir el índice TSP (Total Smoke Production):

$$TSP = \int_{t_0}^{t_f} SPR \cdot dt$$

Símbolos empleados

RHR	potencia generada por la combustión (kW)	K_1	factor de perfil de las velocidades
$x_{a_{O_2}}$	fracción molar del oxígeno sobre base seca sin el quemador encendido	$V(t)$	caudal de volumen de las exhalaciones de escape (m ³ /s)
E	calor despedido por unidad de volumen de oxígeno consumido (Kj/m ³)	K_2	factor de corrección de Reynolds (=1,08 para el tubo bidireccional)
H	humedad relativa (%)	L	camino libre de la luz (distancia entre emisor y receptor en m)
$V_{298}(t)$	caudal de volumen de las exhalaciones de escape a 298 K (m ³ /s)	$\Delta p(t)$	presión cinética leída por medio del elemento sensible (Pa)
p	presión barométrica (Pa)	I_0	intensidad de la señal luminosa en ausencia de exhalaciones (%)
$x_{a_{O_2}}$	fracción molar del oxígeno en el aire sobre base húmeda	$T_{ms}(t)$	temperatura de los gases de escape leída en la sección de medición (K)
T_a	temperatura ambiente (K)	$I(t)$	intensidad de la señal luminosa en presencia de exhalaciones (%)
$\phi(t)$	factor de consumo de oxígeno	THE	cantidad de calor liberada durante la combustión (MJ)
$x_{CO_2}^a$	fracción molar de CO2 del aire sobre base seca sin el quemador encendido	SPR	cantidad de humo producido en la unidad de tiempo (m ² /s)
c	coeficiente = 22,4 (K ^{0,5} m ^{1,5} kg ^{-0,5})	t_0	instante del comienzo de la prueba (s)
$x_{CO_2}(t)$	fracción molar de CO2 en las exhalaciones de escape sobre base seca	TSP	cantidad de humo producido durante la combustión (m ²)
A	área de sección del conducto de escape (m ²)	t_f	instante del final de la prueba (s)
x_{O_2}	fracción molar de O ₂ en las exhalaciones de escape sobre base seca		

Uno de los riesgos que puede presentarse para el sistema de conductos para el aire en caso de incendio consiste en la posibilidad de que se mezclen el aire acondicionado (distribuido también en los ambientes que no hayan sido atacados por las llamas) y las exhalaciones producidas por la combustión.

Recurriendo al “room corner test” es difícil, a menos que no se produzcan desmoronamientos estructurales muy evidentes, llegar a evaluar el grado de integridad de los conductos.

De todos modos, es posible recurrir a las mediciones indirectas introduciendo, en el interior y el exterior del conducto, pares eléctricos que monitoreen constantemente la temperatura.

Esto permite controlar los posibles derrumbes pues como consecuencia directa de este fenómeno, es decir de la posición modificada con respecto a las llamas y de la mezcla diferente entre las exhalaciones de la combustión y el aire fresco transportado por los conductos, se produce inmediatamente una variación importante de la distribución de las temperaturas con un consiguiente aumento de la temperatura interna.



Fig. 10 - Detalle del sistema de ventilación

El conducto en chapa fue instalado según la norma técnica UNI 10376, obteniendo un conducto o tubería con sección rectangular con dimensiones de 30x40 cm y con un espesor de 0,8 mm.

Además, el conducto de chapa fue aislado con un estrato de lana de vidrio revestido con papel “craft” combinado con un estrato fino de aluminio (Fig. 12).



Fig. 11 - Instalación del conducto en aluminio pre-aislado P3ductal



Fig. 12 - Instalación del canal en chapa galvanizada revestida con lana de vidrio

8.4 La medición de la infiltración de las exhalaciones en los conductos para el aire

8.5 Los conductos examinados

P3 ha examinado sus propios conductos fabricados con paneles P3ductal según el procedimiento del “room corner test”.

Así, se han examinado y luego se han comparado los distintos comportamientos ante el fuego tanto de los conductos en aluminio preaislado como de los conductos en chapa aislada con lana de vidrio.

El conducto de aluminio preaislado se fabricó utilizando paneles “sandwich” P3ductal de poliuretano expandido revestido con láminas de aluminio de un espesor de 80 μ m con clase de reacción al fuego 0-1. La sección de conducto obtenida era de 30x40 cm (Fig. 11).

Los dos troncos del conducto fueron instalados con tres pares de sostenes en el cielorraso dejando una distancia de 10 cm tanto de la parte de la pared como del lado del cielorraso. En la extremidad de los conductos se instaló una compuerta de cierre para detener el flujo del aire acondicionado en caso en que se alcanzara una temperatura de las exhalaciones superior a 70° C (Fig. 13).



