

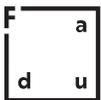
Manual de apoyo para el diseño, puesta en uso y mantenimiento de edificios seguros

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA.
COMISIÓN SECTORIAL DE ENSEÑANZA

Mariela Cervetto
Mariela Angerosa
Fernando Apa
Octavio Rocha

Mariela Cervetto • Mariela Angerosa
Fernando Apa y Octavio Rocha

Manual de apoyo para el diseño, puesta en uso y mantenimiento de edificios seguros



Facultad de Arquitectura,
Diseño y Urbanismo
UDELAR



comisión sectorial
de enseñanza



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Manual de apoyo para el diseño, puesta en uso y mantenimiento de edificios seguros /
Mariela Cervetto, Mariela Angerosa, Fernando Apa, Octavio Rocha. Montevideo: Universidad
de la República. Comisión Sectorial de Enseñanza, 2021.

164 p. (Manuales didácticos / Comisión Sectorial de Enseñanza)

ISBN: 978-9974-0-1842-6

PREVENCIÓN DE EDIFICIOS. 2 ACONDICIONAMIENTO DE EDIFICIOS.
I. Cervetto, Mariela. II. Angerosa, Mariela. III. Apa, Fernando. IV. Rocha, Octavio

CDD: 628.92

La publicación de este libro fue realizada con el apoyo de la Comisión Sectorial de Enseñanza (cse) de la Universidad de la República.



Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0, Cervetto, Mariela; Angerosa, Mariela; Apa, Fernando y Rocha, Octavio. [2021]. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/es/>

Comunicación y Publicaciones, cse, Udelar
José Enrique Rodó 1854. Montevideo CP 11200
Tels.: (+598) 2408 0912, (+598) 2408 2906
Telefax: (+598) 2409 77 20
www.cse.udelar.edu.uy
comunicacion@cse.udelar.edu.uy

Coordinación editorial: Vanesa Sanguinetti
Corrección de estilo: Matías Núñez Fernández
Diseño de tapa: Gabriela Pérez Caviglia
Diagramación: Levy Apolinar

Índice

PARTE 1.	
INTRODUCCIÓN.....	11
Capítulo 1. Del presente manual como herramienta facilitadora.....	13
Capítulo 2. El enfoque.....	15
Capítulo 3. Los componentes y las disciplinas.....	17
Capítulo 4. La norma, los códigos constructivos modelo y los entornos de aplicación.....	19
Capítulo 5. En nuestro medio.....	21
PARTE 2.	
ENFOQUE SISTEMÁTICO PRELIMINAR Y GUÍA DE ACCESO.....	25
Capítulo 1. Enfoque sistemático preliminar.....	27
Capítulo 2. Guía de acceso.....	29
PARTE 3.	
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	33
Capítulo 1. Marco normativo específico.....	35
Capítulo 2. Valoración del riesgo y pérdidas por incendio de inmuebles.....	39
Riesgo y vulnerabilidad.....	39
La prevención y la transferencia del riesgo.....	39
Métodos de análisis de riesgo de incendio.....	40
Capítulo 3. Definición de tipos de prevención.....	43
Protección preventiva.....	43
Protección pasiva o estructural.....	44
Protección activa.....	44
Conclusiones.....	48
Capítulo 4. Causas y propagación de incendios.....	47
Causas de inicio de incendios en edificaciones.....	47
Conclusiones.....	48
Modalidades típicas de propagación de incendios en edificios.....	49
Conclusiones.....	51
Lecturas recomendadas.....	51
Capítulo 5. Procesos conductuales, el individuo y el grupo frente a la emergencia.....	53
Estudios en sociedades anglosajonas.....	53
Estudios en sociedades latinas.....	56
Conclusiones.....	57

PARTE 4.	
MARCO TÉCNICO EN ARQUITECTURA Y EQUIPAMIENTO.....	59
Capítulo 1. Tipos de combustible y el proceso de la combustión.....	61
Nociones básicas de la química y la física del fuego.....	61
El proceso de la combustión.....	62
Definiciones clásicas de distintos tipos de combustión.....	64
La combustión en espacios cerrados.....	65
Capítulo 2. Generación de humos y elementos resultantes de la combustión.....	69
Definición.....	69
Composición, cantidad y movimiento del humo generado en un incendio.....	69
Efectos del humo sobre las personas.....	71
Conclusiones.....	72
PARTE 5.	
MARCO TÉCNICO EN ARQUITECTURA, INCIDENCIAS EN EL EDIFICIO Y SU DISEÑO.....	73
Capítulo 1. Exigencias a los materiales constructivos frente al fuego.....	75
Parámetros de exigencia.....	75
Capítulo 2. Conceptos de resistencia y estabilidad al fuego.....	81
Concepto de resistencia al fuego.....	81
Concepto de estabilidad al fuego.....	82
Tipos de estructuras y su relación con el fuego.....	83
Capítulo 3. Clasificación de las edificaciones.....	87
Introducción, códigos modelo de edificación.....	87
Clasificación de las edificaciones según el International Building Code.....	87
Clasificación de las edificaciones según el Código Técnico de Edificación CTE, España.....	89
Capítulo 4. Determinación del riesgo a través del cálculo de la carga de fuego.....	93
Definición de carga de fuego.....	93
Aplicación del valor de carga de fuego.....	94
Ejemplo de cálculo simplificado.....	95
Capítulo 5. Zonificación y compartimentación del edificio.....	97
Zonificación y compartimentación según NFPA 101, Código de seguridad humana.....	98
Zonificación y compartimentación según CTE-SI-3.....	100
Zonificación y Compartimentación según IT de San Pablo.....	100
Definición y aplicación de las Protecciones Pasivas contra Incendios (PPCI).....	101
Lecturas recomendadas.....	105
Capítulo 6. Teoría y diseño de la vía de evacuación.....	107
Introducción. Base teórica.....	107
Modelos de cálculo.....	107

El diseño de una vía de evacuación.....	110
Definición de sectores de evacuación.....	114
Vía de evacuación vertical (escalera).....	116
Capítulo 7. Construcción de la vía de evacuación.....	121
Definiciones y modalidades constructivas.....	121
Puertas de acceso a la vía de evacuación.....	122
Puertas de salida a la vía pública.....	122
Capítulo 8. Sistemas electromecánicos complementarios en las vías de evacuación.....	125
Iluminación de seguridad y señalética.....	125
Sistemas de presurización de escaleras.....	129
Lecturas recomendadas.....	131
PARTE 6.	
MARCO TÉCNICO EN ARQUITECTURA, SISTEMAS COMPLEMENTARIOS.....	133
Capítulo 1. Sistemas de detección y alarma de incendio.....	135
Introducción.....	135
Descripción del sistema y sus componentes.....	136
Consideraciones de diseño según normas relacionadas.....	139
Incidencia arquitectónica del sistema.....	141
Capítulo 2. Sistemas de extinción.....	143
Introducción.....	143
Clasificación de fuegos según el combustible.....	143
La teoría de la extinción y los agentes extintores.....	144
Sistemas de extinción de incendios.....	146
Consideraciones finales.....	149
Lecturas recomendadas.....	152
Capítulo 3. Sistemas de manejo de humos fuera de la vía de evacuación.....	153
Introducción.....	153
Control de humos.....	154
Clasificación de sistemas de control de humos.....	155
Previsiones arquitectónicas.....	157
Normativa relacionada.....	158
AGRADECIMIENTOS.....	159
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	161

Dedicamos este manual a todas las víctimas de incendios.

Parte 1
Introducción

Del presente manual como herramienta facilitadora

Los autores del presente manual pretenden que, a través de su uso y aplicación, se facilite la separación entre el diseño integral en seguridad contra incendios y el mero trámite de habilitación exigido por las autoridades; en el entendido de que el primero es un procedimiento técnico creador y el segundo es un compromiso de contralor que, si bien es necesario, no debería nunca sustituir al diseño. Este manual es un apoyo al diseño de arquitecturas seguras, más allá de los requisitos establecidos por la reglamentación y de las necesidades concretas del trámite exigido.

Al efectivizar esta separación, el manual se enfocará en la ingeniería de incendios como disciplina y permitirá el rápido acceso a la información técnica concreta, para facilitar el proceso creador diferenciado, sustentado en las premisas básicas descritas a continuación, las que conforman los pilares del tema.¹

Asimismo, se desea destacar que toda la información técnica incluida responde a la visualización y el estudio del estado del tema en el tiempo presente y a nivel geográfico global y que esta ha sido validada por fuentes de respetable trayectoria que serán debidamente citadas y referenciadas.

Esperamos que este manual sea de utilidad para generar un ámbito de libre discusión y aprendizaje para la mejora continua en el tema. El trabajo fue realizado como material de apoyo para el curso curricular Acondicionamiento Artificial e Instalaciones II de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FADU). No obstante, pretende trascender ese curso y servir de apoyo en el diseño para los cursos de proyecto y en particular para los comprendidos dentro del Trabajo Final de Carrera (TFC) de FADU. En suma, el destinatario final de este manual es el proyectista o futuro proyectista del edificio y, por ende, responsable de la integración de todos los sistemas aplicados a la seguridad contra incendios en edificios de bajo y mediano riesgo.

A lo largo del manual, se incluirán, como apoyo, ilustraciones elaboradas a partir de dibujos o esquemas realizados en clase como recurso didáctico durante el desarrollo de la unidad curricular.

También el lector dispondrá de una serie de módulos, denominados *test de autoevaluación*, formados por una selección de preguntas relacionadas a las temáticas tratadas en esa parte o capítulo. Las respuestas estarán disponibles en EVA para los usuarios matriculados al curso de Acondicionamiento Artificial e Instalaciones II.²

1 La Ingeniería de Protección Contra Incendios (ingeniería PCI) es la aplicación de los principios de la ciencia y la ingeniería a la protección de las personas, de los bienes y del medio ambiente de los efectos destructivos del fuego. También es conocida como Ingeniería del Fuego.

2 <https://eva.fadu.edu.uy/login/index.php>

El enfoque

La construcción de un edificio o locación (entendida como espacio habitado, permanente o temporalmente, techado o no) segura contra incendios implica la participación de un conjunto de disciplinas variadas, las que armonizarán entre ellas en pos de un único objetivo: obtener más tiempo para transitar de un espacio interior hacia uno exterior seguro, en el que la persona se encuentre a salvo. De esta manera, los bienes muebles e inmuebles se vuelven irrelevantes ante la vida humana, que es el aspecto más importante a incorporar en los marcos técnico-teórico, técnico-práctico, así como moral y ético. En resumen: un edificio es seguro cuando, ante una situación de riesgo (comprobado o no), todos sus ocupantes pueden salir del lugar sin sufrir ningún daño físico.

Es claro que la cantidad de tiempo necesaria para obtener la seguridad deseada variará según la ocasión y el componente del sistema en cuestión, pero, para todos los casos, el *tiempo* será el elemento vinculante de todas las disciplinas aplicadas, de manera de lograr que estas trabajen como un único sistema. Es entonces que el valor tiempo se vuelve fundamental en la seguridad contra incendios y, a su vez, absolutamente condicionante en el diseño de todos los sistemas, partes, mecanismos y procedimientos de trabajo que componen la disciplina, incluyendo el diseño de los edificios sea cual fuere su destino.

Los componentes y las disciplinas

En un acercamiento abstracto al problema, podemos definir sus componentes en base a la existencia unísona de: un espacio y/o edificio (entorno) + determinada cantidad de personas (vida) + una situación dada en un momento dado (azar).

Las herramientas con las que nos permitirán obtener determinado grado de seguridad en la abstracción anteriormente planteada se definirán por la incorporación y el control unísono de los siguientes ítems: protecciones incorporadas al entorno + Control de los procesos conductuales de los grupos de personas.

El azar, indicado anteriormente como una situación dada en un momento dado, será controlado en función del trabajo sumado de estos dos ítems.

Ahora bien, mientras que las protecciones incorporadas al entorno han sido definidas y categorizadas en tres grandes y concisas categorías (protecciones preventivas, la que incluye el correspondiente análisis de riesgo, protecciones pasivas y protecciones activas), los procesos conductuales solo podrían doblarse ante la educación y la práctica.

A su vez, la vinculación y el trabajo en conjunto de estas dos variables minimizarán el impacto de cualquier proceso estocástico en el que el azar juegue un papel determinante.³

El presente trabajo aborda los temas anteriormente indicados desde un punto de vista científico-estadístico, plenamente estudiado y posteriormente normalizado.

3 Un proceso estocástico es aquel cuyo comportamiento es no determinista, en la medida que el subsiguiente estado del sistema está determinado tanto por las acciones predecibles del proceso como por elementos aleatorios.

La norma, los códigos constructivos modelo y los entornos de aplicación

Según la International Organization for Standardization (ISO), la normalización técnica se define como la actividad encaminada a establecer disposiciones, para un uso común y repetido, con objeto de alcanzar un grado óptimo de orden en un contexto dado.

Estas disposiciones se establecen para buscar soluciones a problemas reales o potenciales y dar respuesta a las expectativas de la sociedad. En particular, la normativa técnica existente ha basado su trabajo en la estandarización de las abstracciones anteriormente citadas, lo que ha derivado en uno de los principales aportes en el logro de avances concretos referidos a la seguridad contra incendios.

Según la definición de UNIT: «Una norma técnica es un documento que establece requisitos, especificaciones, directrices o características que pueden utilizarse para asegurar, en forma consistente, que un producto, proceso o servicio es adecuado a su uso o propósito».

Debemos hacer una distinción en cuanto al término *norma*, ya que suelen implicarse en el lenguaje coloquial con el mismo término los aspectos reglamentarios o legales (las leyes, códigos o decretos referidos a la seguridad contra incendios), así como las normas técnicas específicas de protección contra incendios.⁴ Mientras que en las normas legales se establece qué debe protegerse y con qué medios, en las técnicas lo que se define es cómo proteger. Mediante la reglamentación, la sociedad decide el nivel mínimo de seguridad que aspira a tener y puede financiar. Vale decir que necesariamente debe existir un balance entre el nivel óptimo de seguridad y los costos que la sociedad en general pueda asumir. Luego, es a través de las normas técnicas que se definen los métodos eficaces de diseño, instalación, mantenimiento y pruebas de las medidas y sistemas de protección requeridas en las reglamentaciones. Es por esto mismo que las reglamentaciones son necesariamente de alcance local, a diferencia de las normas técnicas, que pueden tener aplicación local, regional o internacional. Por otra parte, la reglamentación es de cumplimiento obligatorio, en tanto la norma técnica es de cumplimiento voluntario, a menos que se establezca en una reglamentación (ley, decreto, ordenanza u otra) la obligatoriedad de aplicación de una norma técnica específica.

La norma es un documento que ha sido desarrollado y establecido dentro de los principios de consenso de una organización (organismos de normalización) y que cumple los requisitos de los procedimientos y regulaciones por esta establecidos. En su elaboración participan todas las partes que tienen interés en el desarrollo o uso de las normas (comités técnicos especializados). Las partes implicadas serán, entre varias: especialistas en el tema, médicos, psicólogos, arquitectos, ingenieros, organizaciones, usuarios, servicios públicos de combate, etc.

4 Muchas veces nos referimos a todos estos aspectos como normativa, aunque sus orígenes, objeto y alcance sean distintos.

Ahora bien, concretamente y referido a edificaciones nuevas o existentes, la seguridad contra incendios queda incluida como un ítem más a considerar dentro de Códigos Modelo de Edificación, en los que se establecen los requisitos mínimos para salvaguardar la salud pública, seguridad y bienestar de los ocupantes. Los capítulos incluidos en estos códigos son diversos y abarcan temas tradicionales, además de otros más actuales como energía, sustentabilidad, gestión de residuos, interferencias urbano-forestales, impactos sociales y ambientales y más. Los temas son estudiados y renovados periódicamente.

Estos códigos tratan de asegurar la obtención de un producto creado con determinados estándares de calidad desde todo punto de vista, incluyendo la seguridad contra incendios como una de las tantas partes del proceso y en igualdad de exigencia que el resto. Por ejemplo, el Código Técnico de Edificación (CTE, España), incluye el capítulo Seguridad contra Incendios (SI); así como el International Building Code (IBC, Estados Unidos) refiere los capítulos 7, 8, 9 y 10 específicamente al tema y relaciona otros temas como *ocupación o destino* en forma transversal. Ambos son referentes del presente trabajo.

En nuestro medio no existe esta integración entre Códigos de Edificación y Seguridad contra Incendios. Tampoco hay un código de alcance nacional. La realidad es que cada administración municipal define los aspectos edilicios en cuanto a los ítems antes citados con total independencia y en forma autónoma. Es así que pudiera darse el caso de contradicciones entre lo solicitado por los Códigos de Edificación locales (en el caso de Montevideo, conocido como *Digesto Municipal*) y los requisitos reglamentarios en materia de seguridad contra incendios para una determinada edificación.

En nuestro medio

En Uruguay, la seguridad contra incendios ha presentado un proceso evolutivo (a partir de 1987) que se ha acelerado en los últimos años. Este proceso, no lineal, con avances y retrocesos, ha generado resistencias en algunos de los sectores involucrados. De cualquier manera, el resultado más evidente ha sido que el nivel mínimo de seguridad exigido se ha visto incrementando con el correr del tiempo.

El artículo 3 de la Ley 15.896 (15 de setiembre de 1987), en el capítulo II, para la prevención y defensa contra siniestros, establece que:

Compete al Ministerio del Interior por intermedio de la Dirección Nacional de Bomberos el estudio, disposición, supervisión y certificación de todas las medidas y dispositivos concretos de prevención y defensa contra siniestros y de seguridad, destinados a evitar el surgimiento o la propagación de incendios o el agravamiento de las consecuencias de otros siniestros.

Y, a continuación, el artículo 4 agrega:

Ninguna construcción, salvo las destinadas a vivienda de un núcleo familiar, podrá ser habilitada para su uso sin la previa autorización de la Dirección Nacional de Bomberos de acuerdo con la reglamentación.

Finalmente, el artículo 5 establece:

Todo aparato, dispositivo o material destinado a la prevención o combate de incendios que se fabrique o venda en el país, deberá ser técnicamente aprobado y autorizado en su diseño por la Dirección Nacional de Bomberos, a la cual compete asimismo la verificación del cumplimiento de las normas de fabricación y reposición, aplicables a los mismos de acuerdo con la reglamentación aprobada.

Estos tres artículos resumen los principales aspectos sobre la competencia de la Dirección Nacional de Bomberos (DNB) en materia de seguridad contra incendios en nuestra área de intervención como profesionales de la construcción, en particular referidos a:

1. La autorización de acuerdo a la reglamentación.
2. La aprobación técnica de los dispositivos de prevención o combate de incendio.

Las disposiciones que estableció esta ley fueron reglamentadas a través de sucesivos decretos a partir del año 1989 hasta el presente. En particular, el principal referente utilizado para el desarrollo de la reglamentación a partir del año 2010 ha sido el decreto estadual n° 46.076/01 del estado de San Pablo, Brasil, asociado a un compendio de instrucciones técnicas, los llamados Instructivos Técnicos (IT) desarrollados por el Cuerpo de Bomberos de San Pablo. Entre las novedades surgidas a partir de dicha fecha se destaca la figura del técnico habilitado, quien, a través de la realización de un trámite predefinido, obtiene el permiso o *autorización* de los locales o edificios para permitir su posterior habilitación y funcionamiento. Con anterioridad, los únicos actores reconocidos por la reglamentación eran dos: el propietario o titular del uso y la DNB. Cabe agregar que, si

bien en la Ley 15.896 se hace referencia a la «autorización de la Dirección Nacional de Bomberos», en los posteriores decretos reglamentarios (decreto 260/013) el enfoque fue conceptualmente distinto dado que se estableció:

La habilitación es el acto administrativo dictado por la Dirección Nacional de Bomberos, que certifica el cumplimiento de las medidas de prevención y protección contra siniestros previamente determinadas por la misma, y establece el lapso y las condiciones de vigencia de dichas medidas.

En el decreto 150/016 se profundiza en este nuevo enfoque según se establece en el artículo 1:

La habilitación es la autorización requerida para el uso de todo tipo de construcciones, excepto las destinadas a vivienda de un núcleo familiar. La habilitación mencionada corresponde a la Dirección Nacional de Bomberos.

La nueva reglamentación retoma el concepto inicial de autorización y deja la potestad de habilitar en el ámbito de las intendencias de todo el país —en la instancia de otorgar las Finales de Obra de las viviendas colectivas o proceder a habilitar o controlar el funcionamiento de los locales en los que se desarrollen usos no residenciales—. Los gobiernos municipales toman las medidas necesarias para asegurar que las construcciones cuenten con la autorización vigente de la DNB (decretos 150/016 y 184/018).

En suma, se estableció que la autorización será dada si se cumplen una serie de requisitos prescriptivos establecidos para cada edificio por los sucesivos decretos reglamentarios, los cuales permiten clasificar la edificación y por ende determinar las medidas de seguridad contra incendios requeridas en cada caso. Por tanto, la habilitación es un proceso administrativo gubernamental a partir del cual se autoriza al uso un edificio cuando se brindan las garantías de que cumpla con las medidas de seguridad previstas por la reglamentación. Los garantes de esto son en su conjunto el técnico habilitado y el propietario del edificio, quienes asumen la responsabilidad del diseño y el mantenimiento de las medidas de seguridad requeridas, respectivamente. Sin embargo, no podemos dejar de señalar que detrás del mero trámite administrativo subyace el verdadero motivo de la existencia de este manual que es el diseño, puesta en uso y mantenimiento de edificios seguros.

En su versión más reciente, el cumplimiento de lo declarado solo se verificaría a posteriori, en cualquier momento durante la vigencia de la autorización. Este último aspecto ha sido objeto de crítica por la escasa especificación en la reglamentación de las condiciones en las que se producirá la fiscalización y contralor de su cumplimiento por parte de la DNB.

La autorización mencionada (antes *habilitación*) se otorga a través de un trámite expreso (sin el contralor de la DNB salvo que se soliciten excepciones) y con el seguimiento de los instructivos técnicos desarrollados a partir de los referentes citados anteriormente y facilitados por la DNB. Las primeras versiones de estos documentos han sido traducciones del antecedente de San Pablo, adaptadas al medio local. Recientemente han comenzado a funcionar los primeros comités técnicos consultivos previstos en la reglamentación, para la revisión y adecuación al contexto local de los instructivos existentes, así como la elaboración de nuevos, siempre a partir del mismo referente.

Se destaca que se trata de un trámite basado en la figura del expediente electrónico, en procura de la accesibilidad y transparencia de la información. A la fecha el trámite *online* funciona simplemente como un repositorio de los documentos que comprueban el cumplimiento de las medidas de seguridad requeridas para cada edificio (planos, memorias, folletos técnicos, formularios de declaración expresa, etc.). Vale decir que no pasa por el análisis de la DNB. En el caso de que exista un impedimento concreto al cumplimiento de una medida requerida, la habilitación queda sujeta a discreción por parte de la DNB (mediante solicitud de excepción).

Cabe agregar que nuestra reglamentación en materia de seguridad contra incendios es prescriptiva, a diferencia aquellas basadas en el desempeño o prestaciones. Los reglamentos prescriptivos obligan a la utilización de las soluciones indicadas en el propio reglamento. En nuestro medio es a través de decreto que se establecen las medidas requeridas y se obliga al cumplimiento de las soluciones técnicas que se describen en los instructivos técnicos (por el propio decreto) y a la utilización de elementos homologados o expresamente aprobados por la DNB. Esto limita la innovación y el uso de nuevas técnicas, que no pueden ser empleadas cuando se encuentran fuera de reglamento, aunque su resultado pudiera ser mejor que el de las propuestas por este. Por otra parte, las reglamentaciones basadas en desempeño o prestaciones obligan a que las construcciones cumplan con unas determinadas prestaciones (aptitud para responder a diferentes funciones para las que ha sido diseñado), independientemente de las técnicas utilizadas. Esto facilita la innovación y el uso de nuevas técnicas, ya que permiten su uso, aunque no existieran cuando se redactó la propia reglamentación, siempre que el resultado que proporcionen sea el adecuado (Vigara, 2013).

Test de autoevaluación del módulo 1

1. Describa en qué se diferencian el trámite de habilitación ante la DNB y el diseño integral en seguridad contra incendios.
2. ¿Cuál es el objetivo principal del diseño integral en seguridad contra incendios?
3. ¿Cuál es la variable determinante a la hora del diseño de todos los sistemas, partes, mecanismos y/o procedimientos de trabajo que componen a la seguridad contra incendios? Fundamente.
4. Describa la abstracción atemporal que representa al problema (fuego en un edificio) y la respuesta adecuada a esta.
5. Describa qué significa iso y defina el concepto de *normalización técnica*.
6. ¿Cuál es la diferencia entre un Código Modelo de Edificación y una Norma específica de seguridad contra incendios?
7. Describa el significado de las siglas CTE e IBC.
8. Describa el proceso evolutivo de la seguridad contra incendios en nuestro país.
9. Describa los actores involucrados en el trámite de habilitación de edificios ante la DNB.
10. ¿En qué normativa se basa la DNB para definir las exigencias en seguridad contra incendios en nuestro país?

Parte 2

Enfoque sistemático
preliminar y guía de acceso

Enfoque sistemático preliminar

En este capítulo se intenta facilitar el abordaje al diseño global y coherente del edificio en función de la seguridad y protección contra incendios. Se indica, a continuación, un listado de acciones a seguir en un orden definido. Las acciones incluidas en este listado contemplarán todos los aspectos a considerar para lograr un edificio seguro. A este listado lo denominamos *enfoque sistemático preliminar* (ver Tabla 1), dado que sigue una línea de acción definida y se trata de una primera apreciación que nos permitirá definir a modo de síntesis los ítems relevantes y de gran incidencia en la planta física, en las instalaciones a incorporar y, por defecto, en la inversión total, sin profundizar en cálculos o detalles más específicos. La decisión final sobre qué y cómo se incluirá estará dada por la regulación local en el tema.

Acción:		Descripción:	Tipo protección
1	Determinación del riesgo	El riesgo se determinará a través de los valores calculados de carga de fuego y la aplicación de métodos de análisis conocidos.	Preventiva
2	Confinamiento del fuego	El punto 1 nos determina una zonificación primaria a partir de la cual se definen las áreas de incendio, así como los métodos y materiales de compartimentación para lograr la estanqueidad con respecto al resto del edificio de manera de evitar la propagación del fuego.	Pasiva
3	Evacuación de los ocupantes	Implica la definición de un camino o vía de evacuación para el tránsito de las personas desde cualquier punto del edificio hasta un lugar seguro en el exterior. Incluye todos los componentes indicados en la norma (puertas cortafuego, iluminación de seguridad, señalética y otros aspectos constructivos).	Pasiva, conductual
4	Sistemas de extinción	Implica la incorporación de sistemas unitarios de baja o mediana envergadura o sistemas de extinción centrales (hidrantes, rociadores, otros específicos).	Activa
5	Sistemas de detección temprana de incendios y otros sistemas electromecánicos	Implica la incorporación de sistemas de detección de incendios, alarmas, voceo de evacuación, manejo de humos, presurización de escaleras y otros.	Pasiva, complementaria

Tabla 1. Enfoque sistemático preliminar (tabla resumen de autor)

Guía de acceso

Dada la extensión y diversidad de los temas involucrados, se incluye una planilla que los resume, muestra sus vinculaciones, los actores implicados y ejemplos de los productos o resultados finales a obtener (ver Tabla 2 y Tabla 3). Se destaca que la organización de los temas y subtemas conforma meramente una propuesta de orden para una disciplina compleja y será el usuario el que definirá su propio método de acceso a la información a través de la práctica y el ejercicio.

Tema	Descripción	Áreas teórico/prácticas implicadas	Producto o resultado final
Protecciones integradas al entorno	Preventivas (Capítulo 3. Definición de tipos de prevención)	Normalización (formulación-aplicación-seguimiento-reformulación)	Norma técnica, resultado de ensayo, producto certificado
		(Parte 1. Introducción; Parte 3. Marco teórico conceptual)	Investigación, datos estadísticos. Documento Informe
		Reglamentación (Parte 1. Introducción)	Decreto, código, reglamento
			Trámite administrativo (habilitación) Capacitación y formación.
	Análisis de riesgo (de los contenidos y/o de los procesos)	Dato, documento, informe técnico (valor de carga de fuego, etc.)	
Pasivas (Capítulo 3. Definición de tipos de prevención)	(Parte 4. Marco técnico en arquitectura y equipamiento; Parte 5. Marco técnico en arquitectura, incidencias en el edificio y su diseño)	Proyecto de edificio o zonas de este con definición de protecciones estructurales, ignífugas o retardantes; el diseño de la compartimentación (muros y puertas cortafuego, sellado de pases, etc.) que incluye planos, memorias y detalles para su ejecución	
		Incluye el estudio y asesoramiento de mobiliarios y acabados. Catálogo técnico, muestra o producto de sistema o elemento de protección contra incendio	

Tabla 2. Guía de acceso A (tabla de autor).

Tema	Descripción	Áreas teórico/prácticas implicadas	Producto o resultado final
Protecciones integradas al entorno	Activas (Capítulo 3. Definición de tipos de prevención)	Extinción (privada) (Parte 6. Marco técnico en arquitectura, sistemas complementarios)	Proyecto de sistemas de extinción propios (móviles, fijos, etc.) que incluye planos, memorias y detalles para su ejecución
		Extinción (pública) (Parte 6. Marco técnico en arquitectura, sistemas complementarios)	Diseño de medios de conexión a sistemas de protección público según sea requerido por reglamentación o autoridad local (conexión seca a bomberos, por ejemplo)
	Complementarias	Otros sistemas (detección y alarma, detección temprana, manejo de humos, etc.) (Parte 6. Marco técnico en arquitectura, sistemas complementarios)	Proyecto de sistemas de complementarios que incluye planos, memorias y detalles para su ejecución
Protección de personas	Conductual (Capítulo 5. Procesos conductuales, el individuo y el grupo frente a la emergencia)	Definición de tipo de población (recursos humanos) (Parte 3. Marco teórico conceptual)	Cálculo de población o capacidad máxima del local considerando: Análisis de población, fija y flotantes. Análisis sobre usos, horarios, etc.
		Diseño de la vía de evacuación (arquitectura/ingeniería) (Parte 5. Marco técnico en arquitectura, incidencias en el edificio y su diseño)	Plan de evacuación (incluye protocolos, organigramas y planos) Sistemas complementarios (proyecto de iluminación, señalización, control de humos, etc.) que incluyen planos, memorias y detalles para su ejecución. Formación y educación. Asignación de recursos.
		Planificación de la evacuación (recursos humanos, arquitectura/ingeniería) (Parte 5. Marco técnico en arquitectura, incidencias en el edificio y su diseño)	Dato-documento (registro de simulacros)

Tabla 3. Guía de acceso B (tabla de autor).

Test de autoevaluación del módulo 2

1. Describa en qué consiste un enfoque sistemático preliminar.
2. ¿Cuáles son las ventajas de la aplicación de este tipo de análisis?
3. Enumere los tipos de protección contra incendios que se relacionan con el enfoque sistemático preliminar.
4. ¿El enfoque sistemático preliminar sustituye a la normativa y/o regulación en el tema?
5. ¿Cuáles son las áreas teóricas implicadas en la protección preventiva según la guía de acceso?
6. ¿Cuáles son las áreas prácticas implicadas en el diseño de la vía de evacuación según la guía de acceso?
7. Enumere ejemplos de producto final para el diseño de la vía de evacuación según la guía de acceso.
8. ¿Qué tipo de protección se consideran las puertas cortafuego?

Parte 3

Marco teórico conceptual

Marco normativo específico

Existe una variada y amplia normativa internacional referida al tema de protección contra el fuego, toda ella de gran valor técnico y basada en numerosos estudios estadísticos de datos relevados en situaciones reales.

Para este manual, y fundamentalmente por un tema de facilidad de acceso, universalidad de idioma e idoneidad técnica, se han considerado tres fuentes básicas: Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPFA, por sus siglas en inglés, Estados Unidos), considerada como el mayor referente en el tema; CTE-SI (España) y el Decreto estadual n.º 46.076/01 del estado de San Pablo, Brasil, y sus instructivos técnicos desarrollados por el Cuerpo de Bomberos de San Pablo y replicados en nuestro medio por la DNB.

La NFPFA es una asociación de Estados Unidos que trabaja en pos de la mejora continua en la metodología de la protección contra incendios. Se encarga de crear y mantener las normas en la protección contra incendio (lo que se conoce como *National Fire Codes*), así como de la capacitación, instalación y uso de medios de protección contra incendio, utilizados tanto por bomberos como por el personal encargado de la seguridad. Nace en el año 1896, con la iniciativa de un grupo de compañías de seguros, básicamente para normalizar el mercado de sistemas de extinción por *sprinklers*. A partir del año 1904, el sector industrial y otros se involucran con la asociación y participan activamente en el desarrollo de nuevas normas. Su alcance como asociación es amplia e incluye representantes de múltiples organizaciones (compañías de seguros, industrias, comercias, sindicatos laborales y particulares). Muchos estados, gobiernos locales e incluso nacionales incorporan las normas y códigos elaborados por la NFPFA en sus propias legislaciones o códigos, ya sea literalmente o con pequeñas modificaciones. Incluso son generalmente aceptados como referentes a nivel profesional. La modalidad de trabajo de la NFPFA establece el permanente revisionismo y actualización de sus normas o artículos en particular. La NFPFA incorpora cambios a partir de la información surgida de investigaciones de incendios reales; se presentan nuevas tecnologías, nuevos aportes técnicos, sugerencias y otros, de ahí sus revisiones y actualizaciones permanentes.

La NFPFA establece diferencias al definir entre *norma* y *código*:

Código: Es una norma que es una compilación extensa de cláusulas que cubren una amplia gama de temas y que son plausibles de ser adoptadas y transformadas en leyes independientemente de otros Códigos y Normas.

Norma: Es un documento cuyo texto principal contiene sólo cláusulas obligatorias que utilizan las palabras «se deberá» para indicar requisitos y cuyo formato generalmente es apropiado para que otra norma u otro código haga referencia a él o lo adopte como ley. Las cláusulas no obligatorias deberán ser citadas en un apéndice o nota al pie de página y no deberán ser consideradas parte de los requisitos de una norma.

Es un ejemplo de esto la NFPFA 101, titulada *Código de seguridad humana*, que tuvo su origen en Estados Unidos en el año 1913, ante la percepción de las fallas en el diseño

y la preparación de las personas para evacuar un edificio siniestrado. En este momento se crea el Comité del mismo nombre y publica su primera publicación oficial, *Exit drills in Factories, Schools, Department Stores and Theater* (Ejercicios de evacuación en fábricas, escuelas, tiendas de departamentos y teatros), que se divulga en forma de panfleto de libre circulación. Este trabajo se complementa con publicaciones adicionales como *Outside Stairs for Fire Exits* (Escaleras exteriores para salidas de incendio) y *Safeguarding Factory Workers from Fire* (Salvaguarda del fuego para trabajadores fabriles), que sirvieron de base al presente Código.

El Código de seguridad humana se compone de varios capítulos los que se refieren, entre otros temas, a la categorización de las construcciones y su tipo de ocupación, a las protecciones activas y pasivas a utilizar, al diseño de las vías de evacuación y las áreas seguras del edificio, etc. Profundiza también en otros aspectos como las características de los sistemas de protección, operación y fundamentalmente el mantenimiento de equipos relacionados con la seguridad contra incendios. Cada rubro incluido en el Código refiere a su propia norma técnica, la que, si bien es citada, deberá ser consultada en forma específica.

En resumen, el Código de seguridad humana se compone de cinco secciones principales:

- Capítulos 1 al 7: Fundamentos.
- Capítulos 8 al 31: Tipos de ocupación.
- Capítulo 32: Estructuras especiales y *High Rise Buildings*.
- Capítulo 33: Publicaciones de referencia sobre el Código.
- Apéndices: Material explicativo y otras publicaciones de referencia.

Asimismo, debemos tener claro que el Código no contempla las normativas de construcción de edificios, ítems que normalmente pertenecen a códigos constructivos específicos.

Uno de los aspectos más interesantes del Código es la inclusión de las llamadas excepciones a la norma.⁵ Estas excepciones, muy claras en su contexto y descripción, atenúan algunas de las medidas exigidas en función de otras, generalmente de menor inversión y particularmente útiles a la hora de acondicionar un edificio existente.

Dada la rigurosidad técnica y la universalidad en el enfoque de los de los ítems normalizados por la nfpa, muchos países formulan sus propias normas tomando como base a las anteriores, las adaptan según su caso, de modo que se puede considerar que las diferencias son simplemente matices de los conceptos básicos vertidos en el Código de la nfpa.

En España, por ejemplo, a partir del año 2004 la NBE-CPI/96 es sustituida por el documento básico si, incluido en el CTE, bajo las condiciones de Código Modelo de Edificación, según indicamos en la parte 1, capítulo 4 del presente trabajo.

El documento básico si se compone de las siguientes partes:

- si-1: Propagación interior
- si-2: Propagación exterior
- si-3: Evacuación
- si-4: Detección, control y extinción del incendio

⁵ Por ejemplo, la instalación de rociadores o *sprinklers* en un edificio establece una excepción y permite consideraciones especiales en la hora de diseñar su vía de evacuación, como las distancias máximas a los puntos de salida.

- SI-5: Intervención de los Bomberos
- SI-6: Resistencia al fuego de la estructura
- El CTE es de acceso libre y de fácil consulta.

El Decreto n° 46.076/01 del estado de San Pablo y sus IT desarrollados por el Cuerpo de Bomberos de San Pablo fueron replicados en nuestro medio por la DNB. Estos no configurarían estrictamente una norma técnica,⁶ dado que se limitan a exigir el cumplimiento de determinados requisitos básicos de seguridad (establecidos por reglamento).⁷ Los IT (tanto los referentes como locales) abordan básicamente cuestiones operativas, en tanto algunos profundizan en otras más técnicas. En el ítem 3, *Referencias normativas*, se mencionan las normas técnicas (nacionales e internacionales) que aplican al objeto y alcance del instructivo en cuestión. La reciente formación de los comités técnicos consultivos en el ámbito de DNB ha procurado conducir la discusión hacia los aspectos más técnicos del tema y no tanto los operativos y/o reglamentarios.

Test de autoevaluación módulo 3

1. Describa en qué consiste la NFPA.
2. Describa la modalidad de trabajo de la NFPA.
3. ¿Cuál es la diferencia entre *norma* y *código* según la NFPA?
4. ¿Cuál es la diferencia entre la NFPA 101 y un Código Modelo de Edificación?
5. ¿En qué otros aspectos de seguridad contra incendios profundiza el Código de seguridad humana?
6. ¿En qué tipo de edificaciones se aplica la NFPA 101?
7. ¿Qué significa una «excepción a la norma» en la NFPA 101?
8. ¿Es el CTE una norma técnica de seguridad contra incendios? Fundamente.
9. ¿Son los instructivos técnicos de la DNB normas técnicas de seguridad contra incendios? Fundamente.

6 «Documento aprobado por un organismo reconocido que establece especificaciones técnicas basadas en los resultados de la experiencia y del desarrollo tecnológico, que hay que cumplir en determinados productos, procesos o servicios».

7 En este sentido serían similares a lo que NFPA ENTIENDE COMO CÓDIGO.

Valoración del riesgo y pérdidas por incendio de inmuebles

Riesgo y vulnerabilidad

La Comisión económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) define el concepto de *vulnerabilidad física* como la propensión de un sistema a sufrir daños debido a su interacción con procesos externos e internos potencialmente peligrosos. Para los efectos prácticos y de evaluación del riesgo, esto supone que la vulnerabilidad es un atributo independiente del peligro y, en el caso de sistemas físicos hechos por el hombre, como las edificaciones, depende de las características de diseño, calidad de los materiales y la construcción, así como su degradación o deterioro por agentes externos. El artículo de CEPAL deduce entonces que la vulnerabilidad es un procedimiento complejo, debido, entre otras cosas, al conocimiento parcial de los procesos generadores de daños y a la dependencia entre la vulnerabilidad y el peligro (Meli et al, 2005).

El análisis de riesgo de un sistema pretende identificar al *peligro* como una fuente potencial de daños y determinar las probabilidades reales de que ocurra un evento peligroso, y cuantifica las consecuencias a priori de manera de establecer el umbral de tolerancia al riesgo.

Estas definiciones de riesgo valen para cualquier situación, y son constantes en todas ellas los conceptos de vulnerabilidad, peligro y probabilidad de ocurrencia.

La prevención y la transferencia del riesgo

El reconocimiento del riesgo específico inicia el proceso de su eliminación y da origen al campo de la prevención, que se basa en la aplicación de rutinas, procedimientos o técnicas de defensa según el tipo de riesgo en cuestión.

Los seguros de incendio se entienden como una operación de transferencia del riesgo a costo parcial que formaliza el ahorro necesario para restablecer la situación patrimonial anterior a un siniestro. Este valor viene dado por un cálculo de probabilidades de ocurrencia y por la repartición proporcional del costo entre los integrantes de la comunidad vulnerable.

La manera más efectiva de minimizar el valor de transferencia del riesgo mencionado es analizar en profundidad las probabilidades de ocurrencia de un siniestro en diferentes escenarios. Cada escenario nos dará como resultado una relación costo-beneficio (inversión versus riesgo) que deberá evaluarse cuidadosamente, aun tratándose de vidas humanas.

Los métodos de análisis de riesgo existentes, en todas sus versiones, consideran la valoración de las probabilidades de ocurrencia de aquellas situaciones que inician la secuencia del accidente, la severidad y la vulnerabilidad del conjunto.

Métodos de análisis de riesgo de incendio

Existen variados métodos de análisis de riesgo de incendio. Aquí se tratará el denominado método MESERI (1998), que acepta valoraciones cualitativas para casos de riesgo bajo, lo que lo hace de muy fácil implementación y rápido análisis posterior. Este método evalúa el riesgo según el contenido y las medidas de protección adoptadas en un edificio.

El profesional podrá variar los parámetros considerados por este método de manera de lograr el nivel de riesgo deseado en su futuro proyecto edilicio o, a la inversa, realizar una valoración de una edificación existente y en funcionamiento.

Este método de análisis pertenece a los métodos de evaluación de riesgos conocidos como *esquema de puntos*, en los que se consideran en forma diferenciada, por un lado, los factores generadores o agravantes del riesgo de un incendio y, por otro, los factores que reducen y protegen frente al riesgo.

En resumen, se establece una relación entre aquellos factores generadores o agravantes (x) de riesgo y los reductores o protectores (y) incluidos en la edificación para definir un coeficiente de riesgo (R).

Los coeficientes que afectan a x y a y son los que surgen de las variables consideradas en el edificio y serán diferentes según el método de análisis aplicado.⁸ En particular, para el método MESERI, los factores x e y se afectan con los siguientes coeficientes:

$$R = \left(\frac{5}{129}\right)x + \left(\frac{5}{30}\right)y$$

Los factores considerados por el método son:

- Aquellos que hacen posible el inicio del fuego. Por ejemplo, la inflamabilidad de materiales disponibles y la existencia de fuentes de ignición.
- Aquellos que favorecen o entorpecen su extensión o intensidad. Por ejemplo, la resistencia al fuego de los elementos constructivos o la carga térmica de los locales.
- Aquellos que incrementan o disminuyen el valor económico de las pérdidas ocasionadas como, por ejemplo, la destructibilidad por calor de medios de producción, materias primas o productos elaborados.
- Aquellos que estén dispuestos específicamente para la detección temprana, control y extinción de un incendio como, por ejemplo, sistemas de alarmas de incendio, extintores portátiles, otros sistemas de extinción de gran envergadura, capacitación del personal, etc.

El método MESERI, apoyado por la fundación MAPFRE, es de libre aplicación (Fundación MAPFRE Estudios, 1998).

⁸ Los valores para las variables a considerar pueden consultarse en https://www.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=1020222

Test de autoevaluación módulo 4

1. ¿Cuál es la diferencia entre los conceptos de peligro y vulnerabilidad?
2. En un análisis de riesgo de un sistema, ¿cómo se identifica el peligro?
3. ¿De qué conceptos surge la definición de riesgo?
4. ¿En qué se basa la prevención del riesgo?
5. Desde el punto de vista de los seguros de incendio, ¿en qué consiste la transferencia del riesgo?
6. ¿Cómo se valora la probabilidad de ocurrencia de un suceso no deseado?
7. Describa los parámetros de evaluación del riesgo considerados en el método MESERI.
8. Describa la modalidad de cálculo matemático empleado en el método MESERI y cuáles son los factores considerados.
9. Describa los factores x e y considerados y establezca sus coeficientes de relación.
10. ¿Qué significa el número R en la fórmula de cálculo del método MESERI?

Definición de tipos de prevención

Para continuar con los conceptos vertidos en los puntos anteriores, y ante el grado de complejidad espacial y constructiva de cualquier escenario, surge la necesidad de clasificar los tipos de protección a incorporar en ellos.

Así, se definen tres tipos de protección diferenciados por su modalidad de implementación, pero persiguiendo todos, de diferente manera, el mismo objetivo final: la salvaguarda de las personas a través de la prevención del riesgo y, por ende, la disminución de la vulnerabilidad.

En concreto, se considerarán la protección preventiva, la protección pasiva o estructural y la protección activa.

Protección preventiva

Este punto se refiere a la educación de las personas sobre el tema, al estudio (pericial y estadístico) de los incendios, a la normalización (ejecución y revisión de códigos y normas técnicas) y a su posterior reglamentación.

Recientemente, se ha venido acrecentado la preocupación por la prevención de los incendios como una de las maneras más efectivas de tratar este tema desde el punto de vista económico. Resulta mucho más fácil (y más barato) evitar que se produzca un incendio que controlarlo o extinguirlo una vez iniciado (Grant, 1998). Entre otras cosas, la prevención de incendios exige modificar la percepción del riesgo de incendio por parte de las personas en un entorno dado. La formación o capacitación es un requisito en muchos países para obtener una habilitación (lo es en Uruguay). Como idea global, las actividades relacionadas con la educación consisten en la preparación de la población por medio de la divulgación de las medidas de seguridad para prevenir el surgimiento de incendios en las edificaciones y modelar la respuesta ante el incidente una vez ocurrido.

Por otra parte, la prevención también se basa en el estudio de casos para la redacción e implementación y revisión de la normativa en todos sus alcances. Particularmente, en nuestro país, entre sus cometidos, los cuerpos de bomberos tienen como misión determinar las causas del inicio del fuego a través de la pericia y recolección de datos de los incendios para su posterior informe ante la autoridad competente. En este sentido, la Ley 15.896 de prevención y defensa contra siniestros establece: «solucionado o extinguido un siniestro por la Dirección Nacional de Bomberos, esta deberá establecer las posibles causas y orígenes del mismo» (artículo 21).

Esta ley apunta no solo a mejorar la protección contra incendios por medio de investigación y estudio de los casos reales, sino también a mejorar las técnicas de combate.

Protección pasiva o estructural

Se basa, principalmente, en evitar la propagación de un incendio y sus agentes generados (humo, gases tóxicos, calor) de un sector a otro, en cualquier escenario dado. Su aplicación nos lleva a definir zonas, sectores o locales de riesgo especial y aislarlos del resto del edificio y da origen a lo que denominamos zonificación (definición de zonas de incendio) y compartimentación (procurando la estanquidad de estas zonas de incendio).

En resumen, este punto supone la inclusión de elementos constructivos y accesorios especiales que conformen barreras físicas para evitar o limitar la propagación del fuego y, principalmente, el humo y gases tóxicos a través del edificio para generar zonas estancas de distintas características.

Los sistemas de protección pasiva contra incendios abarcan los materiales estructurales, los cerramientos, los revestimientos y aquellos materiales específicos utilizados para el correcto sellado de vanos y pases entre las distintas zonas de incendio definidas a priori, tanto en el plano horizontal como en el plano vertical. A todos estos componentes constructivos y materiales que delimitan la zona de incendios les será exigido un grado de resistencia al fuego⁹ por determinado lapso según la normativa al respecto.

Protección activa

Se basa en facilitar la extinción del incendio una vez generado. Dicho de otra manera, las medidas de protección activa son aquellas que toman acción física directa para intentar la extinción temprana del fuego y/o reducir su velocidad de crecimiento.

Los sistemas de extinción son variados, desde los más simples (extintores portátiles de accionamiento manual) hasta los más complejos (bombeo de incendio y redes de cañerías secas o húmedas), estos últimos combinados con sistemas electrónicos de accionamiento y detección temprana. De la misma manera, los agentes extintores varían desde el más simple (agua) hasta los más complejos (gases especiales de uso restringido).

El programa arquitectónico, el riesgo del edificio, la valoración del contenido y definición del lucro cesante, entre otros, son parámetros a considerar para la elección del sistema empleado. En casos particulares, e independientemente de la salvaguarda de las personas, cuanto más alto sea el valor del contenido (hasta incluso el grado de invaluable, como podría ser una obra de arte), o cuanto más elevado sea el monto del lucro cesante (como en el caso de un centro de procesamiento de datos), más complejo y efectivo será el sistema de extinción a instalar, y puede darse el caso de que un edificio cuente con diferentes sistemas de protección activa, según lo que se desee proteger.

Conclusiones

Dentro de las protecciones activas, no estamos incluyendo aquí a aquellas de accionar público en el combate de incendios, las que refieren directamente a políticas y recursos del Estado. En adelante, se desarrolla la descripción de los distintos sistemas

⁹ Tiempo expresado en minutos en que un elemento constructivo expuesto al fuego mantiene su estabilidad y sus características estructurales y de aislamiento.

y materiales para facilitar su elección. La siguiente tabla nos muestra sus alcances y su marco de trabajo general.

Tipo de protección	Marco de acción	Marco de aplicación	Disciplinas implicadas	Incidencias
Preventiva	Teórico-técnico, social y/o legal	Investigación, estudio, normalización	Varias (*)	Orientación en la acción
Pasiva o estructural	Teórico-técnico/práctico	Aplicación de normativa específica a escenario definido	Específicamente arquitectura e ingeniería	Alta incidencia físico-espacial desde anteproyecto
Activa	Teórico-técnico/práctico (**)	Aplicación de normativa específica a escenario definido Cálculo	Específicamente arquitectura e ingeniería	Alta incidencia físico-espacial desde anteproyecto
(*) Todas las disciplinas de estudio existentes tienen cabida en este punto.				
(**) Deliberadamente, en este punto no se han considerado los servicios públicos de combate.				

Tabla 4. Tipos de protecciones y sus relaciones

En conclusión, observamos que mientras la protección preventiva compromete y se nutre de todas las disciplinas existentes que considere necesarias; el diseño y la inclusión de protecciones pasivas y activas, en un escenario dado, pasan a ser competencia directa de la arquitectura y de la ingeniería.

La inclusión de las protecciones pasivas y activas debe ser contemplada desde las primeras fases de estudio del edificio y consideradas seriamente en la inversión económica a realizar, punto que no debería ser minimizado.

Es la protección preventiva a través de la normativa la que definirá las características de las medidas a implementar. Es importante considerar que:

- No se debe caer en el facilismo de considerar que las protecciones pasivas protegen al individuo mientras que las protecciones activas protegen al contenido. Los dos tipos de protecciones trabajan en conjunto complementándose entre sí, en pos del objetivo final. El ejemplo más claro de este punto son las excepciones permitidas, avaladas por la normativa, para el caso de que se incluya en un edificio como sistema de protección activa una red de *sprinklers*.
- Se deberá tener en cuenta que el conocimiento y la aplicación de la normativa no necesariamente optimizan la inversión. La optimización de la inversión (entendida como la mejor relación costo-beneficio) se logra sumando la intervención acertada del profesional responsable en el diseño de los sistemas relacionados.

Test de autoevaluación módulo 5

1. ¿Cómo se clasifican los tipos de prevención en seguridad contra incendios?
2. ¿A qué se refiere la protección preventiva?
3. Relacionado al tema, ¿qué establece la Ley 15.896 Prevención y defensa contra siniestros?
4. ¿A qué se refiere la protección pasiva o estructural?
5. ¿Qué significa zonificar y compartimentar desde el punto de vista de seguridad contra incendios?
6. ¿Cómo se logra la estanqueidad de una zona de incendio?
7. ¿En qué se basa la protección activa?
8. ¿Qué sistemas se incluyen en la protección activa?
9. ¿Cuál es la diferencia entre un sistema de extinción y un agente extintor?
10. ¿Qué tipo de protección es competencia directa del arquitecto, ya sea en diseño o coordinación?

Causas y propagación de incendios

Causas de inicio de incendios en edificaciones

Las causas o factores de incendio en una edificación se describen a continuación.¹⁰ Pueden dividirse, a grandes rasgos, en:

Factores humanos

Estos factores están vinculados a la interacción entre habitante y el edificio a lo largo del tiempo. Esta causa o factor se detecta en el incumplimiento de normas básicas (ejemplo: orden y limpieza, prohibición de fumar, uso de pirotecnia); en omisiones, imprudencias o desconocimiento de los procesos, cualesquiera sean estos. En este factor, se incluye el acto terrorista, es decir, el que es ideado y ejecutado por un individuo o grupo externo sin relación directa con la edificación y su funcionamiento.

Factores estructurales

Dentro de estos factores se comprenden las fallas de tipo electromecánico. Se detecta en las instalaciones electromecánicas inadecuadas, dónde el sistema o sus partes fueron diseñados fuera de la normativa, con deficiente o nulo mantenimiento, ampliados sin control. Muchas veces, el origen de las fallas de tipo electromecánico puede estar en equipos deficientes, con fallas o sin garantías, sin etiquetas y sin control en su proceso de fabricación. Estos casos pueden darse en sistemas, partes o rutinas de mantenimiento en cualquiera de las siguientes instalaciones: eléctricas, tierras artificiales, protecciones atmosféricas, instalaciones de acondicionamiento térmico y otras instalaciones específicas como gases medicinales u otras de proceso.

Factores mecánicos

Estos son los vinculados a la ejecución de tareas no habituales en un edificio para las que este no fue pensado y, por lo tanto, no está preparado. Se genera en los procedimientos de reparación o remodelación de instalaciones existentes, y dada la cantidad de casos registrados, particularmente en la ejecución de trabajos de soldadura, cortes, pulidos y otros, a los que se le suma un inadecuado uso de artefactos en general.

¹⁰ Las causas o factores pueden tener lugar de manera combinada. Por ejemplo, la realización de una intervención inadecuada en una instalación que fue mal diseñada.

Conclusiones

Para el análisis de este tema, se debe considerar que todas las construcciones son susceptibles de incendio. Dicho de otra manera, el riesgo no puede eliminarse y la vulnerabilidad dependerá de las acciones tomadas en función del riesgo real. Se reconoce que el estudio de la causa u origen de un incendio es de suma utilidad, ya sea para determinar las responsabilidades como para evitar a futuro otro incidente similar. Por esta razón, cobra importancia la investigación y el rigor con que esta se realice, así como el estudio estadístico y, a posteriori, probabilístico de todos los datos relacionados, en particular, en nuestra región.

A continuación, se exponen una serie de ejemplos de incendios, con datos internacionales y locales, y se reseña programa, causas y números de víctimas (ver Tabla 5 y Tabla 6).

Año	Lugar	Programa	Causa/ origen	Víctimas	Buscar por incendio en:
1942	Boston, Estados Unidos	Club nocturno	Factor estructural (falla en la instalación eléctrica)	492	Coconut Grove
2001	Nueva York, Estados Unidos	Centro de negocios y servicios	Factor humano (atentado terrorista)	2973	11/9 Torres Gemelas
2001	Lima, Perú	Espacio público	Factor humano (uso de pirotecnia)	277-500	Mercado de Mesa Redonda o Medialuna.
2004	Asunción, Paraguay	Centro comercial (grandes superficies de compra y esparcimiento)	Factor estructural (falla en diseño de ducto de extracción de vahos de cocina)	396	Supermercado Yeuá Bolaños
2004	Buenos Aires, Argentina	Club nocturno	Factor humano (uso de pirotecnia)	194	República de Cromañón
2012	Honduras	Cárcel	No determinado (posiblemente, factor humano o factor estructural)	382	Penal Comayagua
2013	Río Grande, Brasil	Club nocturno	Factor humano (uso de pirotecnia)	239	Boite Kiss
2017	Londres, Reino Unido	Edificio de viviendas en altura	Factor estructural (cortocircuito en heladera)	71	Edificio Grenfell

Tabla 5. Ejemplos críticos, con causas conocidas y alto número de víctimas

Año	Lugar	Programa	Causa/ origen	Víctimas	Buscar por incendio en:
1968	Montevideo, Centro	Edificio de oficinas	Factor mecánico (chispa de equipo eléctrico que encendió vapores combustibles)	2	Óptica Octenia, calle Colonia y Andes
1993	Montevideo, Arroyo Seco	Edificio de oficinas estatal	No determinado (posiblemente, factor humano o factor estructural)	5	UTE
2011	Rocha	Cárcel	Factor humano y estructural (mal uso de deficiente instalación eléctrica)	12	Cárcel de Rocha
2016	Canelones, Toledo Chico	Local de envasado y depósito de material pirotécnico.	Factor humano (falta en procedimiento de limpieza)	3	Local de pirotecnia

Tabla 6. Ejemplos críticos y con víctimas en Uruguay

En nuestro país, durante los últimos años, la cantidad de incendios (con o sin víctimas) originados en viviendas durante la temporada de invierno es alarmante. El origen de estos incendios ha sido, prácticamente en la totalidad de los casos, una combinación entre el factor humano y el factor estructural (procedimientos inadecuados en conjunto con instalaciones eléctricas deficientes o mal uso del equipamiento de calefacción). La mayoría de las víctimas se debe al humo generado. El pico de siniestros se dio en el año 2016, con un total de 55 fallecidos. Este problema amerita un estudio serio y la aplicación de soluciones por parte de los múltiples actores involucrados.

Modalidades típicas de propagación de incendios en edificios

Una vez iniciado el fuego en una edificación, y en caso de no ser detectado y extinguido en forma temprana, este se propaga. Su propagación depende de variados factores, entre los que el más importante es el factor constructivo estructural (la morfología del edificio). No se debe confundir la modalidad de propagación de un incendio en un edificio con su velocidad de propagación. Se trata de dos aspectos diferentes, siendo el primero conceptual y el segundo mensurable y predecible si se controlan determinados parámetros de partes constructivas como los materiales de aislación, acabados, revestimientos y otras terminaciones a instalar. Por esta razón, en esta instancia, no debe considerarse de relevancia la química del fuego y la combustión (transmisión, conducción y convección) y sí la forma del edificio y la interconexión de sus espacios, tanto en el plano vertical como en el plano horizontal. Las modalidades más comunes de propagación se resumen en dos tipos:

Propagación vertical

Por ductos, atrios, vanos, fachadas, u otros siempre en sentido ascendente por diferencia de presiones y temperaturas. Por ductos de ventilación verticales tanto sea ventilación natural o mecánica (ver Ilustración 2).

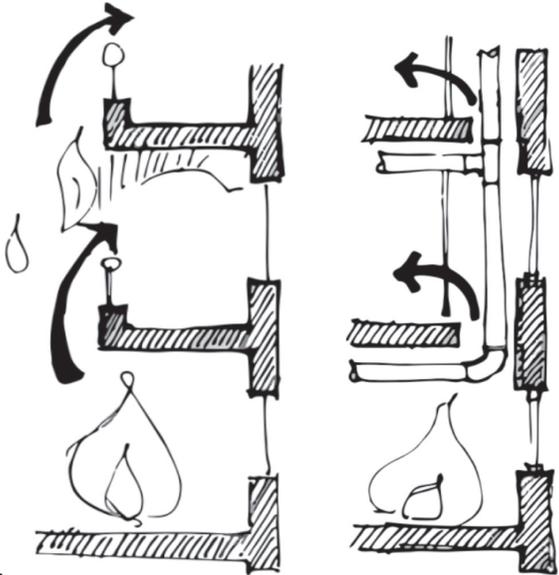


Ilustración 1. Propagación vertical

Propagación horizontal

Por espacios interconectados sobre cielorrasos, muros medianeros y/o por desplazamiento horizontal por revestimientos y acabados. Por conductos de ventilación horizontales (ventilación mecánica) (ver Ilustración 2).

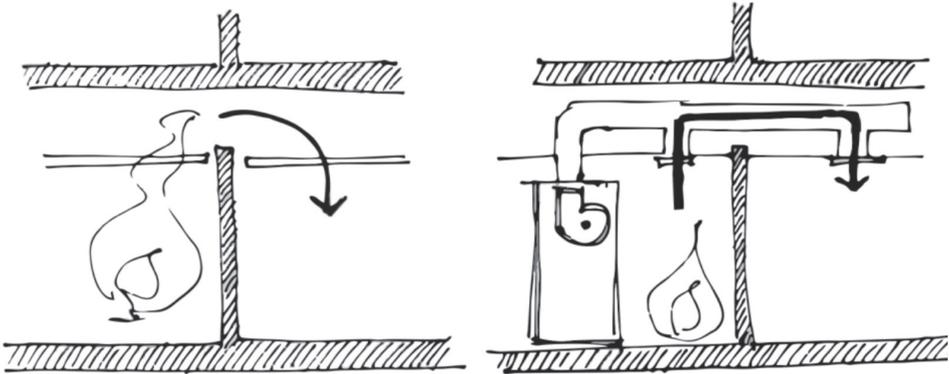


Ilustración 2. Propagación horizontal.

En ambos casos se observa:

- Propagación de aire caliente, humos de combustión con inquemados y llamas a otros sectores del edificio o edificios vecinos.
- Migración oculta del humo y/o incendio a otros sectores del edificio (la situación más peligrosa ya que retarda el inicio de las acciones de protección).

Conclusiones

La migración, oculta o no, del humo y/o incendio a otros sectores del edificio por medio de vanos, aberturas, ductos o cualquier otro componente que vincule distintas zonas de la construcción (en horizontal o vertical) se configura como el escenario más peligroso para la vida y la integridad de las personas en caso de incendio. La NFPA 101 establece las áreas máximas de las particiones o zonas o sectores de incendio de un edificio según el programa y zonas específicas del programa. Estas zonas están directamente ligadas al diseño de la vía segura de evacuación. Los elementos físicos que proporcionan la estanqueidad de las zonas son estrictamente ensayados, certificados y homologados según su capacidad de resistencia al fuego para determinado lapso, exigido por este código y según el programa edilicio.

Test de autoevaluación módulo 6

1. Enumere y describa los factores que inciden en la gestación de un incendio en un edificio.
2. ¿Por qué es tan importante el estudio de la causa, origen y/o propagación de un incendio?
3. De las tablas 2 y 3, elija dos incendios y explique cómo se podría haber evitado su gestación.
4. En nuestro país, ¿qué tipo de incendios ha generado la mayor cantidad de víctimas fatales? Explique qué medidas deberían tomarse para mitigar la situación.
5. ¿De qué factores depende la propagación de un incendio en un edificio?
6. ¿Es lo mismo *modalidad de propagación* que *velocidad de propagación* de un incendio en un edificio?
7. ¿Cuáles son las modalidades típicas de propagación de incendios en un edificio?
8. ¿Qué sucedió realmente en el incendio del Aeropuerto de Dusseldorf, Alemania, según las investigaciones realizadas por la NFPA?
9. ¿Cuál es el escenario más peligroso para la vida humana durante un incendio estructural?
10. A modo general, ¿qué medidas se incluyen en la NFPA 101 para evitar este escenario?

Lecturas recomendadas

Ver, como ejemplo, el informe técnico sobre el incendio en Aeropuerto de Dusseldorf, Alemania, de la NFPA: <https://www.nfpajla.org/images/dusseldorf.spanish.pdf>

Procesos conductuales, el individuo y el grupo frente a la emergencia

Ante una situación de emergencia, la seguridad e integridad de las personas dependerá de una suma de variables de las cuales, muchas serán imposibles de controlar o prever. A pesar de esto, una vez declarada la emergencia, la capacidad de respuesta personal de cada individuo, tanto física como psicológica, será la que inclinará la balanza de las probabilidades a favor de la conservación. Dicho de otra manera y en nuestro caso, conservar la vida y la integridad ante un incendio se convierte en una carrera personal, que se juega contra el desarrollo del fuego y el movimiento del humo generado, en el escenario que estos factores configuren; en definitiva, una carrera contra el tiempo (ver Ilustración 3).

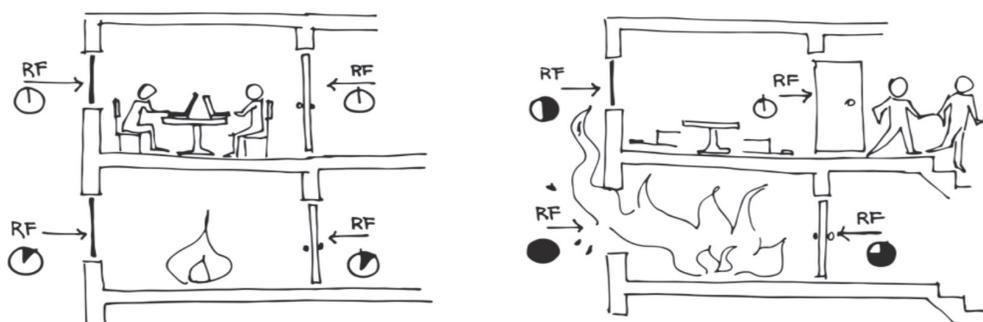


Ilustración 3. Escenario de emergencia - factor tiempo

Por esta razón el análisis del proceso conductual de una persona o de un grupo es fundamental para el diseño de las vías de evacuación en el edificio (tarea propia del arquitecto en el logro de un edificio seguro, desde el anteproyecto) y para la futura planificación de la evacuación durante un siniestro. Del estudio de este tema surgen dos apreciaciones diferentes, según el tipo de sociedad en las que se realizan los estudios (sociedad anglosajona y sociedad latina).

Estudios en sociedades anglosajonas

El individuo

«La conducta ante un incendio se puede considerar como un intento lógico de enfrentamiento a una situación compleja y rápidamente cambiante, con la mínima información para definir el accionar». De esta manera, John L. Bryan describe las complejidades del caso (Bryan, 1993). Paradójicamente, también afirma que, durante las

investigaciones efectuadas, se llega a la conclusión de que «el período que transcurre entre la detección del incendio y la llegada de los bomberos es el más crucial para el salvamento de vidas humanas».

Se define de esta manera un escenario de riesgo «rápidamente cambiante» y se define también una respuesta del individuo como un «intento lógico» de racionalización extrema, ya que cualquier accionar será encarado con un mínimo de información. Asimismo, muestra que la reacción de las personas que están en contacto directo con el punto de inicio del fuego será crítica para ellos y por consecuencia para el resto de las personas del edificio. Existe numerosa literatura acerca del comportamiento del individuo y/o el grupo frente a situaciones extremas.

En resumen, podemos definir el procedimiento conductual frente a una emergencia como un proceso complejo, compuesto por un conjunto de al menos seis etapas distintas, cada una de las cuales implica una toma de decisión para pasar a la siguiente etapa (Withey, 1962).

Etapas del procedimiento conductual

Las etapas de respuesta reconocidas en un individuo y en forma general son (ver Ilustración 4):

- a. Reconocimiento: percepción de la emergencia, visual directa (llamas o humo) o disparo de alarma visual o sonora.
- b. Comprobación: comprobación y ratificación, generalmente con información proporcionada por otros.
- c. Definición: relacionamiento de la información disponible con la proyección en el tiempo y el probable alcance físico. (Aparece en el proceso información cualitativa y cuantitativa, el individuo especula sobre el alcance y la intensidad de la emergencia y la contrasta frente a su propia vulnerabilidad.)
- d. Evaluación: elaboración de una estrategia de respuesta a nivel cognitivo.
- e. Compromiso: accionamiento y puesta en práctica de la estrategia definida en el punto anterior. Esto puede devenir en una acción exitosa o en una acción de fracaso.
- f. Reconsideración: dada para el caso del fracaso de la estrategia y según el individuo, nos lleva nuevamente al punto d y se repite el proceso. La resiliencia de un individuo vendrá dada por la capacidad de retorno y elaboración de nuevas estrategias en su proceso conductual.

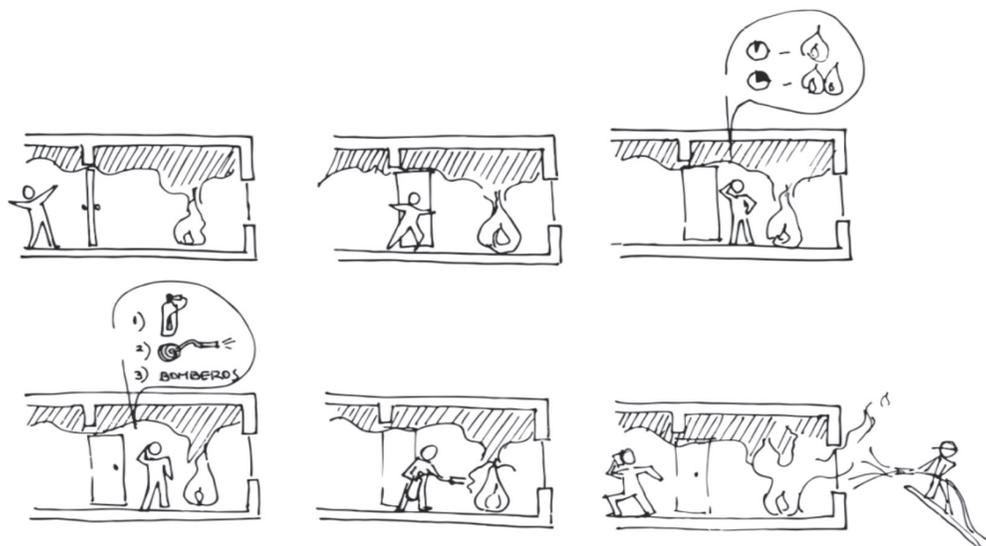


Ilustración 4. Etapas del procedimiento conductual

Ahora, si volvemos a la definición inicial y consideramos que el proceso conductual descrito se desarrollará en un escenario de riesgo y rápido cambio, es de orden considerar los grados de ansiedad o estrés generados en el individuo, básicamente durante las fases a. y b. del proceso. Al respecto decimos entonces que, ante un escenario de este tipo, las conductas de los individuos pueden ser *no adaptativas* o *adaptativas* (ver Ilustración 5).

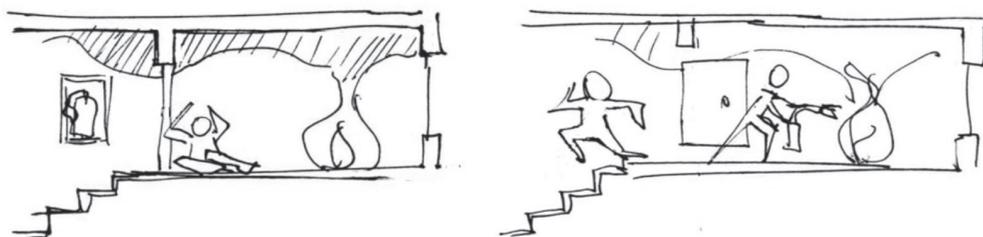


Ilustración 5. Tipos de conductas

Las conductas adaptativas promoverán la acción y el fluir del proceso incluyendo la etapa de reconsideración, mientras que las no adaptativas derivarán en pánico o negación. El grado de conocimiento y preparación de una persona para enfrentar una situación de emergencia será inversamente proporcional a los grados de ansiedad y estrés generados.