Fig. 13 - Detalle de la compuerta

8.6 Los procedimientos de prueba

El “room corner test” efectuado en los conductos P3ductal y en los conductos en chapa galvanizada fue llevado a cabo en el laboratorio LSF de Montano Lucino (provincia de Como) siguiendo el procedimiento que indicamos a continuación:

1. Regulación de l caudal de aire del sistema de escape (2,5 m3/s) y de los conductos por examinar (0,24 m3/s)
2. Encendido del sistema de adquisición de datos y verificación funcional de los sensores
3. Identificación de los niveles iniciales registrando los valores para los primeros 120 segundos de prueba de todas las señales provenientes de la sección de medición y de los pares eléctricos distribuidos en el interior del local de prueba
4. Encendido del quemador a difusión y regulación del caudal a 100 kW
5. Registro de los datos por 10 minutos (de 120 a 720 s) a 100 kW
6. Aumento de la potencia del quemador a 300 kW
7. Registro de datos por otros 10 minutos (de 720 s a 1320 s) a 300 kW
8. Apagado del quemador
9. Registro de datos por otros 2 minutos (de 1320 s a 1440 s)
10. Salvado de los datos

8.7 Los resultados

Como el procedimiento ya demostró, cuando se efectúa el “room corner test” aplicado a los conductos para la difusión del aire se simularon dos ataques térmicos para poder crear respectivamente las condiciones de incendio en fase de desarrollo y de un incendio generalizado.

Ataque térmico en los primeros 10 minutos (quemador a 100 kW - incendio en fase de desarrollo)

Los conductos P3ductal reaccionan bien a pesar de que las llamas toquen en varios momentos tanto las superficies inferiores como las superficies laterales. Aunque la temperatura sobre el conducto supere los 400 °C, en el interior del conducto ésta resulta no tener casi variaciones. El índice RHR de producción de calor no supera los 35 kW, mientras que la cantidad de calor liberada durante la combustión (índice THE) se asesta aproximadamente en la región de los 8,7 MJ (7,7 MJ en el caso del segundo test). Cuando se produce la localización de la pirólisis únicamente en las zonas afectadas directamente por las



Fig. 14 - Ataque térmico a 100 kW (incendio en desarrollo)

llamas y también gracias a las limitadas reacciones de oxidación, la producción de humo resulta ser ciertamente aceptable.

En el caso del **conducto en chapa**, la producción de calor alcanza los 23 kW mientras que el calor desarrollado es de 5 MJ.

Esto demuestra que, a pesar de la clase de reacción al fuego 0 de la chapa, el **material aislante participa en la difusión del incendio**. En efecto, se produce una propagación de la llama en la superficie del revestimiento de papel y aluminio, además, por supuesto, de la pirólisis del colante agregado a la lana de vidrio.

Ataque térmico en los segundos 10 minutos (quemador a 300 kW - incendio generalizado)

En esta fase (Fig. 15), alrededor de la curva del **conducto P3ductal** la temperatura supera los 700 °C mientras que en el interior describe solamente un ligero aumento llegando aproximadamente a la región de los 80 °C en el punto de mayor estrés térmico. La temperatura promedio se mantiene, de todas formas, por debajo de los 70 °C.



Fig. 15 - Ataque térmico a 300 kW (incendio generalizado)

De esta forma, se demuestra que la **infiltración de los gases de escape en el aire acondicionado está prácticamente ausente**.

El índice RHR llega a tocar un pico después de unos 840 segundos de prueba, alcanzando el máximo valor aproximadamente a 311 kW. El índice THE está contenido entro los 57 MJ (en el segundo test 50 MJ).

A pesar de esto, una parte del aislamiento, de todas formas participa en el incendio y se carboniza.

De todos modos, **la contribución del conducto P3ductal a la combustión se reduce 1/3 después de 100 segundos, y permanece constante hasta el final del test**. El fenómeno, en efecto, queda confinado solamente a la parte que está alrededor de la curva, es decir donde las condiciones de prueba son verdaderamente prohibitivas en todo el lapso de duración de la prueba.

En el caso de los **conductos en chapa** la temperatura en el interior de la sección alcanza los 70 °C con una generación de calor que está alrededor de los 60 kW y un índice THE de unos 17 MJ.

Esto muestra que **hay una contribución al incendio importante** sobre todo en relación con la modesta cantidad de material combustible en la superficie.