El grupo

La NFPA ha estudiado el comportamiento de los individuos incluidos en grupos a través de numerosas y extensas encuestas a sobrevivientes de grandes incendios. Estos estudios coinciden en dos puntos importantes relacionados con el proceso conductual:

- En las fases preliminares del proceso conductual, a y b, y para grupos de personas ya formados (por ejemplo, aulas, oficinas, salas de espera, etc.), surge lo que se denomina *rasgo de inhibición* del individuo frente al grupo. Se ha comprobado que, durante este estado, si bien la fase a es experimentada, la fase b se retrasa en función del tiempo que le lleve al grupo reconocerla.
- A su vez, una vez declarada la emergencia —fases a, b y c cursadas—, se observa la formación espontánea de grupos conformados por individuos que convergen intuitivamente en sectores del edificio con mejores condiciones de viabilidad (temperatura y ventilación), siendo esta su única afinidad. Una vez juntos, surge la figura del líder, ya sea por grado de brigada o por propias condiciones, y el resto se une al proceso conductual definido por él, lo cual disminuye las conductas no adaptativas.

El pánico como excepción

La definición clínica de un estado de pánico es: «Una sensación repentina y excesiva de alarma o miedo, que afecta a una o un conjunto de personas y que tiene su origen en un peligro real o imaginado, vagamente apreciado y que lleva a actitudes exageradas e imprudentes para ponerse a salvo o incluso a la negación o inacción». Esta situación puede originarse en una sola persona y transmitirse a las demás de su entorno; es una respuesta irracional y no adaptativa, de modo que contribuye a reducir las posibilidades reales de salvación.

John L. Bryan diferencia entre el pánico y el estrés, tensión y/o ansiedad propias del proceso conductual adaptativo y considera que las muertes y daños físicos en personas no deben atribuirse en primera instancia a estados de pánico individuales o colectivos. Asimismo, el autor afirma que los estudios realizados durante décadas en personas participantes de incendios no han demostrado fehacientemente la existencia de situaciones de pánico en su definición clínica, sino que, al contrario, priman las acciones de colaboración y altruismo.¹¹

Estudios en sociedades latinas

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo del Ministerio de Trabajo del Gobierno de España, a través de las publicaciones NPT 390 y NPT 395 (La conducta humana en situaciones de emergencia), analiza el proceso en la conducta individual con énfasis en la personalidad del individuo y de sus emociones durante una emergencia (Fidalgo, 1999).

El psicólogo Manuel Fidalgo Vega, del Centro Nacional de Condiciones de Trabajo del Gobierno de España, manifiesta en NPT 390 que las conductas más generalizadas en casos de emergencia se distribuyen de la siguiente manera:

11 Desde el punto de vista estrictamente técnico, es muy interesante el análisis y la reconstrucción de todo el material desclasificado correspondiente a las grabaciones de las conversaciones mantenidas entre las personas atrapadas en los pisos superiores en las dos torres gemelas con el 911 durante los 102 minutos hasta el colapso de los edificios. El análisis de este material ratifica lo planteado por Bryan dado que, como norma general, las llamadas al 911 fueron realizadas por personas coherentes, que intentaban conseguir información en el exterior para poder evaluar su situación y a su vez solicitaban instrucciones para su accionar. Gracias a estas grabaciones ha sido posible reconstruir los distintos escenarios y el rol de estas personas en su intento por sobrevivir.

- Del 10% al 25% de las personas permanecen unidas y en calma, organizando un plan de acción.
- El 75% manifiesta conductas desordenadas y desconcierto.
- Del 10% al 25% muestran confusión, ansiedad, paralización, histeria y pánico.

Si bien el proceso conductual del individuo pasa por fases similares a las descritas anteriormente, según el autor, surge de estos números que la mayoría de las personas son «invadidas» por la emoción e incapaces de lograr una conducta adaptativa, por lo menos en las fases más tempranas y cruciales de la emergencia. Entre de los factores individuales asociados se destaca el tipo de personalidad, el sexo, la edad, las condiciones físicas, la capacidad de liderazgo y la tolerancia a la frustración de la persona. Fidalgo describe, además, el surgimiento de conductas gregarias, por las cuales el individuo tiende a refugiarse en el grupo, a través de un fenómeno de despersonalización. El autor prioriza el estado emocional: «El impacto de la emoción en situación de emergencia distorsiona la respuesta del sujeto, fisiológica, conductual, cognitiva y asertiva. Gran parte de la población (20% aproximadamente) padece ya inicialmente de ansiedad». Asimismo, como criterios preventivos y recomendaciones, sugiere las siguientes medidas de actuación sobre las personas:

- Información: transmisión de conocimientos para orientar las respuestas.
- Formación en emergencias: educación desde jóvenes y permanente de manera de lograr «una inmunización conductual».
- Adiestramiento: automatización de conductas.
- Actuación en el ambiente: conocimiento del área física.
- Participación en medidas organizativas: elaboración de planes de emergencia y definición de roles participativos.

Conclusiones

En estudios realizados en sociedades anglosajonas, la mayoría de los individuos en situaciones de emergencia responden con conductas de adaptación a un medio dinámico y agresivo. Estas conductas serán más favorables en cuanto la persona posea determinada experiencia o conocimiento del entorno y rutinas preestablecidas. Fidalgo concluye, por lo tanto, que la educación en base a simulacros y el establecimiento de rutinas de acción se convierten en aportes fundamentales para la correcta resolución de las etapas conductuales críticas. Las situaciones de pánico son excepcionales y las personas propensas deberían ser detectadas durante las etapas de educación y aplicación de planes de evacuación para su mejor contención.

A diferencia de los estudios antes citados en poblaciones anglosajonas, los estudios realizados en España indican que la mayoría de los individuos en situaciones de emergencia responden con base altamente emocional y generalmente con conductas de no adaptación ante una situación de emergencia, aun pasando por el mismo proceso conductual. Ante esta situación, se sugiere el aprendizaje del control del miedo a través de acciones concretas basadas en la educación, información y aplicación práctica de medidas adaptativas.

Si bien el concepto de proceso conductual frente a una emergencia en fases de respuestas encadenadas es global, el modo de resolución de la situación pasa por variables aun no suficientemente conocidas, que tratamos de interpretar. Es indudable

que las dos posturas anteriormente citadas coinciden en un punto básico: el conocimiento y la preparación en el individuo mejora su respuesta frente a la emergencia.

Nuestro país carece de estudios similares y existe un cierto recelo ante estas situaciones, en las que observamos conductas no adaptativas de tipo inhibitorias antes de disparado el proceso; es decir, a la persona le cuesta elaborar una situación hipotética de emergencia que la involucre, y niega o posterga a priori el enfrentamiento teórico al tema. A pesar de esto, los cambios realizados por parte de la DNB, a través de los nuevos decretos e instructivos de alcance nacional, así como el surgimiento de nuevos actores responsables (figura de «técnico habilitado»), lentamente vienen transformando la relación de la sociedad con este tema. Además, la exigencia de que los edificios clasificados como de concurrencia pública, institucionales, de salud y educativos deban proceder a la elaboración de planes de evacuación y/o protocolos de evacuación según corresponda (asesorados por DNB o por el técnico registrado) como requisito para la autorización por parte de DNB, refuerza la importancia de los aspectos conductuales en pos de un uso seguro de los edificios.¹²

Test de autoevaluación módulo 7

1. ¿Por qué se considera que el análisis del proceso conductual de una persona o un grupo es vital para el diseño de las vías de evacuación de un edificio?
2. Desde el punto de vista del comportamiento, ¿cómo se puede resumir la respuesta de una persona frente a un incendio en la edificación en la que se encuentra?
3. Describa las etapas de respuesta del procedimiento conductual de una persona en una situación de emergencia.
4. ¿Cuáles de estas etapas generarán los mayores índices de ansiedad y cuál puede ser la consecuencia desde el punto de vista de la persona o grupo?
5. ¿Qué tipo de conductas frente a emergencias surgen de los distintos estudios realizados sobre el tema?
6. Describa el concepto de *pánico* y explique su incidencia en el proceso conductual de una persona o grupo frente a una emergencia.
7. Según los estudios a la fecha, ¿existen diferencias en la respuesta conductual frente a emergencias entre distintas sociedades? ¿Cuál cree que podría ser el motivo?
8. ¿Qué recomendaciones sugiere el psicólogo Manuel Fidalgo Vega, del Centro Nacional de Condiciones de Trabajo del Gobierno de España, para minimizar los estados no adaptativos frente a emergencias en las personas o grupos?
9. ¿Cómo podemos mejorar la respuesta a situaciones de emergencia de un individuo o grupo?
10. ¿Cuál es la situación actual en nuestro país?

Lecturas recomendadas

Ver artículo publicado por el New York Times (texto en inglés): Jim Dwyer, Eric Lipton, Kevin Flynn y James Glanz en el siguiente link:

<http://www.nytimes.com/2002/05/26/nyregion/102-minutes-last-words-at-the-trade-center-fighting-to-live-as-the-towers-die.html?sep=1&sq=last+calls+twin+towers&st=cse&pagewanted=all>

¹² Hasta el año 2015, la posibilidad de que el plan de evacuación fuera presentado por parte del técnico registrado ante DNB era compleja. Al presente, el plan puede ser elaborado por el interesado a partir de las pautas establecidas por DNB en el TI16 Plan de Evacuación (2016) y protocolos en Anexos A y B del rr42 Proyectos Técnico-Certificación (PTC): Protocolo de llamada en caso de incendio y Protocolo de actuación en caso de incendio (hospedaje, educación y servicios de salud), respectivamente.

Parte 4

Marco técnico en arquitectura y equipamiento

Tipos de combustible y el proceso de la combustión. Nociones básicas de la química y la física del fuego

Los combustibles

Con la premisa de que todos los edificios son vulnerables de incendios y, a la vez, todos los materiales son combustibles en mayor o menor medida, agruparemos los combustibles en tres grandes categorías, según el estado físico en que se presentan a los efectos del tema considerado (ver Tabla 7).

Materiales combustibles:	Características
Sólidos	Con peso, forma y volumen.
Líquidos	Con peso, volumen y forma según el contenedor.
Gaseosos	Con peso, volumen según la presión de envasado y forma según el contenedor.

Tabla 7. Tipos de combustibles y sus características físicas

Esta clasificación se refiere a la totalidad de los componentes de un edificio, incluyendo el equipamiento y los materiales añadidos según la tarea o función realizada en él, así como los componentes estructurales, cerramientos, tabiquería, terminaciones, revestimientos, partes de instalaciones y otros que existieran. En resumen, para los combustibles sólidos, se incluye todo aquel material que sea capaz de arder a partir de determinada temperatura superficial definida como su punto de ignición (ver Ilustración 6).

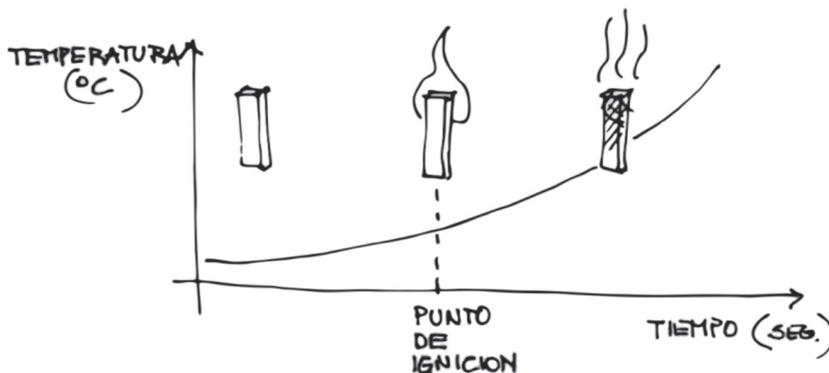


Ilustración 6. Punto de ignición

Para los combustibles líquidos se considerará la combustión en su fase gaseosa (evaporación). Para aquellos en fase de evaporación y para los combustibles gaseosos, se considerarán las mezclas críticas con el oxígeno del aire, cuyos valores se definen según los límites de inflamabilidades superiores e inferiores correspondientes a cada tipo de combustible, según la temperatura y la presión a la que se encuentren sometidos. Por ejemplo, el supergás o GLP se almacena en garrafas metálicas, debidamente ensayadas para brindar la máxima seguridad en las siguientes condiciones que se describen a continuación en Tabla 8).

Gas	Contenedor comercial	Características de envasado	Riesgo de explosión
GLP (Supergás)	Garrafa en chapa de acero tratada y pintada	Estado del gas: líquido	Con contenedor lleno, bajo calentamiento exterior a 100 °C
	Válvula de seguridad	Presión de envasado: 5 Atmosferas	Mezcla con el aire, concentración del 2 al 9,5%
	Otras consideraciones para fácil manejo y almacenaje		

Tabla 8. Almacenaje de GLP

Asimismo, se distinguirán los riesgos de los gases encerrados en un recipiente y los presentados por fugas del contenedor o de las redes de instalaciones. En este último caso, el riesgo proviene de la consecuente mezcla de gas y oxígeno del aire en la habitación donde se produce la fuga.

El proceso de la combustión

Desde el punto de vista de la protección contra incendios, podemos definir a la combustión como una reacción química de oxidación, de tipo exotérmica, generada entre una sustancia llamada combustible (en estado líquido, sólido o gaseoso) en combinación con el oxígeno del aire u oxígeno atmosférico (oxígeno atmosférico=21% oxígeno, O₂ y 79% nitrógeno, N₂). Otras definiciones quedan fuera del ámbito del presente trabajo. Como resultado de esta reacción de oxidación exotérmica, se genera energía en forma de luz y calor (llama), que es capaz de autoalimentarse. El proceso de autoalimentación se da cuando, iniciada la combustión de determinado material, se produce el calentamiento y posterior liberación de vapores combustibles del material adyacente. Estos nuevos vapores combustibles generados se encienden y así sucesivamente, continuando con el proceso inicial. Se define entonces que, tanto sea un combustible líquido como sólido, el proceso de combustión se inicia y transcurre en la fase gaseosa o vaporizada. La cantidad y tipo de gases combustibles emitidos por un material al someterse al calor definirán el grado de combustibilidad de este (ver Ilustración 7).

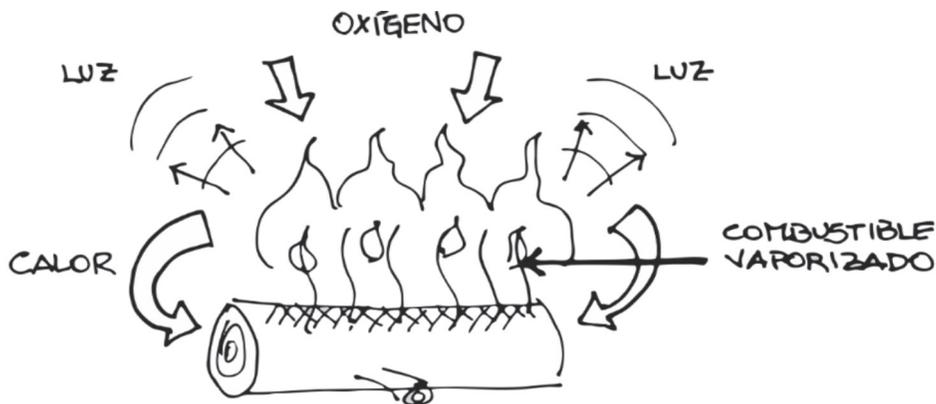


Ilustración 7. Combustión

A los efectos de simplificar el entendimiento de la combustión, esta se representa a través de una abstracción geométrica denominada *triángulo del fuego* (Itiu Seito, 2008). Esta figura geométrica nos muestra un triángulo equilátero, en el que cada uno de sus lados representa a uno de los componentes básicos de la combustión, sin cualquiera de los cuales sería inviable. Estos son: combustible, comburente y calor o energía de activación (ver Ilustración 8).

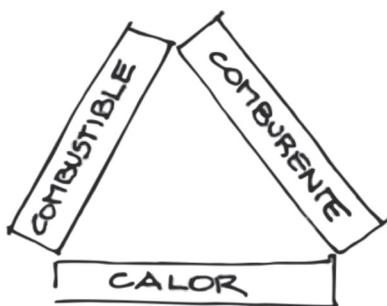


Ilustración 8. Triángulo del fuego

La extinción de incendios se basa en la deconstrucción de esta figura geométrica para controlar y apagar un incendio, y actúa con medidas específicas para cada uno de los lados del triángulo (remoción del combustible, enfriamiento con agua, eliminación del oxígeno del proceso, etc.). Cuando surgen en el mercado nuevos agentes extintores, capaces de trabajar sobre la reacción de autoalimentación o reacción en cadena, esta figura geométrica se transforma en el «tetraedro de fuego» (Itiu Seito, 2008), figura tridimensional que incorpora el parámetro de «reacción en cadena» en uno de sus lados, preservando la teoría de la extinción considerada inicialmente (ver Ilustración 9).



Ilustración 9. Tetraedro de fuego

En resumen, se considera a la combustión como una serie de sucesos encadenados e interdependientes, entre los tres actores mencionados en el triángulo del fuego.

Estos se pueden resumir:

- Escenario. Para originarse una combustión se necesita: el combustible, el agente oxidante (en nuestro caso, oxígeno del aire) y un foco de ignición.
- Inicio. Para inflamar un material es necesario calentarlo hasta su temperatura superficial de ignición provocada.
- Desarrollo. La combustión generada dependerá del calor que las llamas devuelven al combustible pirolizado (carbonizado) o vaporizado.
- Final. Dados los tres puntos anteriores, la combustión continuará hasta que:
 - a. se consuma todo el material combustible, o
 - b. la concentración del agente oxidante descienda por debajo de la necesaria para continuar la combustión, o
 - c. se elimine el calor necesario del proceso y se impida así la reacción de autoalimentación.

Definiciones clásicas de distintos tipos de combustión

Tomando en cuenta los productos resultantes de la combustión, podemos definir los siguientes tipos de reacciones (ver Ilustración 10):

- Combustión completa o perfecta: cuando los componentes se oxidan completamente, formando dióxido de carbono (CO_2), agua líquida (H_2O) y según el caso, dióxido de azufre (SO_2), independientemente de la cantidad de aire empleada en la reacción. Esto implica que el oxígeno presente en el aire ha sido, cuando menos, suficiente para oxidar completamente los componentes.
- Combustión estequiométrica o neutra: se trata de una combustión completa en la que se ha empleado la cantidad exacta de aire según los componentes químicos del combustible. Es en realidad una combustión ideal, que solo puede conseguirse en laboratorio.
- Combustión incompleta: es aquella cuyos gases de combustión contienen compuestos parcialmente oxidados llamados inquemados, como monóxido de carbono (CO), hidrógeno, azufre y otros resultantes según el combustible utilizado.

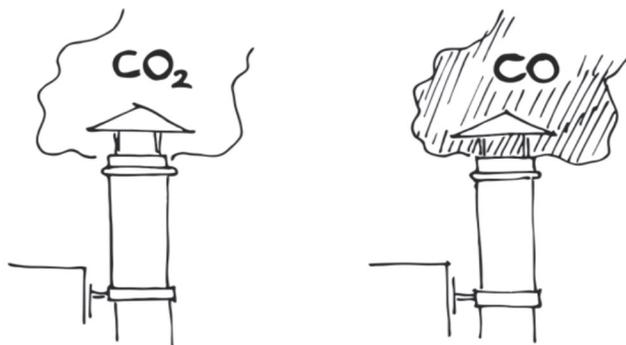


Ilustración 10. Combustión A Completa, Combustión B Incompleta

Tomando en cuenta la velocidad a la que se da una combustión, esta se puede clasificar en:

- Combustión lenta o combustión sin llama: corresponde a una oxidación lenta, con temperaturas lo suficientemente bajas para que no exista llama. (Ejemplo: oxidación del hierro y en este tema en general, temperaturas superficiales menores a 500 °C).
- Combustión viva o combustión con llama: corresponde a una oxidación con generación de luz y puede darse de dos maneras: incandescente (brasas) o flama (llama), en forma separada o simultánea.
- Explosión: corresponde a una oxidación a gran velocidad (km/s) dada en ciertas mezclas de aire y gases combustibles. Su estudio excede el alcance del presente trabajo.

La combustión en espacios cerrados

Una vez iniciada la combustión en un espacio cerrado (habitación), las modalidades del incendio consecuente serán, a menudo, impredecibles dada la cantidad de factores que intervienen. Las variables a considerar serán las modalidades de transmisión del calor, la ventilación del incendio y la identificación de las posibles fuentes de ignición.

La totalidad de los incendios confinados genera combustiones vivas e incompletas con mayor o menor medida de inquemados sólidos y otros gases (asfixiantes, tóxicos y/o irritantes), lo que representa un peligro para las personas.

Transmisión del calor

A los efectos del presente trabajo, *calor* se entenderá como una transferencia de energía de un cuerpo a otro cuando existe una diferencia de temperatura, que se da siempre desde el cuerpo más caliente al más frío (de mayor a menor). Se pueden diferenciar tres modalidades de transferencia del calor: la conducción, la convección y la radiación (ver Ilustración 11).

- Conducción. Transferencia de calor por el contacto directo entre dos cuerpos, sin desplazamiento de materia.
- Convección. Transmisión de calor por medio de un fluido, sea gas o líquido, con desplazamiento de materia.

- Radiación. Transmisión de calor a través de ondas electromagnéticas. Tiene lugar cuando la energía que se desplaza a través del espacio es absorbida, reflejada o transmitida por un cuerpo incandescente o a elevadas temperaturas.

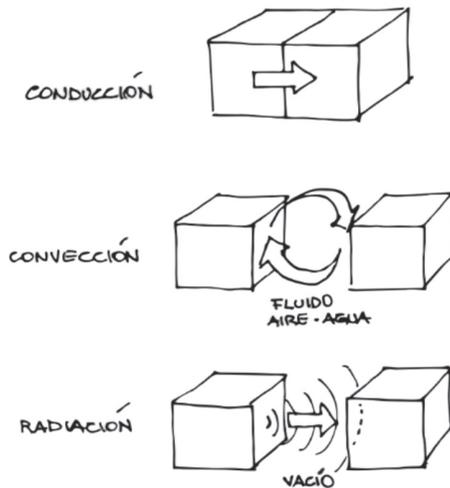


Ilustración 11. Trasmisión del calor

Durante un incendio confinado se darán las tres modalidades de transmisión de calor en mayor o menor medida según sea el caso específico, los distintos tipos de materiales existentes en el lugar y la complejidad del escenario.

Ventilación del incendio

La cantidad de oxígeno del aire interviniente en el proceso de combustión determinará el tipo de incendio, según sea:

- Combustión dependiente del combustible: sucede cuando además del aire existente en el recinto, ingresa aire suficiente para quemar todos sus componentes y permitir la propagación del incendio. En este caso, el desarrollo del incendio dependerá del combustible existente y los humos generados serán relativamente libres de productos inquemados (CO_2 y otros).
- Combustión dependiente de la ventilación: sucede cuando el ingreso de aire al recinto no es el suficiente para quemar todos los combustibles. En este caso, el desarrollo del incendio dependerá de la ventilación y generará mayor cantidad de productos inquemados (hollín y otros), que se acumularán en el techo, incrementando lentamente la temperatura superficial de los objetos de la habitación. Cuando la temperatura de la capa de humo se acerca a los $550\text{ }^\circ\text{C}$, puede producirse lo que se denomina *flash over* o *combustión súbita generalizada*.

Cuanto más intensa sea la combustión, mayor cantidad de oxígeno demandará. Si el ingreso de aire no es suficiente, la combustión será defectuosa o incompleta. Como conclusión, se puede establecer que una combustión se desarrollará tanto como lo permita su alimentación de aire, siendo la regla general la combustión incompleta.

Fuentes comunes de ignición

- Químicas. Calor emitido por oxidaciones, completas o incompletas (incluso parciales) y en algunos casos espontáneas dadas en los materiales que componen el sistema.
- Eléctricas. Instalaciones eléctricas propias del edificio, como recalentamiento de conductores y/o piezas eléctricas debido a sobrecargas, arcos, corrientes de fuga, estática, corrientes atmosféricas, etc.
- Mecánicas. Equipos mecánicos instalados que se encuentran trabajando fuera de su rango de diseño (por ejemplo, ventilador actuando sobre un filtro colmatado, eje de motor desalineado, etc.) o procesos mecánicos generados por movimiento de partes en forma natural (por ejemplo, calentamiento generado por rozamiento de granos en silos de almacenaje). En resumen, calor generado por fricción o rozamiento entre dos piezas sólidas, con generación de gases combustibles y probable emisión de chispas.

Test de autoevaluación módulo 8

1. Indique la categorización de los materiales combustibles aplicada al tema y considerada en el presente manual.
2. ¿Cómo describiría un material combustible sólido?
3. ¿En qué estado físico un combustible líquido es capaz de arder?
4. ¿En qué condiciones un combustible gaseoso puede generar una explosión?
5. Defina el proceso físico-químico de la combustión considerado en el presente manual.
6. Describa las bases de la teoría de la extinción del fuego.
7. Describa la serie de sucesos encadenados vinculantes de los tres componentes del triángulo del fuego.
8. Describa las reacciones resultantes de la combustión según los productos finales de esta y según su velocidad de propagación.
9. ¿Qué significa *ventilación de un incendio*?
10. ¿Cuál es la diferencia entre una combustión dependiente de la ventilación y una combustión dependiente del combustible?
11. ¿En qué condiciones se puede generar un *flash over* o *combustión súbita generalizada*?
12. Defina y describa las fuentes más comunes de ignición.

Generación de humos y elementos resultantes de la combustión

Definición

El humo se define como un producto gaseoso que se desprende de una combustión, compuesto por vapor de agua, monóxido o dióxido de carbono según sea esta última completa o incompleta, y partículas de inquemados incluidas en el gas. A efectos prácticos, los gases que se producen en un incendio pueden clasificarse en tres clases: asfixiantes, tóxicos e irritantes.

Composición, cantidad y movimiento del humo generado en un incendio

En los incendios en espacios cerrados, prácticamente la totalidad de los procesos de combustión son incompletos. Es así que los humos resultantes de estas combustiones se conforman de vapor de agua, monóxido de carbono (gas asfixiante) y partículas de inquemados, las que definirán su color. Asimismo, dependiendo del material en combustión, podrán generarse otros tipos de gases, tóxicos y/o irritantes, los que aún en concentraciones mínimas y bajos tiempos de exposición pueden llegar a ser letales (cianuro y cloruro de hidrógeno, ácido clorhídrico, anhídrido carbónico y otros).

Para nuestro enfoque del tema, se considerará que las temperaturas de los gases de combustión mayores a los 120 °C provocan en las personas daños severos y en algunos casos irreversibles, aún en breves períodos de exposición.

En otro orden, las temperaturas de los gases calientes de combustión deberían mantenerse en todos los casos, por debajo del rango 500-600 °C, de manera de evitar la inflamación súbita o *flash over* en el recinto.

Se deduce entonces que la ventilación del incendio, programada a través del diseño e implementada por medios mecánicos, es fundamental para la su dilución y reducción de la temperatura de los gases de combustión.

El volumen del humo generado dependerá de la cantidad y composición de los elementos combustibles que existan en el interior del recinto y su comportamiento frente al fuego. Podríamos estimar, en forma muy general, que el volumen de humo producido es igual al volumen de aire que desplaza. El volumen de humo producido es función de la dimensión del fuego, el calor desprendido y la altura de la capa de aire limpio (distancia del piso a la cota inferior de la capa superior de humo). Dado que la combustión en estas condiciones es un proceso continuamente cambiante e impredecible, resulta prácticamente imposible calcular la cantidad real de humo que se generará en un incendio.

Además de la composición del humo generado en un incendio, su movimiento en el edificio lo convierte en la primera causa de muerte y daños severos en incendios en espacios cerrados. Durante el incendio, los humos viajan en forma horizontal y luego en forma vertical ascendente por todos los huecos, ductos, vanos interiores y/o fachadas existentes en el edificio, afectan múltiples zonas y propagan el incendio por calentamiento superficial del equipamiento. Esto sucede por su menor densidad y mayor temperatura con respecto al aire circundante.

Sobre este tema, diversos estudios y ensayos en modelos de habitaciones a escala reducida y a escala real determinaron el siguiente comportamiento:

Fase 1. En un punto de la habitación se inicia un incendio y se produce la llama. A partir de este punto, el incendio progresa exponencialmente, entrando en fase de crecimiento.

- Aparece lo que se denomina *penacho o plum* del fuego, que genera una columna vertical de gases de combustión calientes.
- Esta columna arrastra el aire del ambiente y lo incorpora al proceso de combustión.

Fase 2. La columna de humo generada choca contra el techo y se desplaza en forma horizontal hasta encontrar la pared contraria de la habitación.

- Se generan dos zonas en la habitación: zona de humo caliente (capa contra el techo) y zona de aire de ambiente.

Fase 3. El proceso continúa a la vez que el espesor de la zona de humo caliente aumenta, y la zona de aire de ambiente disminuye. En esta fase, la temperatura de los humos y el calor radiante comienza a calentar otros elementos de la habitación. En resumen, la propagación de un incendio se produce por la ignición de los materiales existentes en la habitación, los que han ido elevando su temperatura superficial, al principio, por convección, si los materiales se encuentran en la zona caliente, y por radiación si están fuera de ella (o por ambas a la vez en el proceso descontrolado).

Fase 4. Si la fase 3 se prolonga, la temperatura de la zona de humo caliente puede llegar a más de 500 °C y aumentar en forma simultánea la temperatura superficial de los elementos de la habitación, dando origen a lo que se conoce como *flash over o combustión súbita generalizada*. Una vez que esta se produce, toda la habitación se encuentra implicada en el incendio. Un incendio en esta etapa puede generar atmósferas explosivas en el caso de ingreso brusco de aire al escenario (los inquemados sólidos que se encuentran suspendidos en el humo y la gran avidez de comburente se combinan para posibilitar una explosión o tormenta de fuego).

Las siguientes gráficas nos muestran los datos medidos durante un ensayo de incendio en una habitación dada y en otra distante, ubicada en la misma planta, durante un lapso acotado. Se observan la evolución de la temperatura, así como los porcentajes de oxígeno, monóxido de carbono y otros gases resultantes de la combustión (por ejemplo, el cianuro de hidrógeno, entre otros). Asimismo, en la segunda gráfica, se ratifica la migración del humo a habitaciones distantes (ver Ilustración 12 e Ilustración 13, respectivamente).

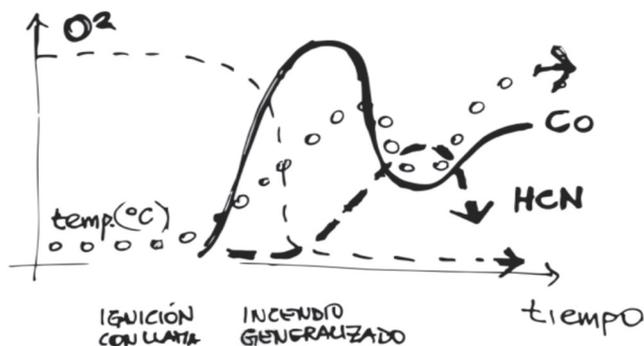


Ilustración 12. Gráfica de sucesos en el tiempo en una habitación en la cual se desarrolla un incendio

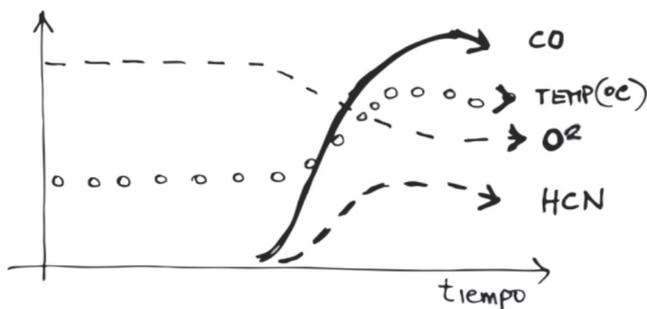


Ilustración 13. Gráfica de sucesos en el tiempo de una habitación distante al incendio

Efectos del humo sobre las personas

Los humos generados en un incendio se clasifican en asfixiantes y tóxicos e irritantes.

Los gases asfixiantes son aquellos capaces de producir asfixia en las personas al alterar la composición de oxígeno en la sangre. El monóxido de carbono es clasificado como un gas asfixiante por la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) de Estados Unidos. Dado que este gas desplaza el oxígeno ocupando su lugar, provoca grave sintomatología, que incluye la muerte por asfixia o falta de oxígeno en el torrente sanguíneo. Los efectos de este gas se ven acentuados en personas con trastornos respiratorios previos. El monóxido de carbono se genera en todas las combustiones incompletas, independientemente del tipo de combustible.

Los gases tóxicos e irritantes son aquellos capaces de producir reacciones irritantes y/o envenenamiento en las personas a través del sistema respiratorio y circulatorio. En lo que se refiere a los humos clasificados como tóxicos y/o irritantes, su generación y efecto dependerá del tipo de material en combustión, del grado de concentración en el aire y tiempo de exposición. Estos gases se generan en las combustiones incompletas de elementos manufacturados total o parcialmente, con materia prima derivada del petróleo (materiales plásticos). Los daños en las personas suelen ser muy severos aún en concentraciones mínimas y períodos muy cortos de exposición.

Los gases de combustión se encuentran a altas temperaturas, dependiendo estas de la etapa del incendio, la composición del combustible, la ventilación del incendio, la

concentración de inquemados y otras variables prácticamente impredecibles. La capacidad de resistencia del cuerpo humano frente a los gases calientes de la combustión es muy limitada, y depende de la humedad existente en el cuerpo, de la persona (edad y estado físico) y naturalmente, del tiempo de exposición. La inhalación de cualquiera de los gases producto de una combustión puede quemar las vías respiratorias superiores provocando lesiones internas, la mayoría de las veces severas y de difícil recuperación.

Conclusiones

El humo generado en un incendio es el factor de mayor peligrosidad para las personas y contribuye en todos los casos al agravamiento del siniestro. Se establece que el humo:

- Por su capacidad de migración a altas temperaturas, favorece la propagación del incendio.
- Por esta misma razón, puede afectar a personas que se encuentran en zonas alejadas del siniestro.
- Puede inhabilitar las vías de evacuación del edificio.
- Dificulta la aproximación para los trabajos de extinción y genera zonas de riesgo agregado para los combatientes.
- Los daños pueden ser más extensos que los sufridos directamente por el fuego. Materiales alejados pueden verse destruidos por corrosión, por condensación o directamente por impregnación de inquemados (particularmente los equipos electrónicos).

El correcto diseño de la zonificación y compartimentación de un edificio, así como la incorporación de sistemas de control o manejo de humos, permitirá eliminar o mitigar el impacto del humo en la construcción y en sus ocupantes.

Test de autoevaluación módulo 9

1. ¿Cuál es la primera causa de daño o muerte en un incendio?
2. ¿Cuál es la composición del humo generado en un incendio estructural?
3. ¿Cómo se clasifican los gases de combustión generados en un incendio?
4. ¿Por qué es importante evitar que la temperatura de los humos llegue o supere los 500 °C?
5. ¿Cuáles son los efectos del humo en las personas?
6. ¿Se puede determinar con certeza el volumen de humo generado en un incendio?
7. ¿Cómo se propaga el humo en el interior de un edificio?
8. Describa el comportamiento del humo según ensayos en modelos a escala real.
9. ¿Cuál es la diferencia entre un gas de combustión asfixiante y un gas de combustión irritante?
10. ¿Cómo se pueden minimizar o evitar los daños producidos por los humos generados en un incendio estructural?

Parte 5

Marco técnico en arquitectura,
incidencias en el edificio y su diseño

Exigencias a los materiales constructivos frente al fuego

A todos los materiales utilizados en construcción, terminaciones y equipamiento de un edificio le serán exigidas determinadas características de seguridad contra incendios y protección de personas. El arquitecto deberá exigir al proveedor la documentación que acredite el comportamiento frente al fuego del material a incorporar en su edificio, tanto sea constructivo, de revestimiento o de equipamiento, y podrá exigir al fabricante copia certificada por laboratorio de los ensayos realizados y las normas que se aplicaron en estos y que garantizan las condiciones indicadas en las hojas técnicas. Las fichas técnicas de cada material o ítem elegido deberán contener esta información, en forma clara y accesible. A su vez, esta información formará parte de la documentación y literatura de obra.

Parámetros de exigencia

Se establecen las exigencias a los materiales constructivos frente al fuego (por su propia definición, combustibles en estado sólido) según los siguientes parámetros: combustibilidad, velocidad de combustión e índice de desarrollo de humos.

- **Combustibilidad.** Capacidad de combustión de un material; se define en base a su respuesta frente al fuego. Los materiales se clasifican en combustibles y no combustibles. A su vez, los materiales se clasifican por grados de combustibilidad y adoptan nomenclaturas diferenciadas en categorías que van desde *incombustible* hasta *explosivo*.
- **Velocidad de combustión.** Velocidad a la que se dan las reacciones de oxidación propias de una combustión con llama. Se define a partir de una relación entre la masa del material y el tiempo; en resumen, indica la pérdida de masa por unidad de tiempo. La comparación de cada material con un combustible estándar define un coeficiente m , conocido como *índice de propagación de llamas*:

$$m = \frac{\text{v de combustible a ensayar}}{\text{v de combustible estándar}}$$

Si $m \geq 1$: alta velocidad de combustión

Si $m < 1$: baja velocidad de combustión

- **Índice de desarrollo de humos.** No existe al momento clasificación aceptable, si bien existen ensayos al respecto. Se ha intentado determinar en forma indirecta a través de la medición de la cantidad de oxígeno resultante en un espacio en el que se combustiona del material ensayado, así como por la determinación de la densidad óptica de humos o la medición de

ppm de inquemados, sin llegar a consenso. La norma estadounidense NFPA 255/ASTM e 84 tiene como objetivo proporcionar una medición que compara la propagación de la llama por la superficie y la emisión de humo de algunos materiales con las respectivas mediciones de una pieza testigo en madera, pero solo se aplica en Estados Unidos.

Existen varias normas que en forma única o combinada utilizan estos parámetros para establecer clasificaciones de los materiales. Como no siempre coinciden los criterios de clasificación los resultados pueden resultar confusos. Por ejemplo, la norma IRAM 11910 de Argentina (ver Tabla 9) clasifica a los materiales en seis categorías en considerando un orden creciente de riesgo, que va desde los que se consideran incombustibles (1) hasta los de muy elevada combustibilidad (6).

Clasificación	Descripción
RE1	Incombustible.
RE2	Muy baja propagación de llama.
RE3	Baja propagación de llama.
RE4	Mediana propagación de llama.
RE5	Elevada propagación de llama.
RE6	Muy elevada propagación de llama.

Tabla 9. Clasificación de los materiales según IRAM 11910

Por el contrario, el Código de la Edificación de la Ciudad de Buenos Aires, Argentina (2013), replicado por otras ordenanzas provinciales, clasifica a los materiales en siete categorías en orden decreciente de riesgo, que van desde *explosivos* (riesgo 1) a *refractarios* (riesgo 7) (ver Tabla 10).

Clasificación	Descripción
R1	Material explosivo
R2	Material inflamable
R3	Material muy combustible. (Continúa ardiendo luego de retirada la fuente de ignición.)
R4	Material combustible. (Continúa ardiendo, pero es necesario un fuerte flujo de aire. Se consideran compuestos con hasta un 30% de materias muy combustibles.)
R5	Material poco combustible. (Se enciende a altas temperaturas.)
R6	Material incombustible. (Material que al ser sometido al calor o llama puede sufrir cambios en su estado físico sin formación de materia combustible alguna.)
R7	Material refractario. (Material que al ser sometido a elevadas temperaturas no altera ninguna de sus características físicas.)

Tabla 10. Clasificación de los materiales según Código de la Edificación de la Ciudad de Buenos Aires (Argentina)

Por otra parte, en España el real decreto RD 312/2005 estableció una clasificación del comportamiento de productos frente al fuego en las siguientes clases, dispuestas en orden creciente en cuanto a su grado de combustibilidad (M0 a M4) conforme a la norma UNE 23727 (ver Tabla 11). Esta norma actualmente obsoleta debería ser sustituida por las Euroclases, sin embargo, es posible encontrar aún información técnica de productos que hacen referencia a ella.

Clasificación	Descripción
M0	No combustible
M1	Combustible pero no inflamable. (La combustión no se mantiene cuando cesa el aporte de calor.)
M2	Inflamabilidad moderada
M3	Inflamabilidad media
M4	Inflamabilidad alta

Tabla 11. Clasificación de los materiales según normas UNE (España)

Las Euroclases, definidas en la norma europea de clasificación UNE-EN 13501-1, se expresan mediante un código que contiene una clasificación principal, comprendida entre A y F, un subíndice de humos, comprendido entre s1 y s3, y un subíndice de gotas, de d0 a d2 (Ver Tabla 12). Es así que con la clasificación según las Euroclases podemos evaluar de manera conjunta tres importantes indicadores:

Combustibilidad. Definida como la capacidad de autoencendido bajo los efectos de elevadas temperaturas, así como su posterior comportamiento obteniendo combustión o llama.

Emisión de humos. Valorando la cantidad y tamaño de las partículas sólidas en suspensión que se generan con la combustión de los materiales

Producción de gotas. Estimando la cantidad de gotas inflamadas que pueden contribuir con su desprendimiento a la propagación del fuego.

Clasificación principal	Combustibilidad	Aplicación final			Combustible	Contribución al fuego				
		Paredes techos	Suelos	Productos lineales para aislamiento de tuberías						
		A1	A1FL	A1L				no	no	grado máximo
		A2	A2FL	A2L				no	no	grado menos (duración de llama $\leq 20s$)
		B	BFL	BL				sí	sí	muy limitada
		C	CFL	CL				sí	sí	limitada
		D	DFL	DL				sí	sí	media
		E	EFL	EL				sí	sí	alta
		F	FFL	FL				Sin clasificar, sin comportamiento determinado		
Clasificación adicional	Emisión de humos	Cantidad y velocidad de emisión media alta	baja	s1	Las clases A1, E y F no admiten esta clasificación adicional.					
			s2							
			s3							
	Producción de gotas o partículas inflamadas	Sin caída en 600s			d0	Las clases A1, E y F no admiten esta clasificación adicional.				
		Sin caída durante más de 10s			d1					
Ni d0, ni d1			d2							

Tabla 12. Euroclases

Se presenta una equivalencia UNE con Euroclases en la Tabla 13.

Descripción	UNE 237272-1990	UNE EN 13501-1-2001
No combustible	M0	A1-A2-S1,d0
No inflamable	M1	B-S3, d0
Diffícilmente inflamable	M2	C-S3,d0
Medianamente inflamable	M3	D-S3, d0

Tabla 13. Equivalencias entre UNE y Euroclases

Test de autoevaluación módulo 10

1. ¿Cuáles son los parámetros exigidos a los materiales desde el punto de vista de la protección contra incendios?
2. ¿Cómo se determina la velocidad de combustión de un material dado?
3. ¿Qué define el coeficiente m y cuál es su valor aconsejable?
4. ¿Cuál es la diferencia entre la combustibilidad y la velocidad de combustión de un material dado?
5. ¿Qué parámetros consideran las Euroclases para la clasificación de los materiales?
6. ¿Cuál es la equivalencia para un material no combustible entre las normas UNE y las Euroclases?
7. Aplicando las Euroclases, ¿cómo clasificaría una construcción compuesta por: techos A1, paredes A1, pisos: A1_{FL} y aislamiento térmico en general A1_L?
8. Interprete las excepciones indicadas en la Tabla 12 de Euroclases para un material s3 (con opacidad de humos de alta cantidad y velocidad de emisión).
9. ¿Qué valor tendría el coeficiente m para un material clasificado como RE6, muy elevada propagación de llama, según IRAM 11910?
10. ¿Cuál es el papel del arquitecto en relación a este tema?

Conceptos de resistencia y estabilidad al fuego

En teoría, todo edificio debe diseñarse para el caso en que, a pesar de darse una combustión completa de todo su contenido, no se produzca el colapso de su estructura. En teoría también, se le exigirá al edificio una resistencia y estabilidad al fuego que, como mínimo, iguale el tiempo de tránsito requerido para su evacuación. En la práctica, este período de tiempo será mayor, de manera de posibilitar el combate del incendio durante un lapso prudencial establecido de antemano. El arquitecto deberá considerar seriamente la incidencia de estas exigencias (entre otras), teniendo en cuenta que son determinantes tanto en el diseño arquitectónico de áreas y sus interconexiones, así como en las modalidades constructivas y sus procedimientos de elaboración, y, de manera indirecta, en el monto de la inversión total. Para ratificar lo anteriormente expresado y recalcar su alta incidencia en todos los rubros de construcción, particularmente en la inversión, comentamos, a modo de ejemplo, el caso en que, si la norma exige para los cerramientos de una escalera de incendio un tiempo definido de resistencia al fuego (y esta escalera es parte de la vía de evacuación), esta condición deberá aplicarse a toda la estructura del edificio, dado que la estructura no debería colapsar antes que la vía de evacuación.

El presente capítulo responde a este tema e introduce nuevos enfoques de diseño y modalidades constructivas, siempre desde el punto de vista de la seguridad contra incendios y aplicando la terminología técnica usual en esta área. En resumen, se establece que las exigencias del comportamiento ante el fuego de cualquier elemento constructivo están definidas por los tiempos durante los cuales dichos elementos deben mantener las siguientes condiciones:

- Integridad física, estabilidad y capacidad portante.
- Ausencia de emisión de gases inflamables por la cara no expuesta.
- Estanqueidad al paso de las llamas o a gases calientes.
- Resistencia térmica suficiente para impedir que se produzcan en la cara no expuesta temperaturas superiores a las que establecen las normas.

Estas exigencias se resumen bajo dos condicionantes básicas: resistencia al fuego de los cerramientos y estabilidad al fuego de las estructuras.

Concepto de resistencia al fuego

La resistencia al fuego es equivalente al tiempo, medido en minutos, que un material o cerramiento puede resistir el fuego. Se trata de una variable de aplicación a elementos constructivos y no a los materiales aislados, dado que estos deben estar formando parte integral de un *sistema* resistente al fuego. Es por esto último que se entiende que el uso de tal o cual material puede incidir en la resistencia al fuego de un cerramiento.

La resistencia al fuego se define mediante ensayos realizados sobre modelos reales en los que un prototipo de cerramiento (panel, tabique, muro, puerta cortafuego, etc.), construido con determinado material y bajo determinados procedimientos, se somete en laboratorios a condiciones conocidas, similares a las de un incendio (ver Ilustración 14). Los procedimientos de estos ensayos, en su totalidad, son normalizados, es decir, aplican determinada normativa relacionada. Una vez obtenidos y analizados los resultados, los ensayos se certifican y se dice que el producto está homologado (apto y respaldado en su aplicación para un uso determinado).

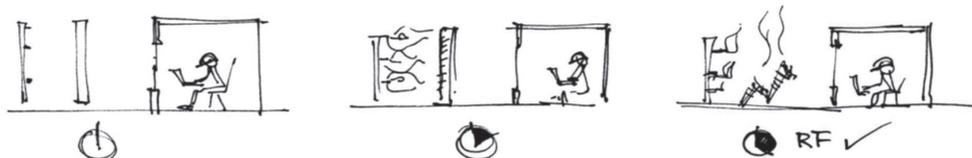


Ilustración 14. Ejemplos de ensayos de componentes constructivos en laboratorios especializados

Concepto de estabilidad al fuego

La estabilidad al fuego es equivalente al tiempo, medido en minutos, que una estructura puede mantener su capacidad portante sin colapsar ante la acción del fuego. La determinación de esta variable es algo más compleja ya que cualquier estructura se conforma de partes que trabajan en conjunto y son claves en el equilibrio de los pares de fuerzas resultantes a partir de las cargas y condiciones a las que es sometida. Las elevadas temperaturas de los gases y las llamas condicionan en todos los casos la respuesta de la estructura en forma parcial primero y luego global, es decir, la pérdida de capacidad portante se da gradualmente hasta llegar al colapso y suele originarse en el punto más débil del sistema y a partir de componentes metálicos, aún en los casos de estructuras en hormigón armado y madera, dada la elevada conductividad de los metales (calentamiento y colapso de bulones vinculantes en piezas de madera, desprendimiento de la capa superficial del hormigón y exposición parcial directa al fuego de varillas de acero, etc.). En definitiva, la estabilidad al fuego de una estructura se determina a través de alguna de las siguientes vías:

- Aplicación de un método adecuado de cálculo teórico experimental (manual o a través de modelos de cálculo o software específico).
- Definición teórica del grado de estabilidad al fuego de la estructura en base a datos aportados por el revestimiento agregado para protección de la estructura.
- En menor medida a través de ensayos normalizados, dada la dificultad de generar modelos a escala y la falta de globalidad de los resultados.

Sea cual sea el método aplicado, el tiempo mínimo de estabilidad al fuego exigible a la estructura será aquel que permita la salida de todos los ocupantes del edificio y el inicio del ataque al incendio.

Tipos de estructuras y su relación con el fuego

Las estructuras son afectadas por el fuego según el tipo de material y modalidad con que fueron diseñadas y construidas. Para tener una referencia de cómo afectan las elevadas temperaturas a los materiales estructurales, diremos que a 400 °C el acero se vuelve dúctil y a 600 °C se produce una bajada brusca de su resistencia. Es importante considerar este punto ya que en todas las estructuras se encuentra presente el acero (embebido en hormigón, a la vista o como parte vinculante), por lo que en definitiva será el detonante en lo que se refiere a la estabilidad del conjunto. A continuación, desarrollaremos este punto para determinadas tipologías de estructuras.

Estructuras conformadas por piezas de madera maciza, vinculadas con elementos metálicos (hierro o acero)

Las estructuras en madera conformadas por piezas macizas vinculadas entre sí cuentan con una resistencia mecánica y una resistencia al fuego superior a las estructuras de acero no protegido. Estas estructuras, sometidas al fuego, tienen una pérdida de resistencia mecánica paulatina en el tiempo según sea la pérdida de su sección útil ante las llamas. La capa carbonatada que se forma en la superficie de la pieza de madera ante la acción del fuego (brasa o carbón) actúa como una capa aislante, retrasando la pérdida de sección de la pieza, lo cual es fundamental a la hora de la estabilidad portante del conjunto. Asimismo, la humedad propia de la madera (los valores de humedad dependerán de la especie vegetal y su tratamiento de secado posterior) retarda la acción del fuego, ya que los tiempos de evaporación suelen ser mayores que en cualquier otro material. Otro punto a favor resulta en la baja conductividad del material, que se traduce en su no deformación bajo la acción del calor. En resumen, el punto débil de estas estructuras se da en la resistencia al fuego de los elementos metálicos de vinculación (planchuelas, pernos, bulones, lingas, tensores, vientos, etc.) que, sometidos a la acción del fuego, pueden deformarse y provocar la pérdida de cohesión de la estructura en su conjunto.

Estructuras conformadas por piezas de acero estructural, vinculadas con elementos de iguales características

Las estructuras de acero cuentan con una resistencia mecánica inversamente proporcional al aumento de la temperatura a la que están sometidas. Las razones vienen dadas por la respuesta de los elementos metálicos frente al fuego, que, debido a su alta conductividad térmica, transmiten el calor de un punto a otro, al mismo tiempo que se deforman, comprometiendo piezas completas en lapsos breves y más tarde la totalidad de la estructura. La temperatura de colapso variará según las cargas a las que está sometida y en los apoyos, pero, a través de ensayos realizados en diferentes aceros estructurales, se puede establecer que esta oscila entre 450-500 °C (ver Ilustración 15).

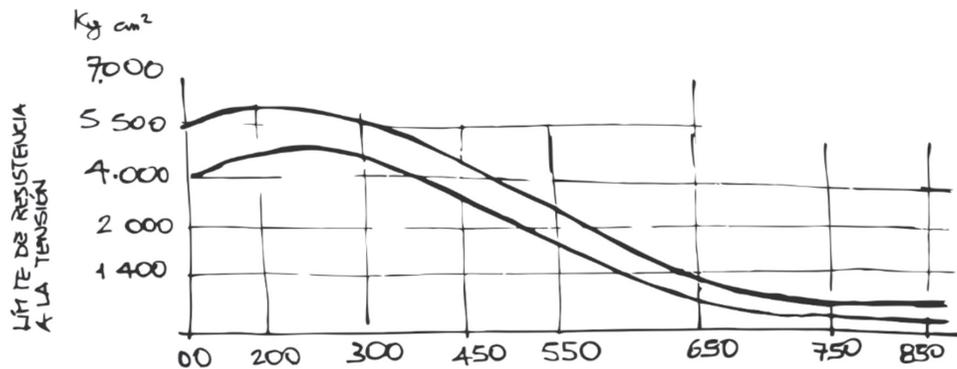


Ilustración 15. Gráfico ilustrativo de cómo varía la resistencia de aceros estructurales a elevadas temperaturas. El comportamiento real varía según la forma, dimensión y tipo de conjunto expuesto a condiciones de incendio

Como conclusión, para aumentar la resistencia al fuego de las partes y la estabilidad al fuego de toda estructura metálica, esta deberá ser protegida completamente con materiales ignífugos, de manera de demorar la acción directa del fuego sobre el acero.

Las modalidades de protección varían desde pinturas intumescentes, morteros ignífugos proyectados, hasta encajonamientos con materiales adecuados (paneles de yeso, madera dura, protección con agua, rociadores, etc.), y debe considerarse este costo en el global de la obra (algo que no suele tenerse en cuenta).

En lo que se refiere a cubiertas metálicas livianas (chapas de acero o aluminio), se destaca que no cuentan con la mínima resistencia al fuego exigible ya que, por su pequeña sección, se funden y deforman en primera instancia durante el incendio.

Estructuras en hormigón armado

El hormigón comienza a deteriorarse a temperaturas superiores a los 380 °C en períodos prolongados de tiempo. A 400 °C se produce una pérdida de resistencia entre 15-25 %, según sea de áridos calizos o silíceos. Por encima de los 800 °C, deja de poseer una resistencia a la compresión adecuada, y se debilitará en mayor medida al enfriarse. Se considerará que el hormigón pierde menos capacidad a altas temperaturas que el acero, pero cuando el hormigón está expuesto al fuego cuantificar esta situación se vuelve difícil ya que, además de las variables propias de cada incendio (carga de combustible, ventilación, etc.), el comportamiento del hormigón se relacionará con su composición: densidad, porosidad, tipo de árido utilizado y otros métodos mecánicos aplicados durante la construcción (vibrado). Básicamente, los principales efectos del fuego en el hormigón armado podrían resumirse en:

- daños a la adherencia por salto térmico entre las armaduras de acero y el hormigón que las recubre y pérdida de espesor del recubrimiento debida al efecto de desprendimiento por explosión (desprendimiento).
- secciones debilitadas o mal construidas (disminución de la capa entre la cara inferior y la tangente del acero estructural), que permite que las altas temperaturas atraviesen el hormigón y lleguen a las armaduras muy rápidamente. Por la alta conductividad del acero, este se calienta en forma más rápida que el hormigón y dilata, haciendo estallar la capa expuesta al

fuego. La adherencia se daña precisamente por ese salto térmico (esta situación se agudiza para hormigones pretensados al trabajar precisamente por adherencia).

- proceso de desprendimiento a los 100-150 °C, como resultado del cambio de estado del agua intersticial, la que se convierte en vapor aumentando la presión hasta el punto de desprendimiento.
- exposición de las armaduras cuando el acero eleva rápidamente su temperatura y disminuye la capacidad portante de la estructura en función de este punto, resultando al final en una rotura cortante del hormigón y por ende su colapso.
- disminución de la resistencia del hormigón cuando su temperatura supera los 380 °C durante períodos prolongados.
- una disminución de la resistencia de las armaduras de acero cuando la temperatura supera los 250 °C.
- daño o destrucción de las juntas y sellados, lo que en determinadas estructuras puede conducir al colapso.

Estructuras mixtas

Para el caso de otras estructuras o estructuras mixtas, se considerará lo indicado para los casos anteriores.

Existen en el mercado sistemas estructurales que, basados principalmente en el uso de los materiales en nuevas modalidades constructivas y la disminución del rubro de mano de obra, prometen una notoria disminución de los costos. Estas estructuras deberán estudiarse en forma exhaustiva desde el punto de vista del fuego ya que, por su propio principio de economía, no cuentan con las aislaciones, protecciones, espesores, etc., mínimos aconsejados.¹³

Test de autoevaluación módulo 11

1. ¿Cuál sería el tiempo teórico mínimo de RF y EF exigible a una estructura?
2. ¿Cómo inciden en el trabajo de un arquitecto las exigencias específicas de RF y EF en su proyecto?
3. ¿Cuáles son las exigencias del comportamiento frente al fuego de cualquier elemento constructivo?
4. Defina el concepto de resistencia al fuego, RF.
5. ¿Cómo se determina el tiempo de rf de un elemento constructivo?
6. ¿En qué se basan los ensayos modelo de RF realizados en laboratorios?
7. Defina el concepto de estabilidad al fuego, EF.
8. ¿Cómo se determina la EF de una estructura?
9. ¿Cómo afecta el fuego a las estructuras?
10. ¿Cómo afecta el fuego a las estructuras conformadas con piezas de madera maciza y piezas metálicas de unión?
11. ¿Cuál es la diferencia de comportamiento frente al fuego entre una estructura construida en su totalidad en acero estructural y otra en hormigón armado?
12. ¿Cómo se pueden aumentar la RF y la EF de una estructura con partes y piezas de acero?

¹³ Estas estructuras suelen ser utilizadas para cubrir grandes áreas en programas como depósitos, hangares, talleres y/o industrias. En estos casos se evaluará el tiempo de estabilidad al fuego del edificio, frente a los tiempos de evacuación de todos sus ocupantes.

13. Resuma los efectos del fuego en una estructura de hormigón armado tradicional.
14. ¿En qué punto se inicia el colapso de una estructura frente al ataque del fuego?
15. ¿Cuál es la diferencia entre los conceptos de RF y EF de una edificación?

Clasificación de las edificaciones

Introducción, códigos modelo de edificación

En este punto retomamos y hacemos referencia a lo indicado en el capítulo 4 de la parte I («La norma, los códigos constructivos modelo y los entornos de aplicación»), donde se expresaba que para edificaciones nuevas y/o existentes, la seguridad contra incendios se incluirá como un ítem más a considerar dentro de códigos modelo de edificación, en los que se establecen los requisitos mínimos para salvaguardar la salud pública, la seguridad y el bienestar de los ocupantes.

La necesidad de relacionar los objetivos perseguidos por estos ambiciosos códigos modelo de edificación con los aspectos técnicos constructivos, referidos a la RF y EF de los cerramientos y estructuras (incluyendo todas sus combinaciones posibles), exige una estricta clasificación de las edificaciones para asegurar resultados similares para casos similares. Haremos referencia al Código Técnico de Edificación (España), que incluye el capítulo Seguridad contra incendios (SI), y al International Building Code (Estados Unidos), que en sus capítulos 7, 8, 9 y 10 hace refiere al tema de la seguridad y lo relaciona con otros temas como *ocupación* o *destino* en forma transversal.¹⁴

Clasificación de las edificaciones según el International Building Code

El ibc, un tanto más complejo en su lectura y más amplio en la información considerada, establece cinco tipos diferentes de construcciones: Tipo I, II, III, IV y V, las que clasifica en dos grandes grupos: no combustibles (tipos I y II) y combustibles (tipos III al V). A cada una de estas categorías le son exigidos determinados rangos de RF para tres componentes de su edificación: muros a la calle, estructura y pisos. Por ejemplo, a una construcción de tipo I, o sea no combustible, le será exigido, de acuerdo a Tabla 14:

Tipo de construcción	Clasificación:	RF Muros a la calle	RF estructura	RF piso	Etiqueta
Tipo I	No combustible	4	4	3	443

Tabla 14. Tabla ejemplo de clasificación según IBC

¹⁴ En nuestro medio aún no se ha dado la vinculación transversal completa entre las exigencias planteadas por la DNB en sus instructivos técnicos (y otros actores sociales) y lo exigido por la reglamentación municipal. De cualquier manera, estos modelos elegidos resultan de gran utilidad para la iniciación en el tema.

Asimismo, el IBC relaciona los tipos constructivos con los acabados interiores, los que clasifica en tres categorías, A, B y C, según su índice de propagación de llama, así como, con el tipo de ocupación del edificio y su altura de evacuación (ver Tabla 15). Considerando estas variables se llega a definir en forma muy certera el tipo constructivo para tal o cual destino o, a la inversa, se determina la RF y EF de una edificación existente por el tipo de estructura y acabados interiores empleados, el tipo de ocupación y la altura o plantas sobre la planta baja. Por ejemplo, una edificación podría ser clasificada de la siguiente manera: Tipo IA-E, lo que significaría, edificación no combustible (I), con acabados interiores de baja propagación de llama (A) y destinado a centro educativo (E). En la sección 603 del IBC, se indican los materiales y las modalidades constructivas a aplicar para las edificaciones de tipo I y II (no combustibles), así como las excepciones consideradas. Este código modelo se basa en la normativa NFPA, con énfasis en la NFPA 220, Normas y tipos de construcción de edificaciones (ver al final Tabla 18).

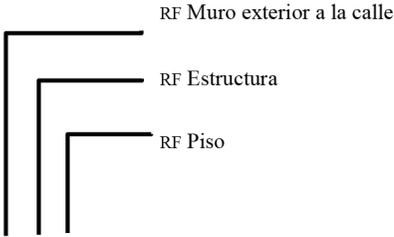
Clasificación:			
No combustibles	TIPO I	443	 <p>RF Muro exterior a la calle</p> <p>RF Estructura</p> <p>RF Piso</p> <p>4 4 3</p>
	TIPO I	332	
	TIPO II	222	
	TIPO II	111	
	TIPO II	000	
	TIPO III	211	
Combustibles	TIPO III	200	H: Indica pieza de madera
	TIPO IV	2HH	0: Sin protección alguna
	TIPO V	111	
	TIPO V	000	

Tabla 15. Clasificación de las construcciones (CNCE, Estados Unidos)

Clasificación de las edificaciones según el Código Técnico de Edificación CTE, España

El CTE, en su capítulo si, establece una clasificación de locales y zonas de riesgo especial en tres categorías: riesgo bajo, medio y alto. Esta clasificación se basa principalmente en parámetros mensurables como superficie o volumen y destinos de los locales y/o las zonas (ver Tabla 16).

Locales y zonas de riesgo especial alto		
Tipo	Superficie o volumen	Destino
Local	-	Cuarto de baterías de acumuladores de tipo no estanco centralizadas
Zonas	$V > a 400m^3$	Talleres de mantenimiento, depósitos de lencería, mobiliario, limpieza, etc.
Locales y zonas de riesgo especial medio		
Local	$S > 15m^2$	Depósito de basuras y residuos
Zonas	$S > 50 m^2$	Archivos de documentos, depósitos de libros o acumulación de papel
Local	$S > 20m^2$	Cocinas, excepto viviendas
Zonas	$V > 200m^3$	Talleres de mantenimiento, depósitos de lencería, mobiliario, limpieza, etc.
Locales y zonas de riesgo especial bajo		
Local	$5 m^2 > S > 15 m^2$	Depósito de basuras y residuos
Zonas	$25 m^2 > S > 50 m^2$	Archivos de documentos, depósitos de libros o acumulación de papel
Zonas	$100m^3 > V > 200m^3$	Talleres de mantenimiento, depósitos de lencería, mobiliario, limpieza, etc.
Zonas	-	Garajes de cinco plazas máximo
Nota: Para los locales y las zonas no clasificadas se procederá por asimilación.		

Tabla 16. Clasificación de locales y zonas de riesgo especial (adaptada de ex NBE-CPI Capítulo 4.19.1 Locales y zonas de riesgo especial, clasificación actual CTE)

Luego de esta clasificación, define las exigencias frente al fuego de los cerramientos (paredes, techos, elementos estructurales y revestimientos) según la categoría del riesgo. Incluye también exigencias a los elementos estructurales considerando el destino y particularmente la altura de evacuación del edificio (ver Tabla 17).

Uso del recinto inferior al forjado considerado	Plantas de sótano	Plantas de piso			
		Máxima altura de evacuación del edificio.			
		< 8m	< 15m	< 28m	>28m
Vivienda unifamiliar	EF-30	EF-15	-	-	-
Vivienda residencial	EF-90	EF-60	EF-90	EF-90	EF-120
Docente, administrativo	EF-90	EF-30	EF-60	EF-90	EF-120
Comercial, pública concurcencia	EF-120	EF-60	EF-90	EF-120	EF-120
Hospitalario	EF-120	EF-90	EF-90	EF-120	EF-180

Tabla 17. Estabilidad al fuego exigible a los elementos estructurales. (Ex NBE-CPI Capítulo 3. Tablas)

Cabe destacar que las tablas admiten dos lecturas, la de diseño para edificios nuevos y la de ratificación para edificios existentes.

Resistencia al fuego de las construcciones Tipo I a Tipo V										
Muros portantes exteriores:	Tipo I (A, B)		Tipo II (A, B, C)			Tipo III (A, B)		Tipo IV (A)	Tipo V (A, B)	
	443	332	222	111	0	211	200	2HH	111	0
Que soportan más de una planta	4	3	2	1	0*	2	2	2	1	0*
Que soportan una única planta	4	3	2	1	0*	2	2	2	1	0*
Que soportan solo la cubierta	4	3	1	1	0*	2	2	2	1	0*
Muros portantes interiores:										
Que soportan más de una planta	4	3	2	1	0	1	0	2	1	0
Que soportan una única planta	3	2	2	1	0	1	0	1	1	0
Que soportan solo la cubierta	3	2	1	1	0	1	0	1	1	0
Pilares:										
Que soportan más de una planta	4	3	2	1	0	1	0	H	1	0
Que soportan una única planta	3	2	1	1	0	1	0	H	1	0
Que soportan solo la cubierta	3	2	1	1	0	1	0	H	1	0
Vigas:										
Que soportan más de una planta	4	3	2	1	0	1	0	H	1	0
Que soportan una única planta	3	2	2	1	0	1	0	H	1	0
Que soportan solo la cubierta	3	2	1	1	0	1	0	H	1	0
Suelos:	3	2	2	1	0	1	0	H	1	0
Cubiertas:	2	1 1/2	1	1	0	1	0	H	1	0
Muros exteriores sin carga:	0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*

Tabla 18. RF al fuego de las construcciones Tipo I a V

Fuente: NFPA 220, Normas y tipos de construcción de edificios

H: Piezas de madera gruesa 0: Sin protección 0*: Estos elementos no se relacionan con el tipo de construcción

Test de autoevaluación módulo 12

1. ¿Qué objetivos persigue un Código Modelo de Edificación?
2. ¿Por qué es necesaria una clasificación de las edificaciones desde el punto de vista del riesgo de incendio?
3. ¿Existe en nuestro medio un Código Modelo de Edificación que incluya la seguridad contra incendios en forma global?
4. ¿En qué parámetros se basa la clasificación de edificaciones realizada por el CTE?
5. ¿En cuál normativa se basa el capítulo SI del CTE?
6. ¿En qué parámetros se basa la clasificación de edificaciones realizada por el IBC?
7. ¿En cuál normativa se basan los capítulos del IBC relacionados al tema?
8. Describa la clasificación básica de las edificaciones desde el punto de vista de la seguridad contra incendios establecida por el IBC.
9. Describa la modalidad de lectura de la Tabla 17 del presente manual.
10. Describa la clasificación de los acabados interiores definida por el IBC.
11. ¿Qué tipo de exigencias establece el CTE para un local de riesgo alto, según la Tabla 12 del presente manual?
12. Un cerramiento con un índice de propagación de llama mayor a 75, ¿qué intensidad de exposición al fuego generará, según la Tabla 16 del presente manual?
13. Según la Tabla 15 del presente manual, ¿cómo clasificaría al acabado del cerramiento de la pregunta anterior?
14. Indique cuál es la RF mínima exigida a las vigas en una construcción de Tipo I-A, de más de una planta, según la Tabla 18 incluida en el presente manual.
15. ¿Y si la misma edificación fuera Tipo I-B?

Determinación del riesgo a través del cálculo de la carga de fuego

Definición de carga de fuego

La carga de fuego, uno de los parámetros más importantes a considerar desde el punto de vista de la seguridad contra incendios, es la totalidad del combustible disponible en un recinto acotado, expresado en energía calorífica por unidad de área —en Kcal (kilocaloría) o MJ (megajoule), según el autor—.

$$Qf = \frac{\text{cal}}{\text{m}^2} \text{ o } Qf = \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}$$

Y se calcula según la siguiente ecuación:

$$Qf = \frac{\sum P \times Pci}{Pci m \times A}$$

Donde:

- Qf: Carga de fuego del local (kg equivalentes en madera/m²).
- A: Superficie del local (m²).
- P: Peso de todo el material combustible en el local (kg).
- Pci: Poder calorífico del material combustible (cal/kg o MJ/kg).
- Pci m: Poder calorífico inferior de la madera (4.400 cal/kg).

La ecuación define la carga de fuego de un recinto como la sumatoria del peso de cada material combustible multiplicado por su propio poder calorífico inferior y dividido por el poder calorífico de la madera y por el área del recinto. La carga de fuego se expresa entonces como la cantidad de kg equivalentes en madera por metro cuadrado de un local. El valor obtenido se compara con tablas promedio y se establece de esta manera el riesgo del local. Si bien la ecuación es sencilla, el punto más complejo de resolver suele ser estimar los pesos del equipamiento existente en el local. En la práctica se aplican cuatro métodos diferentes:

- Método de pesaje (los elementos directamente se pesan).
- Método de inventario (se realiza un inventario o relevamiento de todo el equipamiento existente en el local para luego definir su peso por densidad del material).

- Método de cuestionario (mediante el llenado de planillas por los ocupantes del recinto, sin supervisión técnica).
- Método combinado (combinación de estos métodos).

Para todos los métodos se asume que:

- los materiales combustibles están distribuidos en forma uniforme en el local.
- los materiales del local pueden llegar a la combustión total, con excepción de aquellos que estén protegidos por otros, como ser el caso de papeles en un archivador metálico (este punto es importante ya que permite aplicar coeficientes de reducción según sea el caso).

A los efectos del alcance del presente manual, el cálculo puede simplificarse clasificando los materiales en tres tipos básicos:

- Celulósicos: madera, papel, cartón, etc. (4400 cal/kg).
- Textiles
- de fibras naturales (3980 cal/kg).
- de fibras artificiales (10 000 cal/kg).
- Plásticos: polietileno, polipropileno y otros (10 000 cal/kg).

Puede también considerarse un factor de reducción de 0.65 para aquellos elementos almacenados en contenedores metálicos estancos.

En cuanto al pesaje de los elementos se aconseja utilizar información contenida en catálogos técnicos o abordar el tema en forma intuitiva por aproximación.¹⁵

Aplicación del valor de carga de fuego

El valor de carga de fuego obtenido del cálculo es un indicativo de la cantidad de calor disponible en el local en caso de arder.¹⁶ A su vez, este valor nos permite calcular la cantidad del agente extintor necesario para sofocar el fuego, y es también un indicativo de las zonas o locales de riesgo en el edificio.

La NFPA 80 establece tres valores de intensidad de exposición al fuego según la carga de fuego del local (ver Tabla 19). En Uruguay, la DNB establece una clasificación similar pero expresada en MJ/m² (ver Tabla 20), la cual determina, entre otros, la cantidad, tipo y disposición de agentes extintores.