En el caso del **conducto en chapa** también se nota una **notable propagación de la llama a lo largo de los conductos**.

En resumen, en la primera etapa de la prueba (100 kW) no se notan diferencias substanciales entre los dos tipos de conductos. Éstas se manifiestan, sin embargo, cuando las condiciones de prueba de hacen más severas.

Las principales diferencias se notan a nivel estructural. **Los conductos P3ductal, a diferencia de los conductos en chapa, no permiten la propagación del incendio limitando la combustión solamente a la zona que es atacada directamente por las llamas**. Es con esta ventaja que está conectado el aspecto de una mayor seguridad debida a la no propagación en el interior

de los conductos de las exhalaciones y de los gases nocivos (Fig. 16 y Fig. 17). La acción sinérgica de la conductividad térmica de las láminas de aluminio y de la formación de un estrato de poliuretano carbonizado (que constituye una buena barrera para la propagación del calor hacia el interior) y también la presencia del aire acondicionado fresco en el interior del conducto **permiten al conducto mantener elevadas las prestaciones funcionales.**



Fig. 16 - El conducto P3ductal muestra las consecuencias del incendio solamente en la parte afectada directamente por las llamas



Fig. 17 - El conducto en chapa muestra una importante participación en la difusión del incendio

Es empeño de P3: la calidad... siempre.

En una época donde calidad es sinónimo de progreso, P3 se empeña constantemente con el propósito de mejorar sus productos haciéndolos apropiados a las crecientes exigencias del mercado. El panel Piral HD



hydrotec
water formulated foams

Hydrotec representa el fruto de esta dedicación. El panel Piral HD Hydrotec, en efecto, es fabricado por P3 utilizando, en forma exclusiva en el mundo, la patente internacional EP 1115771 B1, que permite **identificarlo atribuyéndole la sigla ODP=0** (“ozone depletion potential” equivalente a cero), o sea que es inocuo para el ozono. La compatibilidad ambiental del panel Hydrotec se obtuvo por medio del **empleo del agua en el proceso de expansión de la espuma de poliuretano, en vez de los gases CFC o HCFC**, responsables de la destrucción del ozono en la atmósfera.

Conformidad del panel Hydrotec con la normativa Europea

De esta forma, P3 se adelantó no menos de tres años a la aplicación de la nueva normativa Europea acerca del uso de los gases CFC y HCFC, cuyo empleo para los poliuretanos rígidos PUR está prohibido por ley desde el 1 de enero de 2003. **El proceso de expansión con agua permite hacer que se anulen los valores de ODP y VOC** (emisión de sustancias orgánicas volátiles en la atmósfera durante la producción y la vida del panel) y **de hacer que sea insignificante el efecto invernadero o GWP** (“global warning potential”), el cual es equivalente a 0.

¡Hydrotec, tecnología innovadora!

Una vez que los gases de cloruro, como los cfc y los hcfc, alcanzan la atmósfera, son atacados por las radiaciones ultravioleta con la consiguiente emisión de radicales de cloro por fotodisociación. Posteriormente, el radical de cloro reacciona con el ozono y causa su destrucción. En la tecnología actual de expansión del poliuretano se aprovecha el calor de la reacción (exotérmica) entre el poliol



y el isocianato para hacer evaporar un líquido con un bajo punto de ebullición anteriormente colocado en la mezcla. Estos gases permanecen en gran parte atrapados en la estructura celular del polímero poliuretánico que se está formando. Con el pasar del tiempo, la composición del gas que se halla en las cámaras puede cambiar debido a la tendencia natural a buscar un equilibrio con el ambiente externo. Este proceso está influenciado de manera determinante por el tipo de revestimiento externo de la espuma y además por su densidad, por la temperatura de trabajo, por la fórmula, por el tipo de gas, etc. **Con la nueva tecnología P3, la expansión se obtiene solamente por medio del gas generado por la reacción entre el isocianato y el agua, siempre en base a la reacción entre poliol e isocianato con la consiguiente formación de la cadena poliuretánica.**

La calidad Hydrotec siempre vale la pena

La tecnología exclusiva del proceso de expansión con agua aplicada por la empresa P3, si bien por un lado permite obtener un panel eco-compatible y, por tanto, conforme con la normativa Europea en vigencia, por el otro **reduce notablemente los costos del producto, sin modificar las características fundamentales y las ventajas de los paneles P3**: por lo tanto, quedan sin modificación alguna con respecto a los paneles tradicionales de P3, la capacidad termoaislante $\lambda_{(10^\circ\text{C})} = 0,024 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$, la estabilidad de las dimensiones, la adhesión, la facilidad de trabajo así como el elevado porcentaje de cámaras cerradas. También queda sin variaciones la **reacción al fuego**, que con la clase 0-1 resulta estar entre las mejores según lo que prevé el Decr. Ministerial 26/6/84 acerca de la “clasificación de reacción al fuego y la homologación de los materiales para la prevención de los incendios”.