15 La simplificación del cálculo aquí descrita puede aplicarse para aproximaciones al tema y para el caso de edificaciones de riesgo moderado. Para casos más específicos y/o programas industriales, deberá considerarse el poder calorífico exacto correspondiente a cada material. La NFPA 557 *Estándar para la determinación de cargas de fuego para uso en diseño de protección contra incendios estructural, y el IT12 Carga de fuego en edificaciones y áreas de riesgo de la DNB* plantean otros métodos que podrían orientar en el cálculo. La IT de DNB también incluye cargas de fuego promedio, expresadas en MJ/m² (1 kg de madera equivale a 19 MJ).

16 Cabe apreciar que la carga de fuego indicada vale para la totalidad del local, o sea, no está indicada por unidad de área del local. Es interesante este enfoque ya que el valor de carga de fuego máximo admitido incide en forma indirecta en el tamaño del local permitiendo que este pueda ser tan amplio como se desee o tan pequeño como lo permita el valor máximo de carga de fuego admitido.

Intensidad	Carga de fuego kg/m ² de planta
Ligera	0 a 34
Moderada	34 a 73
Grave	mayor a 73

Tabla 19. Clasificación de la intensidad de la exposición al fuego según la carga de fuego (NFPA 80 A)

Riesgo	Carga de fuego
Bajo	hasta 300 MJ/m ²
Medio	entre 301 y 1200 MJ/ m ²
Alto	desde 1201 MJ/ m ²

Tabla 20. Clasificación de riesgo en función de la carga de fuego según DNB

El código IBC cruza esta clasificación con los tipos constructivos u otras variables de riesgo para definir los grados de RF necesarios a exigir a determinadas estructuras.

En cambio, el CTE si bien no incluye este parámetro en su capítulo si, se supone que fue considerado en la definición de las RF y EF indicadas en sus tablas ya que la norma anterior (NBE-CPI/91) consideraba una carga de fuego determinada para los tres tipos de zonas y locales de riesgo:

- Locales y zonas de riesgo alto. Se considerarán locales o zonas de riesgo alto los destinados al almacenamiento de productos en los que la carga de fuego total aportada por estos sea mayor a 1 500 000 MJ (358 000 Mcal).
- Locales y zonas de riesgo medio. Se considerarán locales o zonas de riesgo medio los destinados al almacenamiento de productos en los que la carga de fuego total aportada por estos sea mayor a 500 000 MJ (119 000 Mcal) y no exceda de 1 500 000 MJ (358 000 Mcal).
- Locales y zonas de riesgo bajo. Se considerarán locales o zonas de riesgo bajo los destinados al almacenamiento de productos combustibles en los que la carga de fuego total aportada por estos sea mayor a 50 000 MJ (11 940 Mcal) y no exceda de 500 000 MJ (119 400 Mcal).

Ejemplo de cálculo simplificado

Sea una oficina, de 50 m², con el siguiente equipamiento:

- Madera (biblioteca, y otros muebles)
- P1=400 kg Pc1= 4400 cal/kg
- Hilados de algodón (cortinas, tapicería)
- P2=50 kg Pc2= 3980 cal/kg
- Hilados sintéticos (alfombras)
- P3=80 kg Pc3=10 000 cal/kg
- Celulósicos (libros, papeles)
- P4=300 kg Pc4= 4500 cal/kg

La cantidad de calor desarrollada será:

- $C1 = P1 \times Pc1 = 400 \text{ kg} \times 4400 \text{ cal/kg} = 1\,760\,000 \text{ cal}$
- $C2 = P2 \times Pc2 = 50 \text{ kg} \times 3980 \text{ cal/kg} = 199\,000 \text{ cal}$
- $C3 = P3 \times Pc3 = 80 \text{ kg} \times 10\,000 \text{ cal/kg} = 800\,000 \text{ cal}$
- $C4 = P4 \times Pc4 = 300 \text{ kg} \times 4500 \text{ cal/kg} = 1\,350\,000 \text{ cal}$

$$\Sigma Ci = 4\,109\,000 \text{ cal}$$

El peso total equivalente en madera será:

$$Pm = \frac{\Sigma Ci}{Pcm} = \frac{4\,109\,000 \text{ cal}}{4400 \text{ cal/kg}} = 934 \text{ kg}$$

Y la carga de fuego:

$$Qf = \frac{Pm}{\text{área neta}} = \frac{934 \text{ kg}}{50 \text{ m}^2} = 19 \text{ kg/m}^2$$

El poder calorífico inferior se indica en cal o kcal, equivalentes a 1000 cal. Cuando se indica Mcal, se trata de megakilocalorías o el equivalente a 1 000 000 cal. La misma observación cabe para el joule.

La equivalencia entre ambas unidades de medida queda determinada por la siguiente relación: 1 MJ ~ 240 cal (o kcal).

Test de autoevaluación módulo 13

1. Defina el concepto de carga de fuego.
2. Indique en qué unidades se mide la carga de fuego.
3. ¿Qué significa *kilos equivalentes en madera* y cómo se realiza esta equivalencia?
4. ¿Qué nos indica el valor de carga de fuego de un local dado?
5. ¿Es correcto promediar los valores de carga de fuego calculados para cada local de una edificación y utilizar este valor promedio para el edificio en forma global? Fundamente su respuesta.
6. ¿Qué procedimiento de aproximación hubiera utilizado para definir el pesaje del equipamiento del local de oficinas del ejercicio de ejemplo? Fundamente para cada tipo de material.
7. ¿Qué valor de carga de fuego nos indica un local con una intensidad de exposición al fuego *moderada* según la NFPA 80 A?
8. ¿Cómo clasificaría a un local destinado a archivo con aproximadamente 20 000 kg de papel en formato libro y folleto, según la norma NBE-CPI/91?
9. ¿Cómo clasificaría a un pequeño local destinado depósito de enseres de limpieza en el que se han acopiado cinco bidones de 10 litros de solvente tipo *thinner*, según la norma NBE-CPI/91?
10. ¿Cuál es el factor de conversión para pasar de cal a MJ?

Zonificación y compartimentación del edificio

El objetivo de la zonificación y compartimentación de incendio es evitar que un edificio esté sujeto en su totalidad a un único foco de ignición. De esta manera, el edificio se divide en sectores (superficies o volúmenes), que serán capaces de contener un foco de incendio incluyendo todos los subproductos de la combustión, durante determinado período de tiempo preestablecido. Este lapso será aprovechado en el proceso de la evacuación de los ocupantes y en el combate del siniestro, al mismo tiempo que posibilitará minimizar los daños en el resto del edificio. Primero se define la zona de incendio (zonificación) y luego se delimita desde el punto de vista constructivo (compartimentación), de manera que funcione como una unidad estanca frente al fuego y todos los subproductos de la combustión.

La compartimentación se entiende tanto en el plano horizontal (a nivel de planta) como en el vertical (a nivel de altura y cantidad de pisos). En lo que se refiere al riesgo, en una apreciación elemental, es mejor tener grandes áreas en edificios de un solo nivel que áreas menores construidas en altura. Se deduce entonces que las zonas de incendio serán más extensas en un edificio desarrollado mayormente en el plano horizontal, mientras que las zonas en el plano vertical estarán definidas por cada uno de los niveles por encima de la planta baja del edificio, independientemente de la superficie de planta. Dicho de otra manera, cada piso de un edificio constituirá una zona de incendio y deberá ser compartimentada en relación a los pisos adyacentes (hacia arriba y hacia abajo), configurando lo que se denomina compartimentación vertical. Al mismo tiempo y a nivel de planta (horizontal), la normativa exige la compartimentación por superficie, según el programa o sector específico del edificio. El diseño y la definición de las distintas zonas se realiza considerando la optimización de recursos desde el punto de vista económico, ya que el monto de la inversión suele ser elevado.

Zonificación y compartimentación según NFPA 101, Código de seguridad humana

La NFPA 101, en su capítulo 6 y secciones *Consideraciones para la protección contra incendios*, enfoca el tema en forma general y define: «La compartimentación de incendios se conformará por barreras de fuego continuas desde la cara interior a la exterior y de un extremo a otro y entre sí, brindando continuidad incluso en espacios ocultos como aquellos incluidos sobre cielorrasos».

En cuanto a los rangos de resistencia al fuego globales de la barrera, establece tres, desde RF30 a RF120 y condiciona las aberturas incluidas en ella a lo exigido en la norma NFPA 80 *Puertas cortafuego y otras protecciones para aberturas*. En lo particular, en los capítulos 8 al 31, se indican las exigencias de zonificación y compartimentación de incendios según el programa arquitectónico involucrado. Únicamente a modo de ejemplo, presentamos la Tabla 21 con las condiciones exigidas a construcciones nuevas y existentes y programas especiales como centros educativos y hospitales.

Capítulo	Programa	Compartimentación vertical	RF mínima	Compartimentación horizontal	RF mínima
8	Construcciones nuevas	Sí, para todos los casos, acorde 6.2.4	30, 60, 120	Se compartimentarán, separando del resto del edificio: salas de máquinas de cualquier tipo, depósitos, talleres, lavaderos, cocinas y todo proceso con materiales peligrosos.	60
9	Construcciones existentes	Sí, para todos los casos, acorde 6.2.4	30, 60, 120	Se compartimentarán, separando del resto del edificio: salas de máquinas de cualquier tipo, depósitos, talleres, lavaderos, cocinas y todo proceso con materiales peligrosos.	60
10	Centros Educativos Nuevos	Sí, para todos los casos, acorde 6.2.4	30, 60, 120	Se compartimentarán, separando del resto del edificio: salas de máquinas de cualquier tipo, depósitos, talleres, lavaderos, cocinas y todo proceso con materiales peligrosos. Propios del programa: laboratorios, talleres, cocinas, escenarios y otros.	60

12	Hospitales nuevos	Sí, para todos los casos, incluyendo cajas de escaleras, rampas, ascensores, montacargas, chimeneas, ductos y toda penetración vertical.	Hasta tres niveles: 60 Más de tres niveles: 120	Se compartimentarán, separando del resto del edificio: salas de máquinas de cualquier tipo, depósitos, talleres, lavaderos, cocinas y todo proceso con materiales peligrosos. Propios del programa: laboratorios, centrales de gases medicinales, locales de anestesia, cocinas, tiendas de regalos, ateneos y otros.	60
		Subdivisión de espacios generales:			
		Barreras de humo	Para pisos de internación con hasta 50 personas: 1 zona		
			Para pisos de internación con más de 50 personas: 2 zonas.		
Otras zonas: superficie máxima de 2100 m ² o distancia máxima a la salida de 60 m.					

Tabla 21. Ejemplo de compartimentación según NFPA 101. Código de seguridad humana, capítulos 8-3.

La tabla precedente es meramente indicativa, no complementa ni sustituye la consulta a la norma referida. Se aconseja realizar las consultas correspondientes en forma rigurosa dado el grado de excepciones y la cantidad de programas considerados.

Zonificación y compartimentación según CTE-SI-3

La norma CTE-SI-3 aborda el tema en el capítulo 1 *Propagación interior y en el capítulo 2 Propagación exterior*.¹⁷

En enfoque del capítulo 1 contempla:

- Compartimentación en sectores de incendio.
- Locales y zonas de riesgo especial.
- Espacios ocultos. Paso de instalaciones a través de elementos de compartimentación de incendios.
- Reacción al fuego de los elementos constructivos, decorativos y de mobiliario.

El capítulo 2 aborda:

- Medianerías y fachadas
- Cubiertas

Se recomienda ver también el capítulo 3 *Espacios ocultos. Paso de instalaciones a través de elementos de compartimentación de incendios*.

Como hemos visto ambas (NFPA 101 y CTE-SI-3) son rigurosas a la hora de definir la zonificación y compartimentación de incendios en edificios, en particular para aquellos programas más complejos como hospitales o programas de concurrencia masiva como centros comerciales. Pueden variar mínimamente las exigencias desde el punto de vista cuantitativo, pero formalmente, la rigurosidad y el alcance de los objetivos son los mismos.

Zonificación y Compartimentación según IT de San Pablo

En los instructivos técnicos de San Pablo, en el IT-09 *Compartimentación horizontal y compartimentación vertical*, vemos que se mantiene el mismo concepto basado en definir un área de máxima compartimentación (ver en Anexo B: Tabla de área máxima de compartimentación en m²). Aquí se incluye una nueva variable, además del destino, como lo es la altura del edificio. Cabe agregar que ante la imposibilidad real de cumplir con esta medida de seguridad (edificios existentes, necesidades funcionales del propio programa arquitectónico, etc.) nuestra reglamentación local contempla el uso de rociadores automáticos en sustitución de la compartimentación horizontal, y de sistema de control de humo y rociadores automáticos (excepto para la compartimentación de las fachadas, ductos de ventilación y de instalaciones) en el caso de la compartimentación vertical.

¹⁷ Se recomienda ampliar la información en:

CTE-SI-3 Tabla 1.1 Condiciones de compartimentación en sectores de incendio. (Uso previsto del edificio o establecimiento/condiciones)

CTE-SI-3 Tabla 1.2 Resistencia al fuego de las paredes, techos y puertas que delimitan sectores de incendio. (Elemento/ Resistencia al fuego)

CTE-SI-3 Tabla 2.1 Clasificación de los locales y zonas de riesgo especial integrados en edificios. (Uso previsto del edificio o establecimiento/Tamaño del local o zona)

CTE-SI-3 Tabla 2.2 Condiciones de las zonas de riesgo especial integradas en edificios. (Característica/Riesgo bajo /Riesgo medio/ Riesgo alto)

CTE-SI-3 Tabla 4.1 Clases de reacción al fuego de los elementos constructivos. (Situación del elemento/ Revestimientos)

Definición y aplicación de las Protecciones Pasivas contra Incendios (PPCI)

Es responsabilidad del profesional arquitecto la incorporación temprana de sistemas de ppci en su edificio y la correspondiente previsión económica en la inversión total. Se reitera que, si bien algunos de estos componentes constructivos de la compartimentación surgirán naturalmente como parte de la tabiquería o estructura original, otros a incorporar tienen un costo significativo difícil de afrontar si no se ha previsto en la inversión original, tales como las puertas cortafuego, dämpers, registros cortafuego, sellados de pases por atravesamientos de cerramientos (muros o entresijos) de compartimentación, etc.

Protección intumescente de estructuras (metálicas o madera)

La pintura intumescente,¹⁸ con la acción del calor, desarrolla una capa aislante (se expande) que ofrece una baja conductividad térmica. De esta manera aísla del fuego la estructura de modo que ésta pueda mantener por mayor tiempo sus propiedades mecánicas y estabilidad con márgenes de seguridad aceptables. Existen varios tipos de pinturas intumescentes y muchas posibilidades de aplicación (manual o mecánica). El espesor de la protección necesaria variará dependiendo, entre otros, de: la masividad del perfil expuesto al fuego,¹⁹ la posición del elemento estructural en el edificio y el tiempo requerido de resistencia al fuego. El arquitecto deberá seleccionar la que más se adecue a su proyecto en función de los parámetros antes citados y establecer un procedimiento adecuado para su puesta en obra, así como controlar los trabajos realizados (espesores requeridos). Será necesaria mano de obra capacitada en su aplicación (ver Ilustración 16).

Encajonamiento de estructuras (metálicas o madera)

El encajonamiento de estructuras de acero mediante planchas de cartón-yeso (resistente al fuego) o manta/placa de lana de roca puede ser también utilizado para alcanzar altas resistencias al fuego evitando la acción del calor sobre las estructuras durante el tiempo requerido. En esta solución la consecuencia inevitable es el ocultamiento de la estructura metálica que a veces, por cuestiones de diseño, no es aceptable, en ese caso se deberá optar por la solución anterior en base a pinturas intumescentes (ver Ilustración 16).

18 Algunas tienen características de morteros. La selección deberá basarse, además de en las prestaciones que le sean requeridas en cuanto a su RF, en su aspecto final en función de la exposición de dicha protección en el local (local de servicio, de uso público, etc.)

19 La masividad de un perfil de acero es la razón entre el perímetro expuesto al fuego y el área de la sección transversal del perfil. La resistencia al fuego de una estructura es inversamente proporcional a su masividad. Así pues, a mayor masividad, mayor cantidad de mortero ignífugo o pintura intumescente se tendrá que aplicar para conseguir la resistencia al fuego deseada.

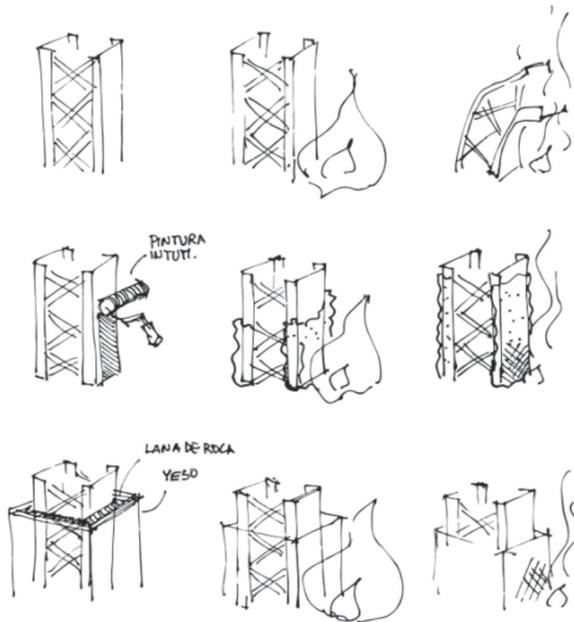


Ilustración 16. Estructuras de acero. Comportamiento sin protección, protegida con pinturas intumescentes y mediante encajonamiento

Cierres cortafuego (*dámpers*)

Son mecanismos de cierre automáticos que evitan la propagación de fuego y humo a través de la red de conductos en instalaciones de ventilación y aire acondicionado. Usualmente funcionamiento mediante un eslabón-fusible que una vez superada cierta temperatura cierra el pasaje de aire, aislando zonas del edificio. También existen aquellos que, estando conectados a un sistema automático de detección y alarma a través de relés de activación, pueden cerrarse, mediante programación, cuando la central de detección envía una señal (ver Ilustración 17).

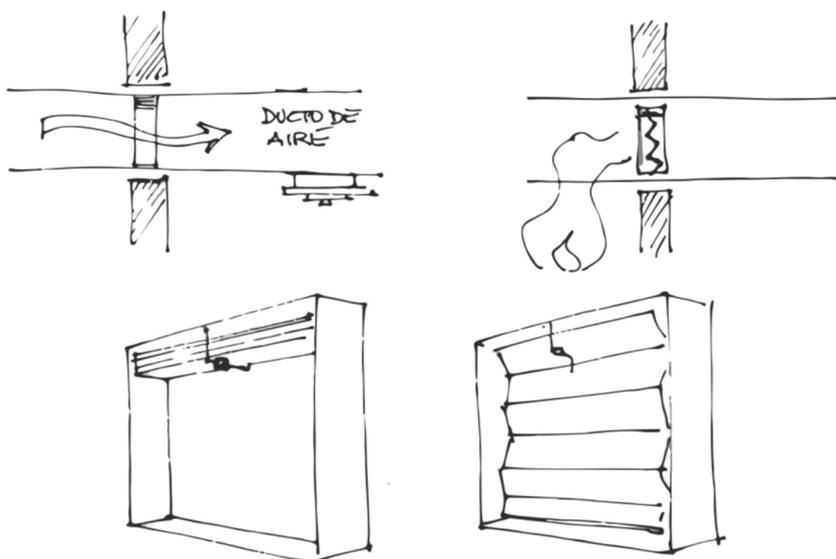


Ilustración 17. Dámper cortafuego
(arriba ubicación en ducto, abajo detalle de su funcionamiento)

Sellados intumescentes

Los huecos, ductos o pasos de todo tipo de instalaciones (eléctricas, tuberías de cualquier tipo, conductos de aire, etc.) deben contar con elementos separadores, dado que de no ser sellados correctamente suponen un riesgo para la propagación de un incendio. Existen sistemas para realizar el sellado en función de la naturaleza del elemento a sellar y las necesidades de la obra. Para el sellado (en vertical u horizontal que atraviesen sectores de incendio) se podrán emplear como selladores: espumas intumescentes, morteros cortafuegos, masillas y/o bandas intumescentes, dependiendo del área a cubrir y las recomendaciones específicas del fabricante. Cuando las superficies sean pequeñas (intersticios) se podrá optar por espumas y sellantes; para el caso de tubos y cañerías, bandas intumescentes o selladores elásticos; entretanto en el caso de bandejas, morteros ignífugos (ver Ilustración 18).

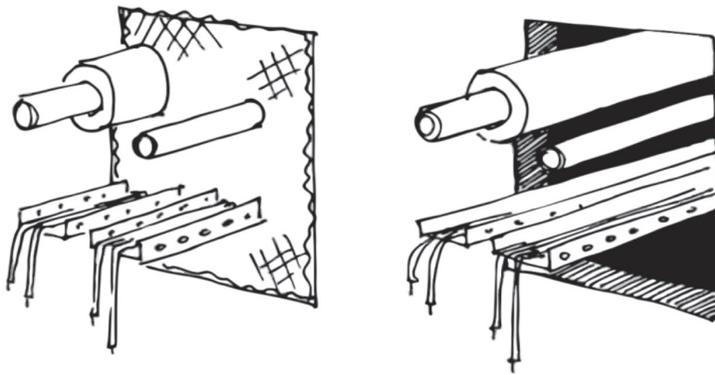


Ilustración 18. Sellados intumescentes

Test de autoevaluación módulo 14

1. ¿Cuál es el objetivo de la zonificación y compartimentación de incendios?
2. ¿En qué planos deberá realizarse la compartimentación de incendio en un edificio? Fundamente.
3. ¿Cómo se define la compartimentación horizontal en un edificio?
4. ¿Cuáles son los rangos de resistencia al fuego globales de cada zona de incendio, según la NFPA 101?
5. ¿En qué tabla del CTE-SI consultaría por la resistencia al fuego de los cerramientos que delimitan los sectores de incendio?
6. ¿Cuáles son los programas arquitectónicos más comprometidos en los que la zonificación y compartimentación deben ser en extremo rigurosas? Fundamente.
7. ¿Cómo aborda el tema el Código de Edificación de la Ciudad de San Pablo?
8. En nuestro medio, ¿qué medida puede suplir la compartimentación horizontal en edificios existentes?
9. ¿Cuál es el rol del arquitecto en el abordaje del tema?
10. ¿Es la altura del edificio una condicionante en la compartimentación vertical de un edificio?

Las siguientes actividades se refieren a la lectura recomendada indicada como guía: *Sistemas de protección pasiva contra incendios en la edificación. conceptos generales y clasificación.*

11. ¿Qué significa PPCI?
12. Nombre al menos cinco tipos de PPCI que deberían incluirse en cualquier edificio.
13. ¿Cómo se habilita a determinado material para que sea PPCI?
14. ¿Cómo sellaría un pase vertical de instalaciones eléctricas?
15. ¿Cómo sellaría un pase horizontal para un conducto de aire?
16. ¿En qué consisten las barreras resistentes al fuego en cavidades?
17. ¿En qué condiciones se podrán instalar acristalamientos PPCI? Fundamente.
18. Describa los componentes de un sistema de puerta cortafuego.
19. ¿Las estructuras de hormigón armado requieren de PPCI? Fundamente.
20. ¿Las estructuras de acero a la vista requieren de PPCI? Fundamente.

Lecturas recomendadas

La publicación de la Asociación Española de Sociedades de Protección Contra Incendios, denominada *Sistemas de protección pasiva contra incendios en la edificación. Conceptos generales y clasificación* (disponible para su descarga gratuita en <https://www.tecnifuego-aespi.org/guiaproteccionpasiva>, previa suscripción) cuenta con ocho capítulos en los que se describen en forma clara y exhaustiva los siguientes temas: protección estructural, puertas cortafuego, cierres cortafuego para aberturas, paredes y forjados resistentes al fuego, sistemas de acristalamiento, barreras de fuego y sellantes en cavidades, conductos, etc., e incluye un capítulo al mantenimiento de estos sistemas. Los autores definen el *objeto* de esta publicación de la siguiente manera: «Proporcionar conceptos generales y una clasificación de los distintos sistemas PPCI (Protección Pasiva Contra Incendios) vinculados estrictamente con el mantenimiento de la sectorización de incendio y con la protección estructural contra el fuego en la edificación, habituales en el mercado». A su vez, definen a las PPCI «como a todos los sistemas y soluciones constructivas cuya función primordial es contribuir al mantenimiento de la sectorización de incendio y a la protección estructural contra el fuego en la edificación durante un tiempo determinado».

Teoría y diseño de la vía de evacuación

Introducción. Base teórica

La seguridad humana en casos de incendio depende del tiempo utilizado para la evacuación del edificio donde se encuentran viviendo, trabajando o paseando personas de muy distintas características, agrupadas por vínculos sociales no necesariamente afines.

Conservar su vida y su integridad se convierte en una carrera personal, jugada contra el desarrollo del fuego y el movimiento del humo generado, en el escenario que estos factores configuren, siempre adverso.

A partir de los años cincuenta, la evacuación de las personas comienza a considerarse como un problema a solucionar, aceptando implícitamente que la solución solo puede darse desde el punto de vista cuantitativo. Surge entonces la pregunta: ¿el comportamiento social puede derivar en una fórmula matemática? O, dicho de otra manera, ¿puede la física o la matemática predecirnos el movimiento de las personas? La respuesta a estas preguntas solo puede venir dada partiendo de la base de que la sociedad es en esencia un fenómeno estadístico.

Es entonces que, en los años ochenta, surge la física del movimiento colectivo que estudia los movimientos colectivos espontáneos en la naturaleza (ver Modelo de Vicsek, *vm* por sus siglas en inglés), y se establece que el movimiento individual de una unidad (persona) está condicionado por los factores siguientes:

- Influencia interna (intereses personales).
- Influencia externa (percepción del medio y otras personas).
- Concepto de dinámica de grupo:

Atracción ~ Repulsión ~ Espacio Personal

El mencionado documento nos demuestra que existen reglas, límites, tendencias y promedios que son aplicables a la masa en su conjunto.

Este tema se continúa estudiando hasta nuestros días. Se han generado dos escuelas que se diferencian por la modalidad del tratamiento de las variables consideradas como incertidumbres y se representan según cálculos matemáticos de distinto tipo.

Modelos de cálculo

Modelos estocásticos y probabilísticos

El modelo estocástico y/o probabilístico se basa en el estudio de procesos de variables que interactúan (sí o no) entre ellas, en un marco aleatorio.

Estos estudios se basan en que «un futuro inmediato es predecible de acuerdo a las dimensiones y velocidad del objeto (personas, en este caso) y a la capacidad del medio (vía de evacuación, en este caso)».

Los pasos utilizados por el modelo son:

- Análisis de dimensión y velocidad del objeto
- Análisis del medio (dimensiones y obstáculos)
- Predicción del movimiento en función del medio
- Cálculo del tiempo del movimiento supuesto
- Optimización del tiempo del movimiento
- Regresión y comprobación

El modelo progresa en etapas de tiempo, resolviendo situaciones aleatorias, a partir de los resultados de cada una de las etapas.

Desde hace años especialistas han estudiado la manera de modelar o simular el movimiento de las personas en las vías de evacuación utilizando computadoras y programas específicos.

Estos estudios se han ido superando y actualmente existen en el mercado internacional diferentes y variados modelos, que, basados en algoritmos lógicos y matemáticos, predicen el movimiento humano, calculan los tiempos de evacuación, evalúan el crecimiento del fuego, el movimiento del humo y los efectos de la combustión en los ocupantes, formación de colas y congestión de flujos, etc.

Los modelos o simuladores manejan diferentes programas electrónicos (software) en los que se perciben distintos grados de precisión según las variables introducidas y se les engloba bajo un concepto de aplicación denominado *performance based*.

Los códigos, las normativas y los ensayos del comportamiento de los materiales frente al fuego han facilitado el diseño y el uso de los modelos simuladores (utilización de *fuegos de diseño*), y se han convertido en herramientas fundamentales para analizar y proyectar las vías de evacuación apropiadas según el caso y contemplando la alta variabilidad de circunstancias que pueden ocurrir, particularmente en edificios complejos.

Los modelos simuladores son indicados para aquellos casos en los que un cálculo manual sería muy complejo, cuando surgen problemas que no pueden ser resueltos con la experiencia y/o cuando no se tiene una clara visión del problema a resolver.

Desde las etapas iniciales, la programación de estos modelos se basa en la importancia del tiempo transcurrido a partir del inicio del fuego y define los conceptos de *tiempo crítico* y *tiempo de reacción*.

El *tiempo crítico* se considera al tiempo desde que se inicia el incendio hasta que este se hace totalmente intolerable, mientras que el tiempo de reacción aplica como parámetro de supervivencia de los ocupantes.

En los años ochenta se desarrolló la primera aplicación informática, en soporte dos, que se denominó EVACNET, con sucesivas versiones y actualizaciones hasta el año 1986.

Actualmente estos conceptos de *tiempo crítico* han sido adaptados para poder determinar el modelo del tiempo disponible para una evacuación segura, con procedimientos matemáticos que se enfocan en la simulación de las condiciones del incendio desde su inicio hasta que este se vuelve insostenible para los ocupantes, basados en datos concretos de la combustión de los elementos, calor generado, humo generado, propagación de llama, etc.

Modelos deterministas

La escuela determinista adjudica valores fijos promedio a determinadas variables que se consideran determinantes a la hora de diseñar el sistema de evacuación.

Estos valores surgen del análisis de históricos y de datos estadísticos relevados en situaciones similares, tanto reales como en simulacros.

Las variables definidas a priori son:

- Dimensiones promedio de las personas.
- Velocidades promedio de desplazamiento de las personas, según el tipo de territorio a recorrer.

Por otro lado, se destaca la labor de Kikuji Togawa (1955), quien a partir de valores empíricos relaciona la densidad ocupacional con la velocidad de desplazamiento de las personas, y establece tres valores de velocidad:

- Velocidad óptima: Cuando no existen interferencias entre las personas, por lo tanto, no hay contacto físico.
- Velocidad máxima: La que se da para una densidad de dos personas por metro cuadrado, con contacto mínimo.
- Velocidad cero: cuando la densidad es mayor a dos personas por metro cuadrado, con contacto máximo tolerable.

Togawa deduce entonces que la velocidad de desplazamiento disminuye a medida que aumenta la densidad y resume que el flujo de personas, entendido como cantidad de personas por unidad de ancho y unidad de tiempo, es función directa de la densidad y de la velocidad de desplazamiento.

En este punto, y para el rango de viabilidad de la función (densidad comprendida entre una y dos personas por metro cuadrado), define tres tipos de flujo:

- Flujo horizontal
- Flujo ascendente
- Flujo descendente

Continuando con el trabajo de Togawa, los modelos de otros estudiosos del tema como J. J. Fruins (1987, Estados Unidos) y J. De Pauls (1984, Canadá), basados en cálculos a través de las redes de flujo, resultan altamente confiables. Estos modelos exceden el alcance del presente trabajo.

Ambas escuelas aplican al problema y son válidas e interactúan entre sí. Existe numerosa literatura en la que se explican en detalle las modalidades de cálculo matemático empleado, sus avances y sus desafíos. A los efectos prácticos y frente a problemas concretos en edificios de porte medio, los cálculos deterministas nos brindan las herramientas necesarias para efectuar diagnósticos y diseño de vías de evacuación de forma segura, accesible y rápida.

Los modelos deterministas han establecido como fijas y ciertamente probables variables que categorizan e igualan el comportamiento de grupos determinados de personas, así como del comportamiento del fuego y los humos tóxicos y, a su vez, presuponen que todos los ocupantes inician la evacuación al mismo tiempo.

La generalización de estos parámetros desde el punto de vista matemático implica considerar que:

- El flujo de personas (por minuto y por ancho definido de la vía en metros) depende de la velocidad desarrollada por las personas y esta depende, a su vez, de la densidad dada en la propia vía de evacuación transitada. Dicho de otra manera, definimos a la evacuación en función de la densidad y únicamente cuando se encuentra acotada entre los valores mínimos y óptimos de velocidad de desplazamiento que esta permite desarrollar.
- Los límites entre los que se desarrolla la función (o entre los que la función es viable) vendrán dados por parámetros físicos de las personas (capacidad de desplazamiento, velocidad desarrollada) y el espacio en que se mueven (área y densidad de vía de evacuación).
- La aplicación de conceptos matemáticos relacionados con redes de flujo y cálculo probabilístico permite profundizar en el tema, pero no son objeto del presente trabajo.

El diseño de una vía de evacuación

Para el diseño de una vía de evacuación en un edificio de riesgo medio, se incluirán herramientas de cálculo normalizadas y simplificadas según lo indicado en el punto 1 del presente capítulo y basadas en el capítulo 3 *Evacuación del CTE/SI* y la NFPA 101, *Código de seguridad humana*. Estas herramientas permitirán el dimensionado de la vía de evacuación en todos sus sectores y de todos sus elementos, en función de la densidad de población del edificio. El diseño y el dimensionado de la vía de evacuación permitirá su inclusión desde las fases de anteproyecto, tanto sea por definiciones de diseño como por los montos de inversión. Las herramientas para posibilitar el cálculo de los tiempos parciales y totales de evacuación exceden el presente trabajo.

Concepto de elipse humana

Este concepto se refiere a la figura geométrica elipse como abstracción de la figura humana a la altura de los hombros, y la considera su mayor medida (ver Ilustración 19).

En promedio, la norma considera:

- Superficie de elipse: 0,2 m²
- Eje mayor de elipse: 0,61 m (promedio 0,55 m).
- Eje menor de la elipse: 0,46 m.

Todo el dimensionado de partes o sectores de la vía de evacuación estará relacionado con estas dimensiones.

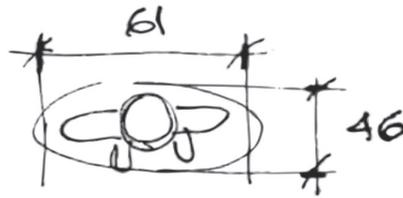


Ilustración 19. Figura humana

Definición de la UAS²⁰

La *unidad de ancho de salida* (UAS) es la definida por las dimensiones promedio de la figura humana a la altura de los hombros: 1 UAS = 0,55 m.

Ninguna de las partes o sectores de la vía de evacuación podrá medir menos de 2 UAS, o sea 1,10 m, para edificios nuevos y, como excepción, 0,96 m para edificios existentes.

Flujos de personas

Se define como la cantidad de personas que se desplazan en un determinado lapso por un determinado ancho de vía. En nuestro caso, serán personas por minuto y por metro de ancho.

El valor *flujo* (Φ) dependerá de la *velocidad de desplazamiento de las personas* (v), que a su vez es un *parámetro dependiente de la densidad* (d , personas por m^2) en la vía de evacuación:

$$\Phi = v \times d \times K$$

Donde K es un *factor de geometría del local*.

En base al alcance del presente manual, usaremos los siguientes valores promedio según los distintos tipos de tramos:

Flujos de personas Φ :

- Φ Tramos horizontales: 80 P/min/m.
- Φ Verticales ascendentes: 60 P/min/m.
- Φ Verticales descendentes: 65 P/min/m.

20 La IT11 *Salidas de emergencia* de San Pablo plantea otro método para determinar anchos de salida, basado en una unidad básica UP o *unidad de pasaje* de 55 cm de ancho.

Densidad ocupacional del edificio

La densidad ocupacional se define como la superficie asignada a cada persona según el tipo de programa arquitectónico o actividad que desarrolle. Los valores de densidades ocupacionales establecidas en Tabla 22 nos indicarán las áreas mínimas necesarias por persona según el programa arquitectónico y, a su vez, la cantidad máxima de personas que se pueden considerar en una superficie ya definida.