Este manual tiene como objetivo demostrar en qué manera la prevención de incendios adquiere fundamental importancia en el proyecto, diseño y en el uso correcto de las zonas públicas.

La prevención de incendios involucra todos los componentes empleados, entre los cuales también se cuentan los conductos para los sistemas de manejo del aire.

Desde un punto de vista internacional, los estándares en vigencia en todo el mundo son poco uniformes y homogéneos. Aunque a nivel Europeo haya habido una tendencia a uniformar esta situación, cada nación sigue teniendo estándares específicos que aplican parámetros funcionales y normas que a menudo son distintas.

Como ya hemos mencionado en este manual, el conducto P3ductal fue examinado voluntariamente según los distintos métodos de prueba usados en Francia, en Inglaterra y en Alemania. El conducto P3ductal, por lo tanto, garantiza un nivel extremadamente alto de seguridad en caso de incendio y está conforme con todos los requisitos del estándar Europeo SBI.

Es también gracias a los excelentes resultados obtenidos con el “Room Corner Test”, la única prueba en la que se observa el comportamiento de un conducto durante un incendio de gran magnitud, que podemos afirmar el indiscutiblemente alto rendimiento del conducto P3ductal.

Este rendimiento sobresaliente, por ejemplo en Italia, ha llevado a la redacción de nuevos estándares con los que se considera que la solución del conducto preaislado en aluminio es adecuada para todos los ambientes expuestos al peligro de incendio y donde la prevención sea indispensable.

Esto anuncia una nueva era para los proyectistas, los cuales pueden estar seguros que pueden confiar sin reserva alguna en los conductos P3ductal desde un punto de vista técnico y por la calidad y el alto nivel de seguridad que ofrecen.

- AA. VV. Prevenzione e rischio incendi
Rivista Poliuretano - Organo ufficiale ANPE - dicembre 2002
- Leonardi - Messa Condotte pre-isolate: cosa succede se dentro c'è il fuoco
Rivista Antincendio - n. 12 anno 2001

Reference standards

- EN ISO 13501-1 European standard; Fire classification of construction products and building elements – Part 1 – Classification using test data from reaction to fire tests.
- EN ISO 13823 European testing method; Reaction to fire tests for building products – Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a Single Burning Item.
- EN ISO 11925-2 European testing method; Reaction to fire tests for building products – Part 2 – ignitability when subjected to the direct impingement of flame.
- EN ISO 1182 European testing method; Non-combustibility test.
- EN ISO 1716 European testing method; Gross calorific potential test.
- D.M. 26/06/1984 Italian Ministerial Decree; Classificazione di reazione al fuoco ed omologazione ai fini della prevenzione incendi.
- UNI 8457, UNI 8457/A1 Italian testing method; Reazione al fuoco dei materiali che possono essere investiti da una piccola fiamma su una sola faccia.
- UNI 9174, UNI 9174/A1 Italian testing method; Reazione al fuoco dei materiali sottoposti all'azione di una fiamma d'innesco in presenza di calore radiante.
- D.M. 31/03/2003 Italian Ministerial Decree; Requisiti di reazione al fuoco dei materiali costituenti le condotte di distribuzione e ripresa dell'aria degli impianti di condizionamento e ripresa.
- BS476, part 6 British Standard; Test for the determination of fire propagation.
- BS476, part 7 British Standard; Test for the determination of the surface spread of flame of products.
- NES 713 British Naval Engineering Standard; Determination of smoke toxicity.
- ISO 9705 Room Corner Test.
- AFNOR NF-P 92-501 French standard; Réaction au feu des produits et d'aménagement (Association Française de Normalisation).
- AFNOR NF-F 16-101 French standard; Matériel roulant ferroviaire, Comportement au feu, Choix des matériaux.
- DIN 4102, part 1 German standard; DIN normen, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen



Note

A series of horizontal blue lines for writing notes, consisting of 30 lines.



P3 srl

Via Salvo D'Acquisto, 5

35010 Villafranca Padovana Loc. Ronchi (Padova - Italy)

Tel. + 39 049 90 70 301 - Fax + 39 049 90 70 302

p3italy@p3italy.it - www.p3italy.it



ISO 9001
ISO 10014
ISO 14001
OHSAS 18001
ISO 50001