Zona	Densidad	Actividades
Alta densidad	1 P/0.25 m ²	Espectadores de pie, discotecas, mítines, etc.
	1 P/0.50 m ²	Espectadores sentados, cines, auditorios, etc.
	1 P/1 m ²	Zonas de uso público, de bares, de hoteles, etc.
	1 P/1.5 m ²	Aulas, salas de juego
Baja densidad	1 P/2 m ²	Zonas de uso comercial, de bibliotecas, etc.
	1 P/5 m ²	Uso administrativo, de oficinas, hospitales, etc.
	1 P/10 m ²	Uso administrativo gerencial.
	1 P/20 m ²	Uso residencial, viviendas, etc.
	1 P/40 m ²	Servicios, garajes, archivos, depósitos, etc.

Tabla 22. Valores de densidades ocupacionales

Como conclusión podemos establecer que el valor de densidad ocupacional incidirá directamente en los tiempos de evacuación de un edificio, en particular en aquellos con programas de alta densidad. Si la densidad ocupacional excede estos valores, todo el sistema de evacuación estará comprometido. Al respecto, la NFPA 101 *Código de seguridad humana establece que, para espacios mayores a 930 m², la densidad no podrá ser mayor a una persona cada 0,6 m² y, en aquellos espacios menores a 930 m², no superará a una persona cada 0,4 m².*²¹

Densidad de población en la vía de evacuación

Se define como la cantidad de personas por metro cuadrado en un tramo de la vía de evacuación.

Se entiende como un valor variable en el tiempo ya que las personas se encuentran en movimiento conformando el flujo de evacuación.

Este parámetro es fundamental en el diseño de una vía de evacuación por su alta incidencia en otras variables a tener en cuenta tales como:

- La velocidad de desplazamiento de las personas, que puede llegar a cero en casos extremos, ralentizando los tiempos de evacuación y aumentando la exposición al riesgo.
- La respuesta conductual del grupo, que puede generar situaciones de pánico u otras conductas no adaptativas.

²¹ Por ampliación de información ver: CTE/SI-3 Tabla 2.1 *Densidad ocupacional*.

Por estas razones, la normativa establece que la densidad máxima de personas permitida en cualquier sector de la vía de evacuación será igual a tres personas por m², siendo su valor óptimo de dos personas por m².

Tiempos máximos de resguardo

Se define como el tiempo máximo necesario para alcanzar un punto seguro de la vía de evacuación, el que se considerará como *punto de inicio a la salida*. Se trata de *minimizar el tiempo de exposición en zonas de riesgo o no protegidas*. El CTE/SI establece que, para un edificio de riesgo medio o bajo, el tiempo máximo permitido para alcanzar el punto de inicio a la salida no excederá los 2,5 minutos. Al acotar la variable tiempo, la variable velocidad será la que definirá la longitud máxima a recorrer desde el punto más alejado hasta el punto de inicio a la salida. Al respecto, la NFPA considera que, si bien el factor tiempo afecta el desarrollo de la evacuación, para que el cálculo sea relativamente sencillo, la NFPA 101 no exige el cálculo del índice de flujo, sino solo la aplicación de los factores de capacidad de egreso que se detallarán en los puntos siguientes.

Distancias máximas de resguardo

Se define como la distancia máxima a recorrer para alcanzar un punto seguro de la vía de evacuación. El CTE, en su capítulo SI, establece que para un edificio de riesgo medio o bajo se cumplirá:

- Riesgo moderado sin rociadores: 30 m al punto de inicio a la salida.
- Riesgo moderado con rociadores: 45 m al punto de inicio a la salida.²²

En el RT11 *Salidas de emergencia*, de San Pablo, en el Anexo B Tabla 2 *Distancias máximas a ser recorridas*, se acotan recorridos máximos en función de si el edificio cuenta o no con protecciones por rociadores automáticos, si tienen más de una salida (o única salida) y si cuentan con detección de humos. Asimismo, se discriminan distancias a ser recorridas en el piso de descarga a la vía pública y en los restantes pisos (hasta alcanzar la salida).

Cantidad de salidas

En general, las normas antes citadas suelen establecer que la cantidad mínima de salidas por sector de incendio deberán ser dos, ambas en similares condiciones de accesibilidad. Esta exigencia se basa en la posibilidad de que una de ellas no se encuentre habilitada en el momento de la evacuación. El CTE/SI acepta una única excepción para cuando se cumplan las tres condiciones descritas a continuación:

²² Por ampliación de información ver: CTE/SI-3 Tabla 3.1 *Número de salidas de planta y longitud de los recorridos de evacuación*.

- Ocupación total menor a 100 personas.
- Recorridos de acceso a la salida menores a 25 m.
- Altura de evacuación menor a 28 m.²³

Un resumen de los parámetros antes desarrollados puede verse en la Tabla 23:

Parámetro	Alcance	Tipo	Valor
Anchos	Mínimo	2 UAS	1,10 m
Flujos de personas	Máximo	Horizontal	80 P/min/m
	Máximo	Vertical descendente	65 P/min/m
	Máximo	Vertical Ascendente	60 P/min/m
Densidad	Máxima	En cualquier punto del Sistema de Evacuación.	3 P/m ²
Tiempo de resguardo	Máximo	Al punto de inicio de la evacuación.	2,5 min
Distancia de resguardo	Máxima	Sin rociadores	30 m
	Máxima	Con rociadores	45 m
Cantidad de salidas	Mínima	Por sector o zona de incendio.	2

Tabla 23. Resumen de parámetros a considerar en una vía de evacuación

Definición de sectores de evacuación

Definidos los conceptos básicos y los parámetros implicados concluimos que la evacuación de personas en un edificio dado fluye, sin interferencias, por una vía o camino cuyo origen es el punto de acceso a una zona segura y su final la vía pública. Esto nos lleva a considerar, desde las fases de anteproyecto, la inclusión en el edificio de la mencionada vía o camino, que deberá cumplir con las exigencias constructivas, estructurales y espaciales del caso, de manera de facilitar el movimiento constante y continuo del flujo de evacuación.

Definimos entonces que la vía de evacuación estará compuesta por zonas:

- Zona de acceso a la vía de evacuación
- Vía de evacuación propiamente dicha (vertical: escalera, horizontal: pasillo, en ambos casos zonas protegidas)
- Salidas a la vía pública, directamente desde zonas protegidas
- Zonas de refugio (según el programa y/o caso particular)

Estas zonas necesariamente deberán estar vinculadas entre sí, de manera de conformar una única entidad que permita que el flujo de evacuación transite de una zona a otra sin exposición al riesgo (ver Ilustración 20 e Ilustración 21).

²³ Por ampliación de información ver: CTE/SI-3 Tabla 3.1 *Número de salidas de planta y longitud de los recorridos de evacuación.*

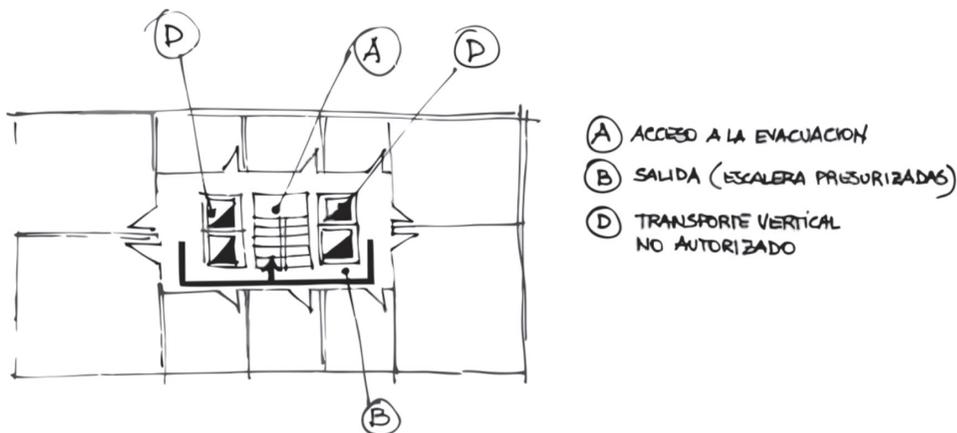


Ilustración 20. Sectores de evacuación (niveles superiores)

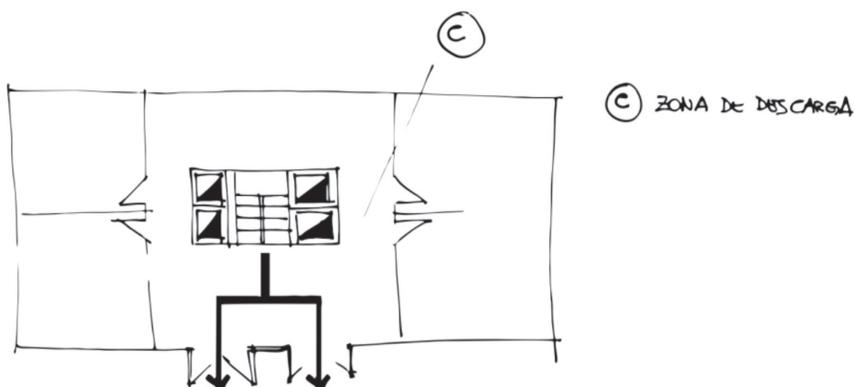


Ilustración 21. Sectores de evacuación (nivel de descarga a la vía pública)

Describiremos a continuación las características formales y espaciales de cada zona:

Zona de acceso a la vía de evacuación

Se define como la zona de circulación o pasaje que nos conducirá hasta el ingreso de la vía de evacuación propiamente dicha.

Desde el punto de vista formal, esta zona está integrada al resto del edificio, y se usa comúnmente como espacio de vinculación entre sectores, manteniendo las características constructivas y de diseño del edificio.

Se trata de una zona colectora para el direccionamiento del flujo la que no deberá obstaculizarse o interrumpirse con equipamiento, tabiquería u otros elementos que pudieran entorpecer el libre flujo de personas.

La interconexión se da desde la ubicación de la/s personas en cualquier momento dado, en cualquier punto de la planta; hasta el ingreso a vía de evacuación propiamente dicha (horizontal y/o vertical).

Dimensionado según CTE-SI y NFPA 101.

Dimensiones mínimas: un metro de ancho por cada 200 ocupantes en el piso considerado. Este valor se determina dividiendo el ancho neto del componente, en este caso pasillo de acceso a la vía de evacuación, por un factor de capacidad especificado. Por ejemplo, un pasillo de 100 centímetros de ancho libre (aprox. 40") empleará un factor de capacidad de egreso de aproximadamente 0.5 cm/persona (0.2"/persona).

La capacidad de pasaje del pasillo será:

$$100 \text{ cm} / 0.50 \text{ cm/persona} = 200 \text{ personas.}$$

A su vez, si consideramos un flujo máximo de 80 P/min/m de ancho y la exigencia de un tiempo máximo de acceso a la vía de evacuación de 2,5 minutos, llegaremos al mismo valor.²⁴

Vía de evacuación vertical (escalera)

Se define como la zona de circulación o pasaje que nos conducirá hasta la planta baja (o planta vinculante con la vía pública) o directamente a la vía pública, en forma descendente o ascendente, según la ubicación del punto de origen.

Desde el punto de vista formal, esta zona define lo que denominamos *escalera de incendio* y se considera una zona o sector de incendio protegido o especialmente protegido.

La interconexión se da desde el punto de acceso a la vía de evacuación vertical, en el piso o nivel que corresponda; hasta: hasta la planta baja (o planta vinculante con la vía pública) o directamente a la vía pública.

Dimensionado según CTE-SI y NFPA 101.

Partiendo de que en este caso el flujo se mueve en sentido vertical, se considerarán los siguientes valores máximos de flujos:

- Vertical descendente: 65 P/min/m de ancho.
- Vertical ascendente: 60 P/min/m de ancho.

Dado que por norma se limita la densidad ocupacional en plantas por debajo del nivel de planta baja, es difícil (no imposible) que el valor de flujo máximo indicado no sea definitorio a la hora del dimensionado de la escalera, dado que esta tendrá un ancho mínimo de 2 UAS, pudiendo, como excepción y dependiendo del uso del sector y su densidad, ser menor (nunca menos de 0.60 m).

En cuanto al dimensionado de las escaleras de incendio, la norma cte-si recoge conceptos y parámetros establecidos en la NFPA 101 y establece las siguientes ecuaciones en las que relaciona los parámetros citados anteriormente, pero diferenciando dos situaciones.

²⁴ Por ampliación de información ver: CTE/SI-3 Tabla 4.1 *Dimensionado de los elementos de evacuación* y NFPA 101 *Código de seguridad humana* Tabla 7.3.3.1 *Tabla de capacidades de egreso por puertas, pasos y pasillos*.

Dimensionado de escaleras. Método capacitivo

Todas las personas del edificio pueden permanecer en la escalera en forma simultánea, actuando esta como área de refugio, al mismo tiempo que egresan por planta baja en forma constante 160 personas, que atraviesan una puerta de 0.81 m.

$$A = \frac{P}{160}$$

Donde:

A: Ancho resultante de la escalera en m.

P: Cantidad de personas en la totalidad del edificio, desde el piso 1 hasta el último.

160: Este valor se determina dividiendo el ancho neto del componente, en este caso la última puerta de salida, por un factor de capacidad especificado. Por ejemplo, una puerta de 81 cm de ancho libre (32") empleará un factor de capacidad de egreso de aproximadamente 0.5 cm/persona (0.2"/persona).

La capacidad de egreso por dicha puerta será:

$$81 \text{ cm} / 0.508 \text{ cm/persona} = 160 \text{ personas.}$$

La NFPA 101 *Código de seguridad humana* describe en la Tabla 7.3.3.1 los distintos factores de capacidad de egreso según el caso.

Se aclara que para que el cálculo sea relativamente sencillo, el *Código de seguridad humana* no toma en cuenta en el cálculo del flujo de personas (el que involucraría la variable tiempo), sino solo el cálculo de capacidad de egreso máxima para cada componente de egreso.²⁵

Dimensionado de escaleras. Método caudal

Las personas del edificio inician la evacuación y se posicionan, parte en la zona de acceso a la evacuación, parte en la vía de evacuación propiamente dicha (escalera) y en simultáneo, 160 personas pasan por la última puerta de salida y abandonan la escalera en planta baja. En este caso, la escalera no podrá considerarse como área de refugio para la totalidad de la ocupación del edificio.

$$A = \frac{P - 3s}{160}$$

Donde:

A: Ancho resultante de la escalera en m.

P: Cantidad de personas en la totalidad del edificio, desde el piso 1 hasta el último.

3s: Superficie útil de la totalidad de una escalera de 1,10 m de ancho, multiplicada por 3 (densidad máxima en la vía de evacuación: 3 P/m²).

160: Ver consideraciones en método capacitivo.²⁶

25 En cuanto a las dimensiones de huella, contrahuella, pasamanos, descansos y otras partes de la escalera, son válidos los requerimientos exigidos en códigos constructivos locales. Sí se destaca que el tipo de pavimento será antideslizante y que deberá destacarse la nariz de los escalones en toda su longitud.

26 Por ampliación de información ver: CTE/SI-3 Tabla 4.2 *Capacidad de evacuación de las escaleras en función de su altura*. NFPA 101 *Código de seguridad humana* Tabla 7.3.3.1 *Tabla de capacidades de egreso por puertas, pasos y pasillos*. En cuanto a las dimensiones de huella, contrahuella, pasamanos, descansos y otras partes de la escalera, son válidos los requerimientos exigidos en códigos constructivos locales. Sí se destaca que el tipo de pavimento será antideslizante y que deberá destacarse la nariz de los escalones en toda su longitud.

Vía de evacuación horizontal (pasillo protegido)

Se define como la zona de circulación o pasaje protegido que nos conducirá directamente a la vía pública, sin salvar desniveles en su trayecto. Este caso puede darse en edificios extendidos con pocos o un único nivel o para posibilitar la salida en casos puntuales, con población a más de 30 m de una salida (comúnmente llamado fondo de saco). Se diferencia de la zona de acceso a la evacuación por ser una zona protegida o especialmente protegida.

La interconexión se realiza:

- Desde el punto de acceso a la vía de evacuación.
- Hasta la vía pública o como excepción hasta la escalera de incendio.

Dimensiones mínimas: 1 m de ancho por cada 200 ocupantes que harán uso del pasillo. Valen las consideraciones vertidas anteriormente.

Salida a vía pública (puertas, vanos)

Se define como la frontera entre el edificio y la vía pública. Una persona recién se considera a salvo cuando accede a la vía pública.

La interconexión se realiza:

- Desde la vía de evacuación propiamente dicha (escalera o pasillo).
- Hasta el denominado punto de reunión o *meeting point*, en la vía pública.

Dimensiones mínimas: 1 m de ancho por cada 200 ocupantes

En este punto la cantidad de ocupantes vendrá dada por la suma de los ocupantes de los subsuelos (si fuera el caso) más los ocupantes de planta baja y los ocupantes de los pisos superiores.

Valen las consideraciones vertidas anteriormente.²⁷

Zonas de refugio

Se define como una zona estanca a la acción de los productos generados durante un incendio (llamas, calor y humos). Una persona podrá considerarse segura durante un determinado período de tiempo definido por la RF y EF de los cerramientos del sector. Se incluyen en programas especiales, en particular en aquellos en los que no se aconseja la evacuación (hospitales, residenciales de ancianos, etc.). Estas zonas suelen ubicarse junto a la escalera de salida.

La interconexión se realiza:

- Desde cualquier sector del edificio y/o vinculado a la vía de evacuación.
- Hasta cualquier sector del edificio y/o vinculado a la vía de evacuación.

²⁷ Por ampliación de información ver: CTE/SI-3 Tabla 4.1 *Dimensionado de los elementos de evacuación*. NFPA 101 *Código de Seguridad Humana*, Tabla 7.3.3.1 *Tabla de capacidades de egreso por puertas, pasos y pasillos*.

Las dimensiones mínimas vendrán dadas por la máxima densidad de población aceptada por la norma, de 3 P/m² o su equivalente para el caso de incluir equipamiento auxiliar, sillas de ruedas, camillas y otros soportes de vida electrónicos.

En programas residenciales y comerciales, se considerará un área de 1,20 m × 0,80 m para usuarios en sillas de ruedas y deberá poder trazarse un círculo de 1,50 m de diámetro libre de obstáculos y del barrido de puertas.

Otros casos más complejos, como hospitales, deberán analizarse específicamente.²⁸

Test de autoevaluación módulo 15

1. ¿Qué estudia la física del movimiento colectivo y cómo se aplica al movimiento de las personas?
2. ¿Cómo se define el concepto de *dinámica de grupo*?
3. ¿Cuál es la base de los modelos de cálculo probabilísticos?
4. ¿En qué se basan los modelos de cálculo determinista?
5. ¿Cuáles son los valores de velocidad de desplazamiento de las personas en función de la densidad de la vía que transitan?
6. ¿Cuál es la conclusión a la que llega K. Togawa al respecto? Fundamente.
7. ¿A qué llamamos *flujo de personas* y de qué depende el valor de esta variable?
8. ¿Qué referentes aplica al diseño de una vía de evacuación según el presente manual?
9. Describa la diferencia entre los parámetros de densidad ocupacional y densidad de las vías de evacuación de un edificio.
10. ¿A qué nos referimos con *tiempo de resguardo* y cuál es el valor aceptado por los referentes citados?
11. Describa los sectores componentes de una vía de evacuación e indique cuáles son las dimensiones mínimas aceptadas por la normativa.
12. Describa la diferencia conceptual entre los métodos de cálculo capacitivo y caudal aplicados en el diseño de las escaleras de incendio.
13. Indique cuál es la densidad máxima admitida según la norma y fundamente.
14. ¿En qué consiste una zona de refugio?

28 Por ampliación de información ver: CTE/SI-3 Tabla 4.1 *Dimensionado de los elementos de evacuación*. NFPA 101 *Código de Seguridad Humana*, Tabla 7.3.3.1 *Tabla de capacidades de egreso por puertas, pasos y pasillos*.

Construcción de la vía de evacuación

Definiciones y modalidades constructivas

Resumiendo, definimos una vía de evacuación como aquel camino, continuo y dotado de seguridades constructivas y electromecánicas especiales, que protegerá y conducirá a las personas a un lugar seguro en caso de siniestro. A partir del considerado *punto de inicio a la evacuación*, la modalidad constructiva aplicada será tal que permitirá obtener una RF (y por consecuencia una EF) de 120 o más minutos en todos los componentes constructivos implicados. Estos valores exigidos permitirán no solo la salida segura de todos los ocupantes del edificio, sino también la implementación de las rutinas de combate. Como consecuencia, los materiales a utilizar deberán ser prácticamente incombustibles e inalterables a la acción del fuego y del calor, lo mismo para todos los cerramientos, puertas y sus accesorios, sellantes y otros más incluidos en la «cáscara externa» del sistema de evacuación. Estas exigencias se mantendrán para ambas caras (cara expuesta al fuego y cara interna) de los cerramientos y todos los componentes. Los cerramientos capaces de brindar estas prestaciones son construidos básicamente con materiales cerámicos y/o pétreos, unidos con morteros de cemento y correctamente revocados por ambas caras. La Tabla 24 recoge, a modo de resumen, el comportamiento frente al fuego de algunos materiales de uso corriente en nuestro medio.

Material y componente	RF 120 (Espesores mínimos en cm)	RF 180 (Espesores mínimos en cm)	RF 240 (Espesores mínimos en cm)
Muro o losa de hormigón, sin revestimiento.	14	16 a 20	25 a 30
Ladrillo de fábrica revocado en las dos caras.		11 a 24	11 a 24
Ticholo de fábrica, revocado en las dos caras.		8 a 10	11 a 12
Bloques de hormigón revocados en las dos caras.		22 a 24	22 a 24
Tabiques de cartón yeso con doble estructura.	Máxima RF		
Placas de yeso macizo		Máxima RF	

Tabla 24. Resistencia al fuego de elementos constructivos. Ensayos certificados UNE.

Fuente: NBE-CPI-96, Apéndice 1

En función de lo expuesto, se realizan los siguientes comentarios:

- Los valores de RF indicados son orientativos y surgen de ensayos realizados según protocolos UNE.
- Los valores de RF indicados para los muros o losas de hormigón sin revestimiento se dan en base a una ejecución prolija y rigurosa en la que han mantenido las distancias mínimas exigidas entre los hierros y la capa exterior.
- No se indican valores de RF para tabiques ejecutados con ladrillo de campo dado que la variabilidad de sus componentes y de su modo de cocción haría inviable la generalización en un ensayo.
- Si bien los ensayos califican a los tabiques de cartón yeso con doble estructura (se aclara: doble estructura y no doble capa de panel) con una RF 120, este valor dependerá de la protección que brinda el panel a la propia estructura. Si esta protección falla, el sistema se debilitará rápidamente. En consecuencia, no consideramos adecuado su uso en sectores de la vía de evacuación, particularmente en edificios en altura.
- Puertas cortafuego.

Las puertas cortafuego son uno de los elementos más importantes en la seguridad contra incendios. Se entiende como puerta cortafuego no solo la puerta sino todo el sistema que la compone: hoja(s), cierres, bisagras, pasadores, marcos y fundamentalmente amures. Se considera cortafuego únicamente aquella puerta que ha sido ensayada con todos sus componentes en simultáneo, bajo normativas específicas y certificadas por laboratorios reconocidos.

Puertas de acceso a la vía de evacuación

Todas las puertas incluidas en la vía de evacuación abrirán en sentido del flujo de evacuación y deberán ser puertas cortafuego. La RF exigida al conjunto (hoja, sistema de apertura, marcos y bisagras y demás) se corresponderá con la exigida a la vía de evacuación. Todas las puertas serán abatibles, con eje de giro vertical de rápida y fácil apertura. No contarán con cerraduras de ningún tipo, por lo que el cierre se dará con sistemas complementarios como barras antipánico, brazos neumáticos y, para casos especiales, retenes magnéticos vinculados siempre a un sistema central de alarma.²⁹

Puertas de salida a la vía pública

Todas las puertas de salida del edificio hacia la vía pública abrirán en sentido del flujo de evacuación. No es necesaria la instalación de puertas cortafuego en estos puntos. Se diferenciará entre aquellas puertas que acceden al exterior a través de zonas de servicio y las que forman parte del sector de ingreso principal del edificio. Para este último caso se exigirá:

²⁹ Por ampliación de información ver: CTE/SI-3 Punto 7.2 *Puertas de evacuación*. NFPA 80 *Puertas cortafuego y otras protecciones para aberturas*.

- Que las puertas giratorias dispongan de sistema de plegado de hojas de manera de liberar el tránsito. De no contar con este sistema, se exigirá la instalación de puertas contiguas de apertura manual.
- Que las puertas de apertura automática dispongan de un sistema que, en caso de falla del mecanismo de apertura o falta de energía, abra la puerta o permita su apertura manual. De no contar con este sistema, se exigirá la instalación de puertas contiguas de apertura manual.³⁰

Test de autoevaluación módulo 16

1. ¿Cómo se define una vía de evacuación en un edificio?
2. ¿Cuál es la RF mínima exigida desde el punto de inicio a la vía de evacuación propiamente dicha?
3. ¿Qué tipo de cerramientos otorgan la rf mínima exigida por la normativa?
4. ¿Qué espesor debe tener como mínimo un muro construido en ladrillo de fábrica y revocado por las dos caras, para lograr una RF 120?
5. ¿Cuál es la rf máxima considerada para un tabique de cartón yeso con doble estructura y bajo qué condiciones debe construirse?
6. ¿Qué se entiende por puerta *cortafuego*?
7. ¿En qué sentido abrirán las puertas incluidas en una vía de evacuación? Fundamente.
8. ¿Qué consideraciones, desde el punto de vista de la seguridad, deben tenerse en cuenta al instalar puertas giratorias?
9. ¿Y para las puertas de apertura automática?

30 Por ampliación de información ver: CTE/SI-3 Punto 7.2 *Puertas de evacuación*. NFPA 80 *Puertas cortafuego y otras protecciones para aberturas*.

Sistemas electromecánicos complementarios en las vías de evacuación

Iluminación de seguridad y señalética

Las causas que justifican la necesidad de la instalación de un sistema de iluminación de seguridad en un edificio son:

- Evitar situaciones que dificulten o imposibiliten la respuesta individual o grupal frente a una emergencia en un escenario dado.
- Brindar un nivel mínimo de iluminación, que permita la orientación y el movimiento en el escenario dado y en los otros subsecuentes hasta el punto de salida.

Se entenderá que la iluminación de seguridad en sí misma no es suficiente para el logro de los objetivos planteados, por lo que deberá incorporarse al sistema la señalización adecuada (señalética), en este caso de seguridad contra incendios, en todas sus ramas. Esta señalización será siempre de carácter informativo y orientativo y deberá funcionar como un sistema de guía hacia puntos seguros, para el individuo o el grupo. El formato, los colores utilizados, el tamaño de las letras y otras consideraciones que hacen al diseño de las señales son de reconocimiento universal y están estrictamente definidas por las normativas existentes. Los sistemas de señalética podrán incluirse en los sistemas de iluminación de emergencia, mediante cartelería adosada a las luminarias, lo cual es algo muy común para los carteles indicadores de *salida*. Para el resto de los casos, la cartelería será tradicional, de formatos definidos y eventualmente podrá ser fotoluminiscente. Todos los sectores de las vías de evacuación de un edificio deben contar con iluminación de seguridad y con la señalética adecuada para cumplir con su función en caso de falla del suministro eléctrico. Estos requisitos son unánimes para todas las normas, aunque algunas se muestran más exigentes en determinados programas arquitectónicos. La modalidad de generación y entrega de energía eléctrica a estos equipos (de modo de permitir su funcionamiento cuando se corta el suministro de energía eléctrica en el edificio en cuestión) definirá el tipo de equipo o sistema a instalar.

Los sistemas de iluminación de emergencia y señalética existentes en el mercado y de aplicación generalizada son:

- Equipos instalados en sistemas eléctricos dedicados, alimentados por bancos de baterías acumuladoras de corriente.
- Equipos unitarios autónomos.
- Equipos instalados en una red eléctrica de emergencia, que alimenta a su vez otros sistemas y/o equipos (grupos electrógenos).
- Equipos instalados en sistemas ininterrumpibles de generación eléctrica únicamente para iluminación (sistemas dedicados, ups de iluminación).

Y a partir de este sistema surgen:

- Sistemas redundantes (combinaciones entre opciones indicadas anteriormente).
- Sistemas inteligentes programables (combinaciones entre opciones indicadas anteriormente más lógica de control, funcionamiento y supervisión permanente).

En resumen, los avances tecnológicos de los últimos años se han incorporado en los actuales sistemas de iluminación de emergencia, entre los que se destacan particularmente la inclusión de lámparas led de muy baja potencia en sustitución de las tradicionales lámparas incandescentes y de descarga, la mejora en la fabricación de las ópticas de las luminarias, los importantes avances en la fabricación de las baterías (níquel, níquel cadmio, etc.) y fundamentalmente los avances en redes y microprocesadores, que permiten el control y el monitoreo de los sistemas.

A continuación, se describen brevemente los sistemas mencionados.

Equipos instalados en sistemas eléctricos dedicados, alimentados por bancos de baterías acumuladoras de corriente

Estos sistemas en su mayoría ya son obsoletos desde el punto de vista tecnológico, si bien aplican la misma base teórica que fundamenta los modelos actuales. Se trata de sistemas independientes de la red eléctrica, que conforman su propia red en 12V. En su modalidad más simple, son parte del sistema:

- Luminarias con lámparas incandescentes, para 12V.
- Red de conductores en 12V (sección de conductor según potencia y voltaje) y canalizaciones de soporte (según sección de conductor).
- Banco de baterías (potencia total acorde a cantidad de lámparas a alimentar y el tiempo deseado de funcionamiento).
- Transformador (220V/12V) (potencia total según cantidad de lámparas).
- Tablero eléctrico, mandos de transferencia manual y puesta a tierra del sistema.

Estos sistemas se utilizaron tradicionalmente en programas especiales como teatros y centros de espectáculos. Los requerimientos espaciales de estos sistemas son elevados por necesitar un local específico para instalar los bancos de baterías; su tamaño queda definido por la cantidad de equipos a utilizar. (Son similares a las baterías de vehículos.) Si bien se han ido sustituyendo por otros sistemas más simples, no es de descartar que aún existan (y funcionen) en edificios antiguos. Por razones ambientales y por su agregado de riesgo en el edificio, deberían ser sustituidos por sistemas más modernos.

Equipos unitarios autónomos

Se trata de equipos unitarios, que se instalan en cualquier toma de fuerza o de iluminación de una red eléctrica existente. En condiciones operativas normales, la red eléctrica alimenta la batería de la luminaria, que puede ser permanente (funcionamiento continuo) o no permanente (funcionamiento bajo corte de energía). Ante un corte de energía y a través del inversor, se habilita el funcionamiento de la batería, la que alimentará la lámpara en cuestión, durante un lapso preestablecido para el cual fue diseñada. En su modalidad más simple, los componentes son:

- Caja de luminaria completa, con bandeja reflectora y difusor.
- Lámpara de alto rendimiento.
- Batería de acumulación.
- Bypass o inversor de corriente.
- Botón de testeo (rutina de mantenimiento).
- Toma a la red eléctrica común.

Equipos instalados en una red eléctrica de emergencia, que alimenta a su vez otros sistemas y/o equipos (grupos electrógenos)

Se trata de equipos autónomos, instalados en cualquier toma eléctrica o de iluminación, que a su vez es alimentada por un generador (grupo electrógeno). En este caso se amplía el tiempo de respuesta de la iluminación de emergencia ya que, en caso de fallar el suministro energético, arrancará el grupo electrógeno, por lo que la batería de la luminaria continuará siendo alimentada y el bypass se realizará únicamente para el caso de que el grupo electrógeno deje de funcionar. Muchos programas comprometidos suelen incluir dos grupos electrógenos, uno para el uso de elementos propios del programa y otro para la iluminación de emergencia y el resto de los sistemas de seguridad (bombeo y controles de flujo, sistemas de alarmas y detección, sistemas de comunicaciones de emergencia, etc.). De esta manera, en un caso real de siniestro, los equipos de combate cortarían toda la energía eléctrica en el edificio (tanto sea normal como de grupo), con excepción de los sistemas de seguridad, que funcionarían durante el tiempo que los equipos de combate consideren conveniente.

Equipos instalados en sistemas ininterrumpibles de generación eléctrica para iluminación (sistemas dedicados, UPS de iluminación)³¹

En este caso, los ramales de iluminación de emergencia (circuito eléctrico más luminarias de emergencia) son respaldados por UPS (unidades de alimentación ininterrumpible) específicas de iluminación. La UPS no es más que un banco de baterías de última generación, que brindará energía eléctrica a los ramales de iluminación conectados a ella. La diferencia radica en que todo el mecanismo del inversor pasa a ser electrónico, en base a microprocesadores (lógica de inversor) y se podrá programar y monitorear, incluso a distancia. Su tamaño será directamente proporcional al lapso de respaldo preestablecido (30 minutos, 1 hora, 2 horas, etc.), y deberá instalarse en un local ventilado y de dimensiones acordes a las servidumbres exigidas. Contará a su vez con un tablero general de UPS, el que incluirá las protecciones de todos los ramales de iluminación de emergencia a respaldar.

Estos sistemas sustituyen a los antiguos sistemas de baterías (descritos anteriormente) y se suelen instalar en edificios nuevos, independientemente de la complejidad del programa. Las ventajas de su uso radican en que estos sistemas trabajan con la tensión de la red, por lo que no son necesarias luminarias especiales ni existen limitaciones por caída de tensión en los ramales. A su vez, se centraliza el mantenimiento y el monitoreo en un único punto (tablero de UPS).

³¹ Se aclara *específicas de iluminación* dado que para estos ramales eléctricos no se necesita que la corriente esté regulada y filtrada, como es el caso de UPS para respaldo de procesadores de información. Por esta razón, estos equipos suelen ser más económicos.

Requisitos reglamentarios y métodos para su estimación (cálculo)

La NFPA 101 establece en su capítulo 5, secciones 8, *Iluminación de la vía de evacuación*, y 9, *Iluminación de emergencia*, los requerimientos referidos al tema. Por su incidencia en la elección del sistema, destacamos:

- Todas las partes o sectores de la vía de evacuación deberán contar con iluminación de emergencia durante todo el tiempo en que esta se encuentre disponible para su uso (5-8.1.21).
- No será apreciable la interrupción de la iluminación durante la transferencia o inversión de los sistemas (caída de la red eléctrica-arraque de batería o UPS).
- Cuando la red de iluminación de emergencia se respalde sobre un grupo electrógeno, el tiempo máximo de transferencia será de 10 segundos.
- El tiempo mínimo de permanencia del sistema será de 1.5 hora.
- El nivel de iluminación promedio exigido por la norma es de 10 luxes a nivel de piso, con un mínimo de 1 lux, pudiendo bajar a 6 luxes y 0.6 luxes respectivamente al final de la vía de evacuación.
- La uniformidad máximo-mínimo no excederá la relación 40-1.

Para realizar el cálculo de las luminarias de emergencia necesarias a instalar, así como los conductores eléctricos y potencia de ups (para el caso de su instalación), se considerará:

- Nivel de iluminación a nivel de piso: 10 luxes.
- Flujo lumínico de la lámpara elegida: lum/w.
- Cu o coeficiente de utilización: 0.1 (acabado de superficies gris oscuro).
- Superficie a iluminar: área en m².

La ecuación de base a utilizar será:

$$E = \Phi \times Cu / S$$

Donde Φ = Número de lámparas \times η lumínico.

(η lumínico para lámparas fluorescentes: promedio 75 lum/w; para lámparas led, verificar con fabricante).

Despejando Φ :

$$\Phi = E \times S / Cu$$

Obtenido Φ y conociendo la potencia de cada lámpara:

$$\Phi / \eta \text{ lumínico} = \text{Número de lámparas a instalar.}^{32}$$

Para el caso de instalar una ups que respalde todo el sistema de iluminación de emergencia, la potencia total del equipo vendrá dada por la suma de las potencias eléctricas de todas las lámparas, mayorando este valor en un 20% por futuras ampliaciones.

La sección de los conductores eléctricos de cada ramal será calculada por el método que corresponda (máximo calentamiento admisible o caída de tensión).

³² Para obtener la cantidad de luminarias dividiremos el total de las lámparas obtenido en el cálculo entre la cantidad de lámparas que contenga cada luminaria.

Sistemas de presurización de escaleras

La presurización de escaleras consiste en la inyección, en el hueco de una escalera, de un determinado caudal de aire, a una determinada presión, de manera de impedir el ingreso del humo. De esta manera, la caja de escaleras resulta en una zona protegida para facilitar el tránsito de las personas hacia la salida. Hablamos de un *sistema* dado que se compone de un conjunto de partes electromecánicas que trabajarán para la misma función. El diseño de estas partes se basará en el cálculo de la cantidad de aire mínimo a inyectar para cumplir la función deseada, considerando tres situaciones diferentes en las que puede fugarse parte del aire de inyección:

- Cálculo del caudal necesario con todas las puertas de acceso a la escalera cerradas.
- Cálculo del caudal necesario con todas las puertas de acceso a la escalera abiertas.
- Cálculo del caudal con puertas exteriores (a nivel de planta de salida) abiertas.
- Cálculo considerando la aleatoriedad de la apertura de las puertas, eligiendo el momento de máxima demanda.

La presión a la que se inyecta y debe equilibrarse el aire deberá situarse en un rango definido por, presión mínima: $0,05''\text{H}^2\text{O}$, para evitar el ingreso del humo a la escalera y presión máxima de $0,4''\text{H}^2\text{O}$ para permitir la fácil y rápida apertura de la puerta de acceso. A su vez, las variables de forma que inciden en el cálculo son: altura de la escalera, cantidad de pisos, área de filtración de las aberturas existentes en la escalera, hacia el exterior (por vanos y/o ventanas) y área de filtración de las aberturas existentes en la escalera, hacia el interior (por puertas).

El cálculo del caudal del ventilador excede el presente trabajo y se aclara que este, así como la selección correcta de todas las partes electromecánicas y controles, deberá ser ejecutado por un especialista en el tema. La Tabla 25 nos muestra los ítems más relevantes a tener en cuenta para la instalación de un sistema de presurización de escaleras en un edificio, desde el punto de vista del arquitecto.

Componente del sistema	Puntos de impacto en arquitectura	Previsiones electromecánicas	Otros
Ventilador, axial o centrífugo. (Equipo, motor y otros.)	Impacto en la estructura. Lugar de montaje (lejos de las fachadas o posibles puntos de salidas de humos.) Tipo de montaje y amure de los equipos (superior, lateral, etc.). Bases antivibratorias y/o especiales para ventilador y motor. Canalizaciones, cajas y registros para vinculación entre tablero eléctrico general o secundario y tablero eléctrico de presurización.	Acometida eléctrica, previsión de potencia, preferentemente bajo generación de emergencia. Tablero eléctrico con protecciones de conductores, protecciones de motor (contactor-disyuntor) y otros (luces de estado, perillas de accionamiento, tierra artificial, contador de horas de funcionamiento, etc.).	Diseñado y calculado por una asesoría especializada.
Previsiones en puertas de acceso relacionadas con el funcionamiento del sistema.	Todas las puertas de acceso deberán contar con brazo cierrapuertas de manera de impedir su apertura permanente.	Nota: Las puertas deben abrirse solo lo necesario para dejar pasar a una persona y mantener una fluctuación cerrada-abierta razonable.	
Rejas de inyección de aire a la escalera.	Pases y amure de marcos de madera para sujeción de rejas de inyección. El responsable decidirá el punto de instalación. Para el caso de reja de alivio: canalizaciones, cajas y registros para vinculación entre diferencial de presión y tablero eléctrico.	Rejas de inyección, fijas o contrapesadas.	
Diferencial de presión.	Canalizaciones, cajas y registros para vinculación entre tablero eléctrico y diferencial de presión. (El especialista indicará el punto de instalación).	Suministro e instalación de un medidor diferencial de presión, para los rangos solicitados (suele incluirse en el sistema).	
Accionamiento remoto manual.	Canalizaciones, cajas y registros para vinculación entre el tablero y el punto de comando. El responsable decidirá el punto de instalación.	Caja con botonera de arranque y pare del motor del ventilador.	
Lógica de funcionamiento interna.	Canalizaciones, cajas y registros para soporte de los cables de comunicación entre todas las partes (red LAN u otra interfase).	PLC, a instalar en el tablero eléctrico del sistema de presurización. Programación de variables (software y hardware).	
Accionamiento remoto automático.	Canalizaciones, cajas y registros para soporte de los cables de comunicación entre PLC y central de alarma de incendio.	Programación del funcionamiento del sistema y otros no relacionados, en función de los eventos registrados por la central de alarma de incendio.	
Rutinas de mantenimiento del sistema.	Deberá preverse accesibilidad adecuada a todas las partes del sistema.	Frecuencia según norma NFPA 92: semestral.	

Tabla 25. Componentes relevantes de un sistema de presurización de escaleras

El código CTE/SI, en su capítulo 10.1 menciona:

La protección de las escaleras y de los pasillos frente a los humos también puede conseguirse manteniéndolos en sobrepresión con respecto a los recintos con los que están comunicados, mediante los oportunos sistemas mecánicos de extracción o impulsión de aire. El cálculo y dimensionamiento del sistema deben justificarse por el proyectista, conforme a lo establecido en el artículo 3.

En nuestro medio esta medida se contempla como requisito en control de humos y solo se exige en el caso de determinados destinos (ocupaciones de servicios en general, industria, depósitos, especiales).

Test de autoevaluación módulo 17

1. ¿Cuál es el objetivo de la instalación de un sistema de iluminación de emergencia en un edificio?
2. ¿Cuál es el objetivo de la incorporación de la señalética de seguridad en un edificio?
3. ¿Se pueden combinar ambos sistemas?
4. Describa los componentes y el funcionamiento de un equipo autónomo de iluminación de emergencia.
5. ¿Qué función cumple un grupo electrógeno con respecto a un sistema de iluminación de emergencia?
6. ¿Qué función cumple una UPS de iluminación de emergencia?
7. Calcule la potencia de una UPS de iluminación de emergencia, la que abarcará una superficie de 500m² con un nivel lumínico de 10 luxes a nivel de piso.
8. Describa los componentes y el funcionamiento de un sistema de presurización de escaleras.
9. ¿Por qué razón un sistema de presurización de escaleras deberá mantener la presión del aire dentro de rangos predefinidos?
10. ¿Cuáles son las previsiones arquitectónicas a tener en cuenta para la instalación de un sistema de presurización de escaleras?

Lecturas recomendadas

Ver artículo: <http://www.nfpajla.org/columnas/punto-de-vista/425-aclaraciones-sobre-control-de-humo>

Jaime Moncada, miembro de NFPA y consultor en ingeniería de protección contra incendios en Estados Unidos y Latinoamérica, deja claro que la norma NFPA «no requiere la presurización de escaleras en ningún tipo de edificio», aunque su inclusión rebaja las exigencias constructivas indicadas en norma NFPA 220 *Tipos de construcción en edificios*, particularmente en edificios desarrollados en altura (mayores a 36 m) y protegidos con rociadores automáticos (NFPA 5000, 33.1.3). Agrega Moncada:

Sin embargo, la efectividad de un sistema de control de humo empieza con un análisis del uso del espacio y una evaluación de sus contenidos. Aquí se define el tamaño del incendio y su tasa de producción de humo. Subestimar la energía de los contenidos o su velocidad de combustión puede llevar a un sistema que puede ser incapaz de extraer suficiente humo y así obtener un espacio con un ambiente sostenible. Sobreestimar la energía de los contenidos

o su velocidad de combustión puede llevar a un sistema complejo, excesivamente costoso y que consume mucha energía. Los criterios de cálculo establecidos en NFPA 92, por ejemplo, funcionan bien para geometrías sencillas, pero para la arquitectura moderna, modelos de dinámica de fluidos computacionales (CFD) son imperativos. Todo esto apunta a que este tipo de diseños son de aplicación exclusiva para ingenieros de incendios con experiencia y experticia.

Parte 6

Marco técnico en arquitectura,
sistemas complementarios

Sistemas de detección y alarma de incendio

Introducción

Los sistemas de detección de incendios han sido diseñados con el fin de alertar el inicio de un incendio y, de esta manera, posibilitar su extinción temprana, manteniendo como objetivo principal la seguridad de las personas y la minimización de los daños materiales. Se componen de una central de alarma (procesador) y una red de componentes (denominados *periféricos*) distribuidos por el edificio y enlazados por un *loop* (cable especial) que los vincula a la central. Se trata de sistemas de tecnología electrónica (más comúnmente denominados *sistemas de tensiones débiles*) y se aplican para la supervisión de locales, edificios o conjunto de edificios. El diseño de estos sistemas, la elección de los periféricos y el alcance de la central, tanto como la modalidad de instalación propiamente dicha, se encuentran normalizados (la principal referencia son las normas NFPA 71, 72, 101 y anexos).

Básicamente se pueden distinguir dos tipos de sistemas: sistemas analógicos y sistemas digitales.

Los sistemas analógicos utilizan cableado convencional (cable coaxial) y permiten identificar únicamente zonas de alarma, sin indicar exactamente el punto activado, por lo que se les adjudica una prestación de baja a mediana. Suelen utilizarse en edificios chicos o medianos y obviamente en programas simples como viviendas o pequeños comercios.

Los sistemas digitales utilizan un cableado direccionable, que permite adjudicar a cada periférico una dirección digital en el sistema y, como consecuencia, una física en el espacio. Esta dirección es única para cada periférico, y proporciona una fácil y rápida identificación y localización del foco en el edificio.

Asimismo, esta red es capaz de realizar un auto monitoreo permanente de cada uno de los componentes del sistema, por lo que cualquier problema dado será detectado y avisado en forma instantánea a la central.

Los sistemas digitales han superado en prestaciones y seguridad de funcionamiento a los sistemas analógicos, lo que, sumado al abaratamiento de las nuevas tecnologías, hace que la migración de los sistemas sea aconsejable.³³

A su vez, corresponde mencionar que existen en el mercado detectores de humo autónomos alimentados con baterías. Estos no configuran un sistema propiamente dicho, actualmente se tiende a desestimular su uso y no se acepta su instalación ni siquiera en programas simples como viviendas o pequeños comercios. No deben confundirse con los detectores direccionables inalámbricos a baterías que sí forman parte un sistema y funcionan conectados a una central.

El presente capítulo referirá únicamente a sistemas digitales direccionables y se centrará en un enfoque básico de diseño y a las previsiones físicas para su instalación relacionadas con la arquitectura, sin profundizar en la tecnología electrónica específica de los equipos.

33 Se deberá tener en cuenta que, en general, las normativas asociadas al tema no aconsejan los sistemas híbridos o mixtos por considerar que las piezas adaptadoras no cuentan con la fiabilidad necesaria para el correcto flujo de la información, algo estrictamente necesario en sistemas sensibles como estos.

Descripción del sistema y sus componentes

La NFPA 72, en el punto 3.3.67 *Sistema de alarma de incendio*, define los sistemas de detección y alarma de incendio de la siguiente manera:

Sistema o parte de un sistema de combinación constituido por componentes y circuitos dispuestos para monitorear y anunciar el estado de la alarma de incendio o la señal de supervisión de dispositivos de activación e iniciar la respuesta adecuada a tales señales.

De esta definición surge el objetivo, «monitorear y anunciar el estado de la alarma de incendio», y establece una composición primaria del sistema, que pasamos a detallar y ampliar.

Periféricos

Son equipos que se deben interconectar con la central a través de una red de comunicaciones específica (red de incendio direccionable o *loop* de incendio).

Cada periférico incluido en esta red cuenta con una dirección propia, similar a una dirección ip, por lo que resulta único e identificable para el sistema y por consecuencia, en el espacio (ubicación física en el edificio).

Clasificamos a los periféricos, según su función, en:

- a) Detección. Detectores de humo, de llama, de calor, detectores en ductos de aire acondicionado o ventilación, detectores infrarrojos de tipo barreras, detectores de aspiración y otros especiales para programas industriales, etc. Los más usuales son los detectores de humo, que son capaces de captar partículas de inquemados en los gases de combustión. Para el caso en que en la atmósfera del local puedan existir partículas de inquemados en el aire, tal es el caso de una sala de calderas, se suelen instalar detectores de llama. El diseño físico y la tecnología aplicada para cada modalidad de trabajo de estos elementos exceden el alcance del presente trabajo (ver Ilustración 22).

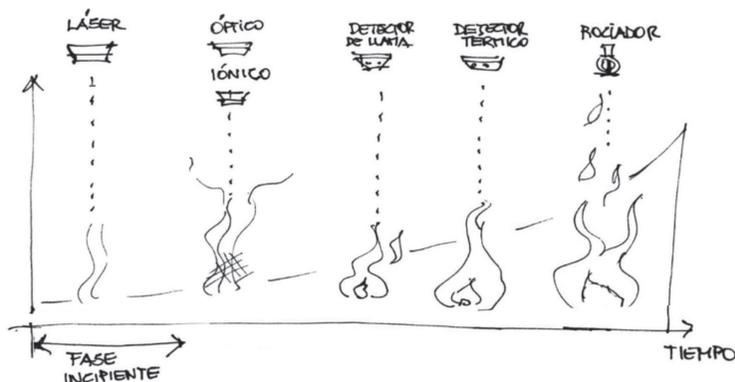


Ilustración 22. Ejemplos de distintos detectores de humo de uso común y su respuesta en el tiempo.

- b) Accionamiento manual. Se trata de jaladoras o pulsadores de alarma de fácil accionamiento manual.
- c) Aviso o señal. Parlantes de voceo, dependientes del módulo de audio de una central de alarma. Sirenas y luces estroboscópicas, ambas dependientes de la central propiamente dicha.
- d) Comando automático a distancia. Considerado como sistema auxiliar, incluye dispositivos de iniciación (relés, fuentes de alimentación, etc.) que actúan sobre circuitos eléctricos correspondientes a equipos electromecánicos complementarios a la seguridad contra incendios (retenes magnéticos para bloqueo o apertura de puertas, ventiladores de manejo de humos, presurizadores, activación de dámpers en ductos de aire, sensores de flujo, bombas de incendio, etc.).

Cableado y canalizaciones

Entendido como el lazo o *loop* que recoge y/o envía información relacionada a cada uno de los periféricos a través de su dirección digital. Este cableado, que será específico (usualmente de color rojo) y estará dedicado únicamente a su función, conforma lo que se denomina red *direccionable de incendios*. En una situación normal, la central (procesador) emitirá pulsos a cada una y todas las direcciones digitales de los periféricos y desde cada una de ellas recibirá como respuesta un estado que informe distintas situaciones según el caso: normal activado, desactivado, realizar mantenimiento, disparo por alarma, etc. Las canalizaciones son el soporte o protección del cableado, que está compuesto por caños, cajas y registros. La NFPA 72 establece que sean en hierro galvanizado liviano sin excepciones. Otras normas, como la UNIT 964:94, admiten conductos plásticos, siempre y cuando se empleen conductores blindados.

Central de alarma

El procesador principal (plaquetas con circuitos integrados y software de base) es capaz de monitorear el sistema en forma continua, analizar la información recibida de los periféricos y generar una acción en base a una rutina de respuesta preestablecida por el usuario. De manera simplificada, podemos deducir que la central actúa como punto vinculante principal y que todos los periféricos deberán estar conectados a ella a través del cableado anteriormente mencionado. Este cableado tendrá su punto de origen y llegada en la central de alarma o, dicho de otra manera, un único cable, con su soporte físico, recorrerá y se conectará a todos los periféricos del sistema retornando a la central para su análisis y procesamiento (lo que comúnmente se denomina *loop de incendio*).

Repetidoras

Se trata de centrales secundarias, repetidoras de la información procesada en la central principal en forma simultánea. Su instalación se hace necesaria en edificios de grandes dimensiones o de sectorización estricta, en los que es conveniente conocer la situación de las zonas alejadas para iniciar acciones de protección y/o extinción. Salvo excepciones, a diferencia de la central de alarma, estos equipos no procesan información.

Telefonía de incendio (*jacket* de incendio)

Consiste en una red de comunicaciones exclusiva de incendios, independiente de otras redes de comunicaciones del edificio, utilizada únicamente por el cuerpo de combate y rescatistas.

Audio de incendio (o audio de evacuación)

Se trata de un módulo adicional a la central de alarma, a la que será interconectado, y funciona como una central de audio (amplificador). Este permitirá el voceo de mensajes de alerta y/o instrucciones para dirigir la evacuación en el edificio. En la mayoría de los casos, los mensajes a emitir son pregrabados y se activan ante secuencias lógicas establecidas con anterioridad según se necesite. Esto permite ralentizar en el tiempo la evacuación de un edificio según la ubicación y gravedad del siniestro, evitando colapsar las vías.

Software gráfico representativo y PC para visualización

Para facilitar la visualización del sistema en su totalidad de forma amigable, se puede incorporar un software gráfico específico, que se instala en una pc común y permite:

- Importar archivos CAD de las plantas del edificio incluyendo en el dibujo todos los periféricos instalados con sus correspondientes direcciones digitales.
- Realizar la interconexión con la central y transmitir información en tiempo real, que será visualizada en los gráficos en forma simple e intuitiva.
- Generar registros históricos de alarmas y documentar el mantenimiento realizado.
- Realizar ajustes de programación u otros ajustes. Para esto se establecen distintos permisos o niveles de acceso al sistema.

Esta herramienta es muy útil cuando se cuenta con un local destinado a central de seguridad y con una persona encargada de su atención. De no ser así y considerando que su costo no es menor, no se justifica su instalación.

Finalmente, se presentan esquemáticamente elementos componentes de un sistema de detección y alarma de incendios (ver Ilustración 23) así como un esquema básico de la interrelación entre estos componentes (ver Ilustración 24).



Ilustración 23. Ejemplos componentes de un sistema de detección y alarma de incendio

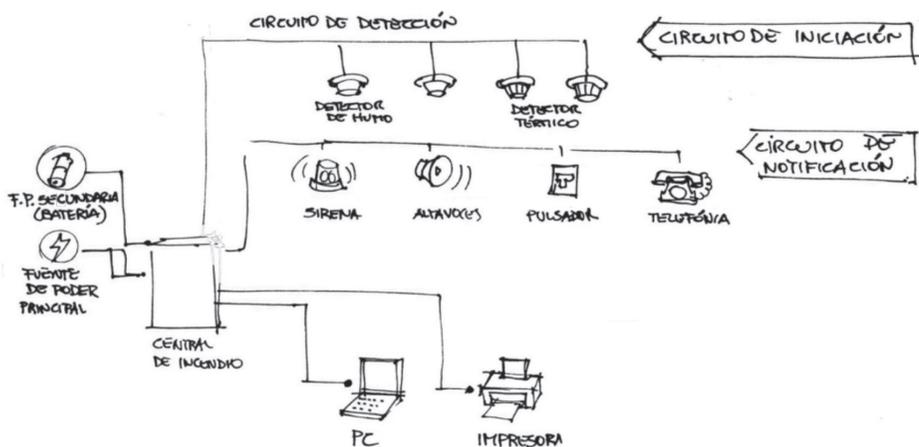


Ilustración 24. Esquema básico

Consideraciones de diseño según normas relacionadas

Partiendo de la definición establecida en la NFPA 72 y citada en presente capítulo, se considerarán dos premisas básicas de manera de igualar las prestaciones al momento del diseño:

- De instalarse un sistema de detección y alarma de incendio en un edificio, este sistema abarcará la totalidad de la construcción, por lo que todos los locales deberán contar con uno o tantos periféricos como sean necesarios, instalados según requerimientos normativos.
- El sistema será *dedicado*, lo que significa que únicamente atenderá alarmas por incendio y nunca robo u otro tipo de prestación.

Ahora, al momento de decidir si se instala o no un sistema de detección y alarma de incendio en un edificio dado, deberá considerarse una lectura cuidadosa de la NFPA 72, dado que esta no exige la instalación de estos sistemas en todos los casos. Asimismo, deberá considerarse también que esta norma se complementa con las normas 1 y 101, con excepciones según el edificio cuente o no con un sistema de extinción central (rociadores o *sprinklers*). La Tabla 26 resume las exigencias específicas según la NFPA 72, en conjunto con la NFPA 101 *Código de seguridad humana*, para distintos programas siempre y cuando el edificio sea nuevo.

Programa	SDAI	AMN	Audio INC	Telefonía INC	Observaciones
Oficinas					
3 pisos o más	No	Sí	No	No	
+50 P bajo PB	No	Sí	No	No	
+300 P	No	Sí	No	No	
h>23 m	No (*)	Sí	Sí	Sí	En S de M Ascensores
Teatros					
+300 P	No	Sí	No	No	
h>23 m	No (*)	Sí	Sí	Sí	En S de M Ascensores
Hoteles					
Todos los casos	Sí (*)	Sí	No	No	
h>23m	Sí (*)	Sí	Sí	Sí	En S de M Ascensores
Centros comerciales					
+3 pisos o +2.800 m ²	No (*)	Sí	No	No	En S de M Ascensores
1 P y +1115 m ²	No (*)	Sí	No	No	En S de M Ascensores
Edificios de apartamentos					
+3 pisos o + de 11 unidades	Sí (*)	Sí	No	No	Habitaciones, hall y corredores
h>23m	Sí (*)	Sí	Sí	Sí	Ídem + palliers

Tabla 26. Sistemas de detección y alarma de incendio. Exigencias de NFPA 72 para edificios nuevos. Tabla resumen extractada de NFPA 72.

SDAI: Sistema de detección y alarma de incendios. (Periféricos, red y Central de alarma) o (*): Detector único conectado a fuente eléctrica (single-station smoke alarms), según caso.

AMN: Sistemas de alarma manual y notificación en todo el edificio.

Audio INC: Audio de incendio (Emergency voice/alarm communication system).

Telefonía dedicada de incendio: two-way telephone communication service.

Algunos casos especiales: Atrios o espacios de más de una altura: Se incluye detección de humos para el caso de activación de evacuación de sistemas de manejo de humos.

Sistemas electromecánicos: Detectores de humo en ductos de ventilación, en tableros eléctricos, etc.

En cuanto al código CTE en el capítulo SI-4 del *Instalaciones de protección contra incendio* se determina que: «El edificio dispondrá de los equipos e instalaciones adecuados para hacer posible la detección, el control y la extinción del incendio, así como la transmisión de la alarma a los ocupantes» y determina las exigencias según el programa en cuestión y la superficie de edificación, según el resumen de la Tabla 27.

Programa	Exigencia mínima		
	Detección	Alarma	Audio
Vivienda	Si h de evacuación >50m	Si h de evacuación >50m	Indistinto
Residencial público	Si s > 5000m ²	Indistinto	Indistinto
Administrativo	Si s >2000m ² en locales de riesgo	Indistinto	Indistinto
	Si s > 5000m ² en todo el edificio	Indistinto	Indistinto
Hospitalario	Sí en todos los casos	Sí en todos los casos	Sí en todos los casos
Docente	Si 1000m ² < s < 2000m ² en locales de riesgo	Si 1000m ² < s < 2000m ² en locales de riesgo	Indistinto
	Si s > 5000m ² en todo el edificio.	Si s > 5000m ² en todo el edificio.	Indistinto
Comercial	Si s > 2000m ²	Si + 500 Personas	Indistinto
Pública concurrencia	Si s > 1000m ²	Si + 500 Personas	Indistinto
Parking	Si s > 500m ²	Si s > 500m ²	Indistinto

Tabla 27. Sistemas de detección y alarma de incendio. Exigencias de CTE-SI, capítulo. 4

En nuestro país, la unit 962:1994 establece las condiciones para la elaboración de los proyectos, la ejecución de instalaciones y la operación y mantenimiento de los sistemas de detección y alarmas de incendios.³⁴ La norma establece las características de sus componentes, su función y fija criterios para su ubicación. Los requerimientos en cuanto a qué edificios deben poseer este sistema o no están establecidos por el marco regulatorio de la DNB (decretos reglamentarios e IT00 con tablas de medidas asociadas).

Incidencia arquitectónica del sistema

Para prever correctamente la instalación de un sistema de este tipo, el arquitecto deberá considerar:

- Canalizaciones para soporte mecánico de cables de señal (por norma, caño de hierro galvanizado liviano).
- Cajas y registros necesarios para el correcto enhebrado de los cables e instalación de los periféricos (por norma, caño de hierro galvanizado liviano).
- Local o sector de local para instalar central de alarma. Puede instalarse en sala de seguridad o monitoreo.
- Alimentación eléctrica especial (red de emergencia y/o tensión regulada).
- Interconexión física entre central de alarma y el exterior.

Otras consideraciones importantes a tener en cuenta para la instalación del sistema son el área aproximada cubierta por cada detector y la verificación de las alturas de montaje de las cajas para pulsadores y/o sirenas, retenes magnéticos, acceso a detectores en ductos. En la práctica, las cajas y canalizaciones deberán preverse aún antes de definido

³⁴ A la fecha de la presente edición esta norma se encuentra en proceso de revisión, dado que, por el paso del tiempo y el surgimiento de nuevas tecnologías, en parte se ha vuelto obsoleta.

el subcontrato por lo que, en forma muy general, se considerará (y a posteriori se verificará con la normativa):

- Altura de montaje de pulsadores o jaladoras: 1.20 m sobre NPT.
- Altura de montaje de sirenas, luces estroboscópicas o parlantes: sobre dinteles, 2.20 m a 2.40 m sobre NPT.
- Área aproximada de cobertura de un detector: 50m² sin vigas o interrupciones.

La NFPA no considera relevante la instalación de un sistema de detección en edificaciones con alturas menores a 23 m, por tanto, la opción queda liberada al proyectista. En su defecto, prioriza la instalación de sistemas de extinción en base a rociadores, por su eficacia a la hora de la extinción del fuego incipiente, y es esta la base de la mayoría de las excepciones contempladas por esta norma. Sin embargo, sí reconoce la utilidad de los sistemas de notificación por voz y alarmas visuales y sonoras a la hora de alertar en forma temprana a los ocupantes, independientemente del programa y la altura del edificio. El código CTE-SI, en cambio, se rige según la superficie y la cantidad de ocupantes del edificio, y exige los sistemas de notificación por voz y alarmas visuales y sonoras únicamente para el caso hospitalario.

Es de destacar que los sistemas centrales de alarma y detección de incendios disponibles en el mercado suelen incluir todas las prestaciones posibles controladas bajo un mismo lazo de incendio y un único procesador. De esta manera, es usual que la detección se acompañe de la alarma y de la señalización, así como de todo tipo de periféricos incluyendo aquellos de accionamiento manual como los pulsadores. Lo que no es tan usual, básicamente por un tema de costo, es la incorporación del módulo de audio de evacuación y audio de combate, por lo que su aplicación se limita a aquellos casos condicionados por la normativa en forma explícita.

Test de autoevaluación módulo 18

1. ¿Cuál es el objetivo de la instalación de un sistema de detección y alarma de incendio en un edificio?
2. Describa en forma básica los componentes de un sistema de detección y alarma de incendio.
3. ¿Qué tecnología aplican estos sistemas?
4. Describa la diferencia entre un sistema analógico y un sistema digital.
5. ¿Qué premisas básicas de instalación establece la NFPA 72?
6. Según la NFPA 72, ¿es obligatoria la instalación de un sistema de detección y alarma de incendio en edificios nuevos?
7. ¿Y según el CTE-SI?
8. ¿En qué consiste un sistema de audio de incendio?
9. Enumere todas las previsiones arquitectónicas a tener en cuenta para la instalación de un sistema de este tipo en forma normalizada.
10. En cuanto a la alerta temprana de incendio, ¿en qué se diferencia un detector de un pulsador de incendio? ¿Puede uno suplir al otro? Fundamente.

Sistemas de extinción

Introducción

Una vez iniciado, el fuego debe ser extinguido a la brevedad para minimizar los daños. Al iniciarse un proceso de extinción, se ponen en marcha mecanismos de combate previstos de antemano para tal fin, ya sean estos privados (en el edificio) o públicos (organismos de bomberos), de orden práctico (protocolos de actuación) o electromecánicos (sistemas extintores). El fallo en alguna parte del proceso implica su fracaso parcial o total con su consecuente aumento de los daños producidos por el fuego.

El presente tema será abordado en forma abreviada bajo dos enfoques: la teoría de la extinción y los agentes extintores y la extinción propiamente dicha a través de distintos sistemas mecánicos, pero antes se procederá a la clasificación de los tipos posibles de fuego según el combustible.

Clasificación de fuegos según el combustible

Desde el punto de vista de la extinción, los fuegos se clasificarán en cinco clases: A, B, C, D y K (ver Ilustración 25):

- Fuegos clase A: Se trata de fuegos en materiales combustibles carbonizables comunes, con producción de cenizas. (Papel, madera, tejidos, etc.).
- Fuegos clase B: Se trata de fuegos en combustibles líquidos y/o gaseosos. (Derivados del petróleo, aceites, pinturas, grasas, alcoholes, etc.) No existe producción de ceniza. Los productos quemados pasan a la atmósfera en forma de humo.
- Fuegos clase C: Se trata de fuegos que involucran corriente eléctrica durante su desarrollo.
- Fuegos clase D: Se trata de fuegos en metales combustibles. Su estudio y profundización excede el presente trabajo.
- Fuegos clase K: Se trata de fuegos de aceites vegetales o grasas animales, no saturados, para los que se requiere un agente extintor que produzca un agente refrigerante y que reaccione con el aceite produciendo un efecto de saponificación que aísla la superficie del oxígeno del aire.



Ilustración 25. Clasificación de incendio

La teoría de la extinción y los agentes extintores

Raymond Friedman establece cuatro métodos de extinción de un incendio:

- Separar la sustancia combustible de la llama.
- Reducir la temperatura del combustible.
- Eliminar o reducir el oxígeno del aire presente.
- Aplicar productos químicos que alteren la química de la combustión.

En teoría, la aplicación de cualquiera de estos métodos altera y rompe el triángulo-tetraedro de fuego y, por consecuencia, la reacción de la combustión. Es en estos cuatro conceptos en los que se basa toda la teoría de la extinción. El autor concluye que, a la fecha, no ha sido posible establecer una teoría cuantitativa básica de la extinción del fuego, o sea, la definición acertada de la cantidad de agente extintor necesario para cada incendio, dada la complejidad de los posibles escenarios. Asimismo, todavía se desconocen a ciencia cierta algunas de las reacciones químicas y físicas que posibilitan o intervienen en los procesos de extinción de algunos fuegos o de algunos agentes extintores. A pesar de estas incertidumbres, podemos definir la existencia y la forma de actuar ante el fuego de los siguientes agentes extintores:

- Agua, que actúa por enfriamiento del combustible sólido encendido o directamente sobre la llama. El agua, transformada en vapor por el calor del incendio, absorbe parte del calor generado durante el cambio de estado físico, evita el ingreso de oxígeno al foco ígneo y, cuando esta vaporización se transforma en niebla, evita la transmisión de calor en forma de radiación. Su disponibilidad, bajo costo y facilidad de almacenaje la hace el agente extintor casi perfecto. Entre sus desventajas debemos considerar su conductividad eléctrica, su incapacidad de mezcla con otros líquidos de mayor densidad en los cuales «flota», particularmente en los líquidos combustibles, así como su factor destructivo (todos factores que la hacen inadecuada para determinados fuegos). El agua se aplica mediante mangueras (chorro) o pulverizada (rociadores). Ambas modalidades implican sistemas centralizados de extinción. Este agente extintor no representa ningún riesgo para las personas.
- Espumas o soluciones acuosas que se componen de agua con aditivos especiales, y se aplican como espumas especialmente para el combate de fuegos en líquidos combustibles. Frente al calor, se evapora el agua permitiendo al aditivo formar una capa sobre el combustible, enfriando la zona y desplazando el oxígeno. Las fórmulas varían según el tipo de fuego que se pretende combatir. Este agente extintor se aplica de varias maneras, desde extintores portátiles hasta sistemas más complejos utilizados para grandes fuegos (aeropuertos, hangares) o fuegos en lugares inaccesibles, donde se actúa por inundación del local. Este agente extintor no representa ningún riesgo para las personas.

- Gases inertes que actúan por dilución (reducción del oxígeno en el ambiente por desplazamiento volumétrico). El más conocido es el dióxido de carbono (CO₂). Este agente extintor se envasa en contenedores especiales, capaces de resistir su presión de envasado (58 atmósferas) y puede actuar sobre cualquier tipo de fuego, con excepción de los fuegos metálicos. Se utiliza particularmente en fuegos clase C (eléctricos). Una vez descargado este agente extintor, el oxígeno comienza a disminuir llegando a niveles no aptos para la vida, por lo que su uso se verá determinado por este factor. La descarga de este agente puede representar un riesgo para las personas al alterar los niveles de oxígeno en el ambiente.
- Agentes químicos secos que tienen como base el bicarbonato de sodio o bicarbonato de potasio, a los que se les adicionan estearatos metálicos para evitar la acción de la humedad. Actúan interrumpiendo la reacción química del fuego, absorben calor e impiden la transmisión de la energía radiante. Por todas estas características, estos agentes extintores son aptos para casi todos los fuegos. Debe considerarse que su uso provoca altos niveles de corrosión en las partes metálicas de los equipos afectados, en particular los equipos electrónicos o pequeñas partes eléctricas. Este agente extintor no representa mayores riesgos para las personas.
- Agentes halogenados que actúan interrumpiendo la reacción en cadena. Son básicamente hidrocarburos en los que uno o más átomos de hidrógeno han sido sustituidos por átomos de flúor, bromo o yodo. Inicialmente fueron utilizados para extinguir fuegos incipientes en locales sensibles (centros de procesamiento de datos, museos, bibliotecas, etc.) por ser los agentes extintores que menos daño colateral causaban en los ítems a proteger. La primera generación de estos agentes se llamó comercialmente Halón 1301 y derivados. Posteriormente se comprobó que su uso provocaba cambios en las capas superiores de la atmósfera, y actuaba como catalizador en la conversión del ozono (O₃) en oxígeno normal (O₂), reduciendo la capacidad de filtrado de los rayos uv. Este punto fue corregido y los agentes halogenados existentes en plaza en la actualidad son inocuos desde este punto de vista. Este agente extintor se aplica de varias maneras, desde extintores portátiles hasta sistemas fijos con cañerías en seco. El costo de estos agentes extintores es elevado ya que se trata de un producto de importación, fabricado y envasado bajo estrictas medidas de seguridad y ambientales. Para casos sensibles se recomienda prever el stock con la antelación suficiente. Una vez descargado este agente extintor, pueden formarse productos químicos propios de su descomposición. La descarga de este agente extintor en espacios pequeños o mal ventilados es riesgosa para las personas.

La Tabla 28 resume los agentes extintores recomendados para cada tipo de fuego:

Clase de fuego		Agente extintor				
Clase	Combustible	Agua	Espuma	CO ₂	Polvo	Halogenados
A	Sólidos	●	●	>	>	x
B	Líquidos y gases	x	●	●	●	>
C	Con electricidad	x	x	●	●	>
D	Metálicos	x	x	x	>	●

Tabla 28. Agentes extintores según clase de fuego.

- Aconsejado para la clase de fuego indicada.
- > Puede utilizarse.
- x No debe utilizarse en esta clase de fuego.

Fuente: Centro de Estudios para el control del fuego (CECOF). Instituto Argentino de Seguridad

Sistemas de extinción de incendios

El cálculo y diseño de estos sistemas es competencia de profesionales especializados. El presente trabajo abordará el tema únicamente desde el punto de vista de su incidencia en el proyecto arquitectónico y citará la normativa de referencia para su consulta de ser necesaria. A modo simplificado, los sistemas de extinción de incendios se clasifican en: sistemas portátiles, sistemas de mediana envergadura y sistemas de gran envergadura. La siguiente tabla resume sus características físicas, sus componentes y las áreas afectadas en el edificio.

Sistemas portátiles

Los sistemas portátiles son los extintores manuales, rellenos con variados agentes extintores, a presiones más elevadas que la atmosférica (ver Ilustración 26). Se ofrecen en plaza de distintas capacidades y se instalan estratégicamente de manera de posibilitar un primer intento de extinción por parte de personas no necesariamente preparadas para su uso. Actualmente, el más usado es el de polvo, que es apto para casi todos los tipos de fuego y su descarga no compromete la seguridad de las personas. Estos equipos cuentan con una etiqueta en la que se indica la última fecha de revisión y la fecha de caducidad y deben ser rellenados en talleres dedicados, de manera de garantizar las presiones de envasado y legitimidad del agente extintor. Al momento de su rellenado, se verifican las condiciones físicas de los envases (corrosiones, golpes, debilitamiento del metal, etc.). Se recomienda llevar inventario de estos equipos y ser rigurosos en el seguimiento del mantenimiento preventivo y correctivo.

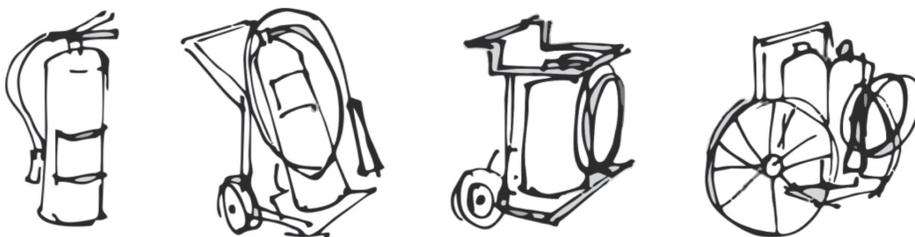


Ilustración 26. Sistemas portátiles

Sistemas de mediana envergadura

Estos sistemas pueden ser de accionamiento manual o automático. Los de accionamiento manual son de factura similar a los portátiles, pero de mayor tamaño para contener mayor cantidad de agente extintor. Dado su mayor tamaño, cuentan con carros incorporados para poder ser trasladados rápidamente. Suelen instalarse para atender locales con mayor carga de fuego a la media o en los que se pueden esperar fuegos de mayor duración (ver Ilustración 27).

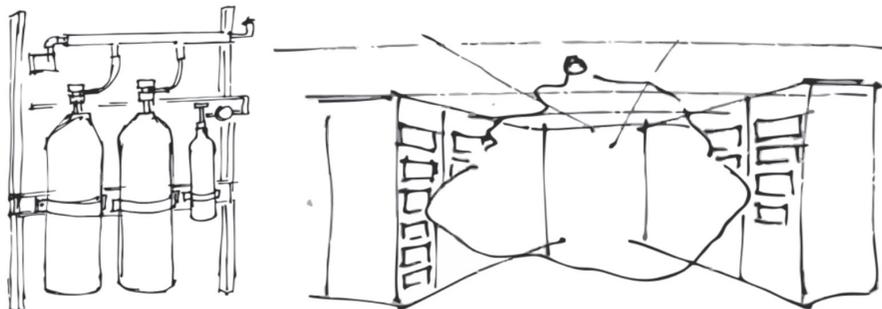


Ilustración 27. Sistemas de gran envergadura

Incluidos en esta clasificación se encuentran sistemas automáticos de tamaño mediano, como pueden ser sistemas de extinción específicos para campanas de extracción de vahos de cocción (ANSUL, por su nombre comercial) o sistemas de extinción en centros de procesamiento de datos (FM200, por su nombre comercial). En estos casos, el agente extintor suele ser halogenado y se almacena en un contenedor metálico cercano al punto a extinguir. A su vez, estos sistemas son autocontenidos e incluyen las cañerías, los nodos de dispersión del gas, el tablero eléctrico con sus protecciones, controles y, en casos especiales, se encuentran ligados a sistemas de detección temprana (ver Ilustración 28).

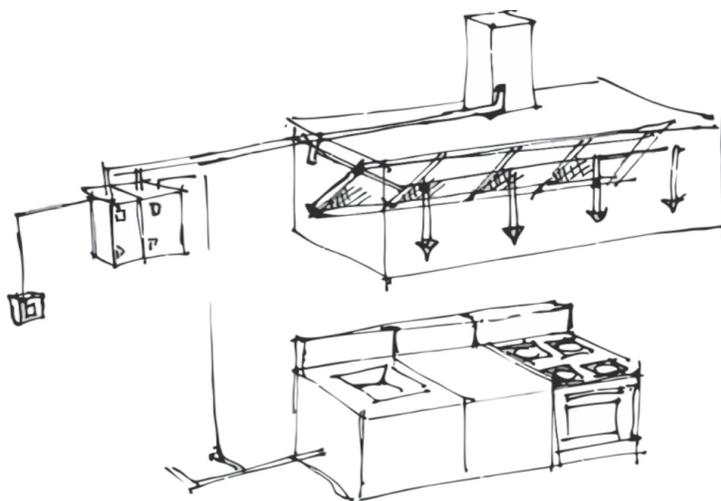


Ilustración 28. Sistemas de extinción automáticos de cocina

La descarga del gas puede darse en forma mecánica por destrucción del bulbo de testeo de calor y rotura del sello (campanas de extracción) o puede ser programada en forma vinculante a una central de detección de incendios (extinción en centros de procesamiento de datos). La diferencia está en que en el primer caso no se puede abortar la descarga por falsa alarma y en el segundo caso sí.

Sistemas de gran envergadura

Se trata de sistemas de gran porte, que contemplan la posibilidad de extinguir un fuego en desarrollo, o sea, no extinguido en las etapas iniciales y generalizadas en sectores o la totalidad del edificio. Estos sistemas pueden ser de uso manual, como los hidrantes, o automáticos, como los sistemas de rociadores (ver Ilustración 29 e Ilustración 30). Para ambos casos las previsiones arquitectónicas son de consideración, y es particularmente importante la previsión de la reserva de agua de incendio exigida por normativa (ubicación, soporte estructural), la acometida eléctrica (en algunos puede requerir incluso ser independiente) para el bombeo de incendio y la distribución de las cañerías y ubicación estratégica de los nodos de dispersión, *sprinklers* o rociadores.³⁵

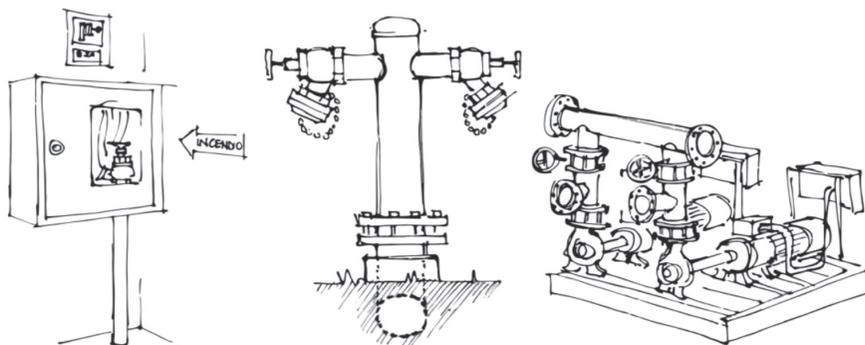


Ilustración 29. Sistema de hidrantes: boca de incendio equipada, columna de incendio, bomba de impulsión principal de incendio

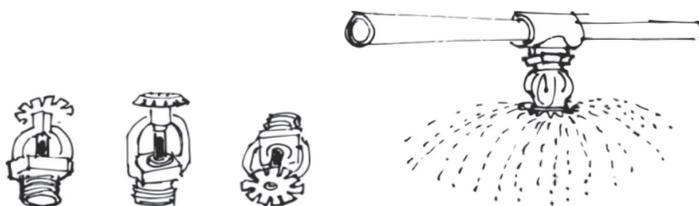


Ilustración 30. Rociador automático

Otros sistemas

Para el caso de grandes edificaciones, ya sea en área o en altura, o en programas industriales, suelen exigirse tomas de agua de incendio en el exterior del edificio o también conocidas como *conexión para recalque* (ver Ilustración 31).

³⁵ Por mayores detalles referidos a los hidrantes en el ámbito local, ver Instructivo Técnico n.º 5, Sistemas de tomas de agua y bocas de incendio.

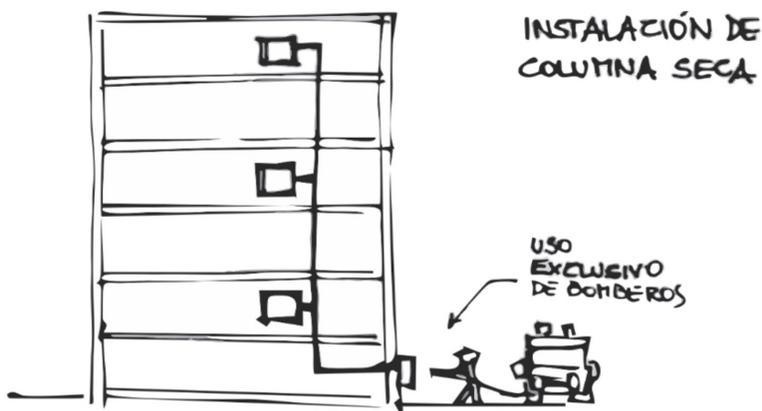


Ilustración 31. Boca exterior

Consideraciones finales

La NFPA 101 contempla excepciones para aquellos edificios que cuenten con sistemas de extinción centralizada en base a *sprinklers*.

Esta consideración es muy importante desde el punto de vista económico, ya que a veces puede resultar menor la inversión en la instalación de este sistema en comparación a la instalación de otros sistemas de protección pasiva exigidos por la norma y de gran incidencia final en el diseño del local (por ejemplo, grandes áreas vidriadas con alta RF). A su vez, la razón de este enfoque se basa en la fiabilidad del sistema de *sprinklers* en la extinción de fuegos incipientes. Se recuerda que este sistema se activa en forma mecánica de la siguiente manera:

- Cuando el calor generado por un fuego incipiente llega a determinado valor, la ampolla de testeo del *sprinkler* más cercano se rompe liberando el sello en forma mecánica y permitiendo derramar el agua, existente en la cañería, sobre este fuego.
- Cuando un sensor de flujo detecta este movimiento del agua en la cañería y envía la señal para arrancar las bombas de incendio que presurizarán la cañería, garantizando de esta manera el caudal y la presión de diseño en el punto de la red activado.

El agua del *sprinkler* activado suele ser suficiente para extinguir el principio de incendio. Si por alguna razón no fuera suficiente, se activarán los *sprinklers* cercanos a medida que el calor rompa sus ampollas de testeo. Ante esta situación, es prácticamente imposible que un incendio progrese y se propague al resto del edificio.

Existe un alto contenido de ingeniería en el diseño de las cabezas de *sprinklers* (nodos de dispersión). La geometría de su forma y su tamaño definen la manera en que llegará el agua a la zona de incendio, y logran en algunos casos la dispersión de agua en forma de niebla.

A continuación, se incluye un resumen en la Tabla 29 donde se indican los sistemas clasificados por su tamaño y alcance, una breve descripción, su incidencia en el proyecto arquitectónico y la normativa de consulta aconsejada.

Sistemas	Operación	Denominación	Combate	Ubicación	Componentes	Previsiones arquitectónicas	Referencia (***)
Portátiles	Manual	Extintores, bomberitos, matafuegos, etc.	Fuegos incipientes	En todos los locales o grupos de locales, cercanos a la salida, de manera de posibilitar el escape	Extintor completo	Amures en pared, señalética específica	NFPA 101, NFPA 10, CTE-SI-4. UNIT 598:2017, IT04 de DNB
De mediana envergadura	Manual	Carros de extinción	Fuegos incipientes	En locales o grupos de locales especiales con mayor carga de fuego	Carro extintor completo	Espacio dedicado y circulación libre para traslado, señalética específica	NFPA 101, NFPA 10, UNIT 598:2017, IT04 de DNB
	Automática	Sistemas exclusivos para lugares sensibles	Fuegos incipientes	Campanas de cocina, centros de cómputos, locales de seguridad, etc.	Red de cañerías con nodos de dispersión. Depósitos de agentes extintores según el caso. Tablero eléctrico y de control. Interconexión con central de alarma	Local específico para instalación de contenedores de agente extintor. Espacio para montaje de red de cañerías y otros, según normativa. Señalética específica	NFPA 101, NFPA 13, NFPA 24, NFPA 25, CTE-SI-4

De gran envergadura	Manual por personal de combate	Hidrantes	Fuegos ya en desarrollo	Columnas montantes con cajas equipadas instaladas en puntos estratégicos al combate del fuego	Agua de incendio en tanque específico o reserva en tanque común, bombas de incendio de ser necesario, cajas terminales equipadas con manguera, puntero, válvula de apertura y otros (BIE).	Prever reserva de agua de incendio en tanques de agua o instalación de tanque específico. Prever montante de cañerías y espacio para instalación de BIE, según normativa. Señalética específica	NFPA 101, NFPA 14, CTE-SI-4, IT05 de DNB
De gran envergadura	Automática	Rociadores o <i>sprinklers</i>	Fuegos incipientes.	En todo el edificio a través de una red de cañerías y bocas de extinción.	Agua de incendio en tanque específico, bombas de presurización, tablero eléctrico y de control, válvulas con sensores de flujo, red de cañerías y nodos de dispersión (<i>sprinklers</i> o rociadores). Interconexión con central de alarma	Local específico para instalación de bombas de incendio. Acometida eléctrica independiente. Espacio para montaje de red de cañerías y otros, según normativa. Señalética específica	NFPA 101, NFPA 13, NFPA 24, NFPA 25, CTE-SI-4
Otros sistemas	Manual por personal de combate	Redes de apoyo exteriores	Fuegos ya en desarrollo	En fachadas, con cajas equipadas instaladas en puntos cercanos a redes urbanas de distribución de agua	Cajas terminales equipadas con bocas gemelas para complementar la reserva de agua y/o ingresar agua directamente al edificio en forma simultánea	Prever espacio para instalación de caja terminal especial, según normativa. Señalética específica	NFPA 14, NFPA 24, NFPA 25

Tabla 29. Tabla resumen. Clasificación de sistemas de extinción, descripción, incidencias arquitectónicas y normativa específica (tabla de autor)

Test de autoevaluación módulo 19

1. Describa la base teórica de la extinción de incendios.
2. ¿Cuál es la clasificación de los fuegos desde el punto de vista de la extinción?
3. ¿Qué tipo de agentes extintores conoce?
4. ¿Por qué el agua es el mejor agente extintor conocido?
5. ¿Por qué se utilizan espumas como agentes extintores en fuegos de líquidos combustibles?
6. ¿Cuál es el principal defecto del polvo como agente extintor?
7. ¿Qué agente extintor utilizaría para combatir un fuego generado en una pieza eléctrica energizada?
8. ¿Qué sistemas de extinción de mediana envergadura conoce? Describalos.
9. ¿Cuáles son las previsiones arquitectónicas a tener en cuenta para la instalación de un sistema de *sprinklers* o rociadores?
10. ¿Cómo actúa un rociador o *sprinkler*?
11. ¿Cuál es la postura de la NFPA 101 frente a los sistemas de extinción automática con *sprinklers* o rociadores?
12. Describa brevemente el alcance de la norma UNIT 598:2017.
13. ¿Cuáles son las previsiones arquitectónicas a tener en cuenta para la instalación de un sistema de hidrantes en un edificio nuevo?
14. Desde el punto de vista de la extinción de incendios y para la habilitación ante la DBN de un edificio de apartamentos existente, ¿qué parámetros deberán verificarse para ajustarse a la normativa local?
15. ¿Qué sistema de extinción utilizaría para proteger una campana de extracción de vapores generados en una mesa de cocción con tres freidoras, tres planchas y tres hornallas?

Lecturas recomendadas

En referencia a la incidencia en la seguridad de las personas frente a la instalación de sistemas de extinción en base a *sprinklers*, es interesante la lectura del artículo de John Nicholson *5000+101*, publicado en NFPA Journal latinoamericano, en el siguiente link: <http://www.nfpajla.org/archivos/edicion-impres/ocupaciones-de-cuidado-de-la-salud/858-5000-101>

Sistemas de manejo de humos fuera de la vía de evacuación

Introducción

Tal como se ha indicado en los capítulos anteriores, el humo es la principal causa de daño y muerte en las personas en los incendios. En la parte 5, capítulo 8 del presente manual, «Sistemas electromecánicos complementarios en las vías de evacuación», ya ha sido explicado en qué consiste un sistema de presurización de escaleras; además, debemos considerar que fuera de la vía de evacuación pueden incluirse sistemas que posibiliten la extracción o dilución de los humos en un incendio. El adecuado control de humos es fundamental para garantizar la seguridad de los ocupantes de un edificio ya que:

- Una vez dado un incendio en cualquier punto del edificio es muy fácil y rápida la propagación del humo hacia los recintos o locales próximos o alejados no adecuadamente compartimentados.
- El humo, por su gran movilidad y su elevada temperatura, favorece la propagación del incendio.

Dado un foco de incendio y en ausencia de un mecanismo de control de humos, toda la zona o sector se llenará con el humo y los gases calientes del incendio. El humo a mayor temperatura tiende a ascender y acumularse bajo cubierta con una ligera sobrepresión respecto al ambiente exterior. El humo recorre todo el techo hasta caer por las paredes realizando un recorrido envolvente que se explica físicamente por las temperaturas y las densidades que se alcanzan (ver Ilustración 32). En ausencia de mecanismos de control, la inundación de humos puede llegar a ser total.

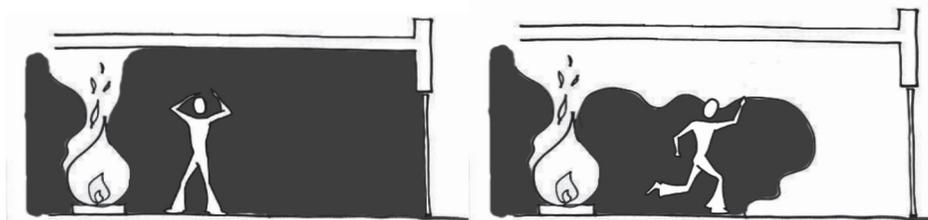


Ilustración 32. Propagación de humos y gases de combustión en un ambiente sin control de humos

En la Ilustración 33 podemos ver en cambio qué sucede cuando se aplican los mecanismos de control. El humo acumulado bajo cubierta, por su ligera sobrepresión con respecto al ambiente exterior, tiende a evacuar hacia afuera si se dispone de aberturas adecuadas y sin agentes externos que lo impidan.

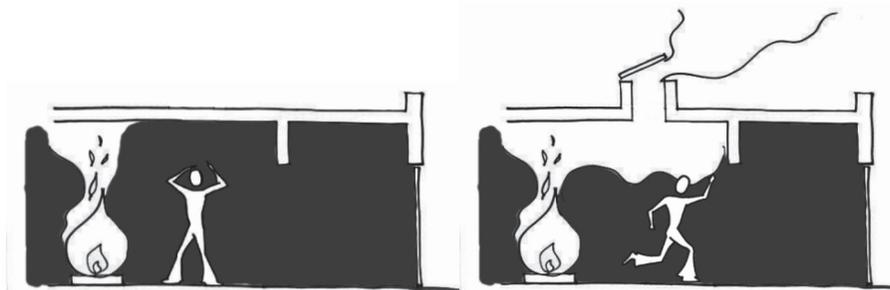


Ilustración 33. Propagación de humos y gases en un ambiente con manejo de humos

Más allá de los requisitos reglamentarios aplicables a un edificio o programa específico es aconsejable que, donde se reúnan personas, donde se instale una planta o proceso industrial o donde se almacenen materiales en el interior de una superficie cerrada cubierta, se considere la instalación de un sistema de control de temperatura y evacuación de humos.

Control de humos

Entendemos al control de humos como el «conjunto de medidas para controlar la propagación o el movimiento del humo y los gases de combustión en el interior de un edificio durante un incendio». Este deberá diseñarse para alcanzar uno o más de los siguientes objetivos y/o aplicaciones:

- Mantener las vías de acceso y evacuación libres de humos.
- Facilitar las operaciones de lucha contra el incendio al generarse una capa libre de humos.
- Controlar la potencia térmica de los humos, reduciendo el riesgo de la combustión súbita generalizada o *flash over*.
- Reducir el efecto térmico sobre los elementos de la estructura portante.
- Proteger las propiedades.

La forma de los edificios tiene gran influencia sobre el movimiento natural del aire, ya que este depende de las diferentes presiones creadas por las construcciones. Los cálculos de sistemas de control de humos pueden ser tan complejos como la propia geometría del recinto o edificio. Todo cálculo y diseño deberá ser realizado por especialistas. Las soluciones de control de humos complejas también pueden ser simuladas por modelos informáticos específicos, según la complejidad del diseño del recinto o edificio.

Los sistemas de control de temperatura y evacuación de humos son fundamentales en tipologías especiales de edificio como lo es el «atrio», definido como un espacio de gran volumen cubierto que conecta dos o más niveles de un edificio. Los atrios se han vuelto habituales en hoteles, centros comerciales, centros de enseñanza y demás edificios de concurrencia pública. Estos espacios, a diferencia de otros recintos, carecen de elementos de

compartimentación que limiten la propagación de humos y gases de combustión. Lo mismo sucede en los teatros, particularmente en la zona de escenario, en los estacionamientos y otros recintos similares.

Clasificación de sistemas de control de humos

Los sistemas de control de temperatura y evacuación de humos que se pueden emplear se enumeran a continuación, aunque las posibilidades no se limitan a estos solamente:

Sectorización de humos

La sectorización de humos puede realizarse mediante elementos separadores o de sectorización (tales como cortinas o barreras), que actúan como cortahumos y logran que los humos permanezcan dentro de unos límites controlados. La sectorización puede realizarse directamente mediante el diseño de los propios cerramientos (vigas, antepechos, voladizos) que se constituyen en barreras arquitectónicas frente al humo; puede ser pasiva (integrar la estructura y/o los cerramientos) o electromecánica (ver Ilustración 34).

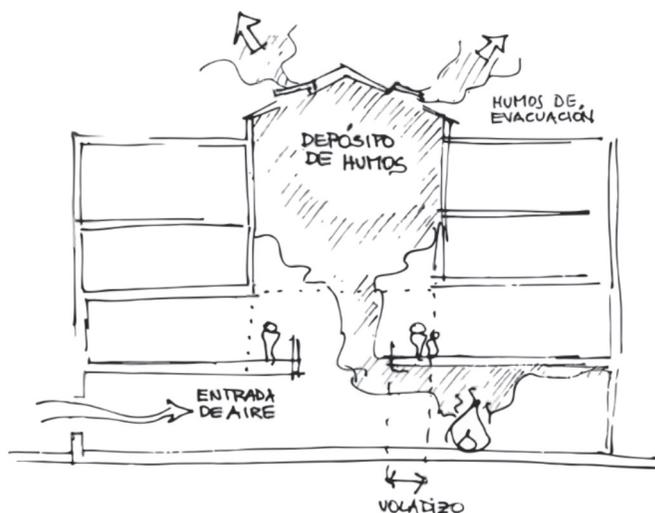


Ilustración 34. Sectorización de humos

Ventilación, aireación o dilución

La ventilación, aireación o dilución se realiza a través del ingreso de aire limpio, que logra rebajar las concentraciones de los inquemados u otros gases tóxicos del humo de la combustión. Esto implica un punto de ingreso de aire y un punto de salida de los humos, por lo que en la práctica se debe prever el camino o la vía que lo posibilite y permita obtener un incendio controlado por la ventilación y no por el combustible (ver Ilustración 35).

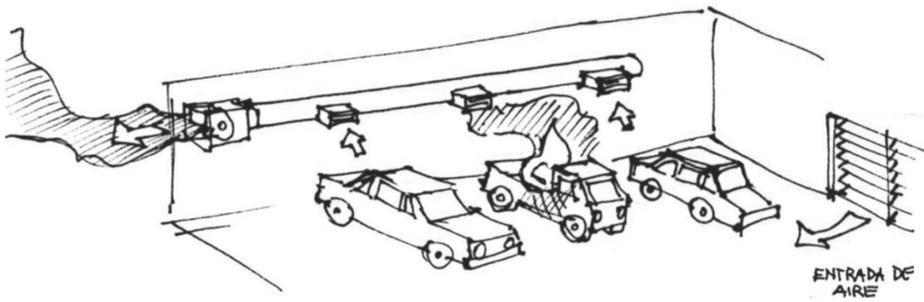


Ilustración 35. Ventilación de humos

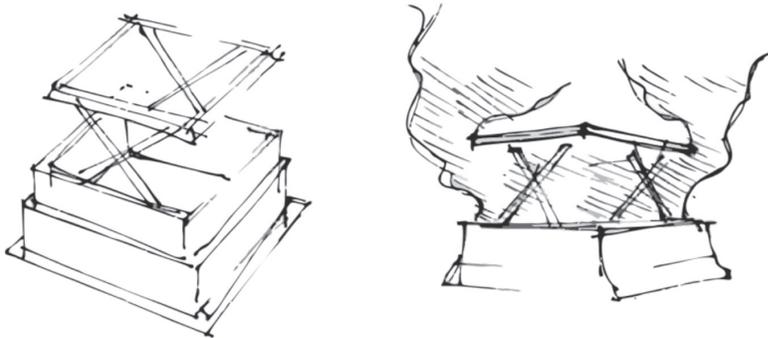


Ilustración 36. Exustorios

Por razones obvias, las salidas de humo deberán estar en la parte superior del edificio alejadas de tomas de aire de equipos de aire acondicionado, ventanas, espacios habitados, etc. (ver Ilustración 36 e Ilustración 37).

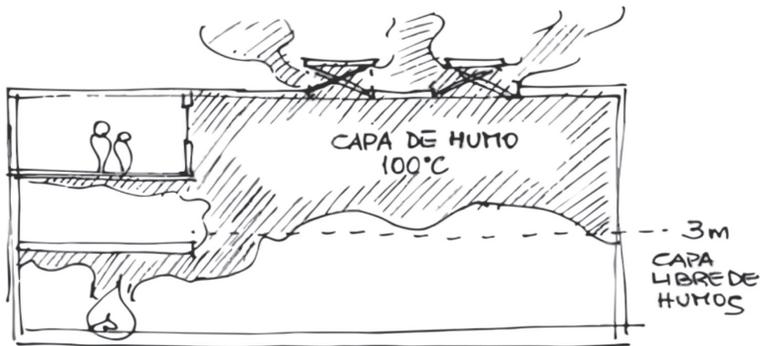


Ilustración 37. Ventilación de humos
(ubicación de exustorios en parte superior de edificio)

Presurización de ambientes

La presurización de ambientes se realiza siempre por medios mecánicos. Consiste en generar presiones positivas en el ambiente, de manera de que el humo no pueda ingresar a la edificación. Estos sistemas se aplican fundamentalmente en escaleras de incendio, aunque en teoría puede aplicarse a cualquier local. (Ver parte 5, capítulo 8 del presente manual, «Sistemas electromecánicos complementarios en las vías de evacuación».) (Ver Ilustración 38).

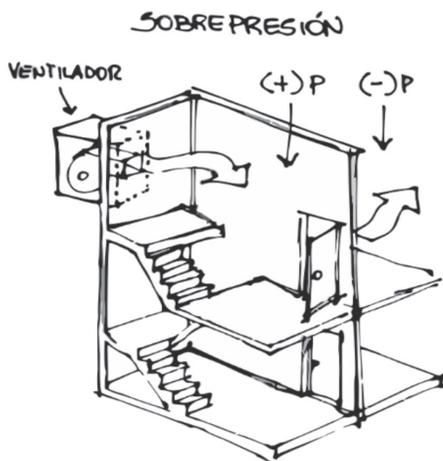


Ilustración 38. Presurización

Previsiones arquitectónicas

Las previsiones arquitectónicas dependerán del sistema elegido, aquellas de orden pasivo deberán ser estudiadas con asesores especializados y para las electromecánicas valen las consideraciones indicadas en la Tabla 11, «Componentes relevantes de un sistema de presurización de escaleras», y adaptadas para cada situación. La Tabla 30 es meramente orientativa de los sistemas y las previsiones a tener en cuenta.

Sistema de control de humos	Método de control	Previsiones arquitectónicas	Previsiones electromecánicas
Pasivo	Compartimentación	Cerramientos y estructura	No
Pasivo por zonas	Compartimentación	Cerramientos y estructura	No
Para atrios	Extracción	Previsión de vanos en cubierta	Sí
Para estacionamientos y garajes cerrados	Extracción	Previsión de ingreso y salida del aire-humo. Previsión para instalación de extractores	Sí Acometida eléctrica y de control.
Para escaleras y elevadores	Presurización	Previsión de pesos y vibración de los equipos. Previsión de vanos en cubierta	Sí Acometida eléctrica y de control.

Tabla 30. Tabla resumen. Clasificación de sistemas de manejo de humos, descripción, provisiones arquitectónicas (tabla de autor)

Normativa relacionada

Entre los variados referentes en el tema existente, se puede consultar:

- EN 12101-11 Parte 11: Requisitos de diseño y métodos de cálculo de sistemas de extracción de humo y de calor considerando fuegos variables en función del tiempo. NFPA 92A Standard for Smoke Control Systems Utilizing Barriers and Pressure Differences.
- NFPA 92B Standard for Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Spaces.
- NFPA 101 Código de seguridad humana.

Test de autoevaluación módulo 20

1. ¿Por qué razones se considera oportuno incluir un sistema de manejo de humos en un edificio?
2. ¿Qué se entiende por *control de humos*?
3. ¿Cuál sería la clasificación de sistemas de manejo de humos?
4. ¿En qué consiste la técnica de sectorización de humos?
5. ¿Cuáles son las provisiones arquitectónicas a tener en cuenta efectuar una sectorización de humos?
6. ¿Qué significa *presurizar* un ambiente?
7. ¿Cuáles son las provisiones arquitectónicas a tener en cuenta para presurizar una caja de escaleras?
8. ¿Cuáles son las provisiones arquitectónicas a tener en cuenta para extraer los posibles humos generados en un estacionamiento por debajo de planta baja?
9. Describa un sistema de control de humos pasivo y dónde lo aplicaría.
10. ¿Cuáles son los sistemas de manejo de humos que necesitan acometida eléctrica e instalaciones de control?

Agradecimientos

Agradecemos al exdecano de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo Gustavo Scheps, y al director de la carrera de Arquitectura, Raúl Velázquez, por su aval y apoyo para la postulación de este proyecto ante la Comisión Sectorial de Enseñanza.

Referencias bibliográficas

- Brasil. (2001, agosto 31). Decreto n.º 46.076. *Asamblea Legislativa del Estado de San Pablo*.
- Bryan, J. L. (1993). La conducta humana ante el fuego. En Cote, A. y Linville, J. (Coords.), *Manual de protección contra incendios* (pp. 1329-1344). España: Fundación MAPFRE.
- Código de la Edificación de la Ciudad de Buenos Aires. (2013). Buenos Aires: Universidad Torcuato di Tella. Recuperado de http://www.aret-pi.com.ar/pdf_pregfrec/Codigo%20de%20Edificacion%20actualizado%20a%20marzo%202013.pdf
- Código Técnico de la Edificación (CTE) (2015). España.
- Dwyer, J., Lipton, E., Flynn, K. y Glanz, J. (2002, mayo 26). 102 Minutes: Last Words at the Trade Center; Fighting to Live as the Towers Die. *New York Times*. Recuperado de <http://www.nytimes.com/2002/05/26/nyregion/102-minutes-last-words-at-the-trade-center-fighting-to-live-as-the-towers-die.html?scp=1&sq=last+calls+twin+towers&st=cse&pagewanted=all>
- Fidalgo Vega, M. (1999). NTP 390: *La conducta humana ante situaciones de emergencia: análisis de proceso en la conducta individual*. España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. Recuperado de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_390.pdf
- Friedman, R. (1993). Teoría de la extinción del fuego. En Cote, A. y Linville, J. (Coords.), *Manual de protección contra incendios* (Capítulo 6). España: Fundación MAPFRE.
- Fruins, J. J. (1987). *Pedestrian planning and design*. *Elevator World*. Estados Unidos: Library of Congress.
- Fundación MAPFRE Estudios. (1998). Método Simplificado de Evaluación del Riesgo de Incendio: MESERI. 64 (4), 17-29. Recuperado de https://www.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=1020222
- Grant, C. (Dir.). (1998). Incendios. En Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- Instructivo Técnico n.º 12 Carga de fuego en edificaciones y áreas de riesgo. (2018).
- Instructivo Técnico n.º 16 Plan de evacuación. (2016).
- Instructivo Técnico n.º 4 Sistemas de protección por extintores portátiles. (2011).
- Instructivo Técnico n.º 42 Proyectos técnico-certificación (PTC). (2019). Anexos A y B Protocolo de llamada en caso de incendio y Protocolo de actuación en caso de incendio (hospedaje, educación y servicios de salud).
- Instructivo Técnico n.º 5 Sistemas de Tomas de Agua y Bocas de Incendio (2019).
- International Building Code (IBC). (2017). Estados Unidos: International Code Council.
- IRAM 11910-1 Materiales de construcción. Ensayos de reacción al fuego. Clasificación de acuerdo a la combustibilidad y al índice de propagación de llama.
- ISO 1182:2010 Ensayos de reacción al fuego de productos. Ensayo de no combustibilidad
- ISO 1716:2010 Ensayos de reacción al fuego de productos. Determinación del calor bruto de combustión (valor calorífico).
- Itiu Seito, A. (1998) Fundamentos de fogo e incêndio. En Itiu Seito, A. et al., *A segurança contra incêndio no Brasil* (pp. 35-39). São Paulo: Projeto Editora. Recuperado de http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/icb/wp-content/uploads/2017/02/aseguranca_contra_incendio_no_brasil.pdf
- Meli, R., Beltrán, D. y Santa Cruz, S. (2005). *El impacto de los desastres naturales en el desarrollo: documento metodológico básico para estudios nacionales de caso*. Naciones Unidas-Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Moncada, J., (s.f.). *Aclaraciones sobre control de humo*. Recuperado de <http://www.nfpajla.org/columnas/punto-de-vista/425-aclaraciones-sobre-control-de-humo>
- National Fire Protection Association (1996). *Sumario de investigación de incendio Düsseldorf: incendio del terminal del aeropuerto Düsseldorf, Alemania 11 de abril de 1996*. Estados Unidos: NFPA. Recuperado de: <https://www.nfpajla.org/images/dusseldorf.spanish.pdf>
- Togawa, K. (1955), Study on Fire Escapes basing on the Observations of Multitude Current. (Vol. 14, pp. 1-40). Japón.
- UNE 23727:1990 Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción. Clasificación de los materiales utilizados en la construcción.

- UNE-EN 13501-1:2007+A1:2010 Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego.
- UNE-EN 13501-1:2007+A1:2010. Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación.
- Uruguay. (1987, setiembre 24). Ley n.º 15.896 Prevención y defensa contra siniestros. *Diario Oficial*.
- Uruguay. (2000, noviembre 28). Decreto n.º 333/000: Reglamentación de la Ley 15.896 Prevención y defensa contra siniestros, *Diario Oficial*.
- Uruguay. (2010, agosto 9). Decreto n.º 222/010: Reglamentación de la Ley 15.896 Prevención y defensa contra siniestros, *Diario Oficial*.
- Uruguay. (2013, setiembre 10). Decreto n.º 260/013: Reglamentación de la Ley 15.896 Prevención y defensa contra siniestros, *Diario Oficial*.
- Uruguay. (2016, junio 13). Decreto n.º 150/016: Reglamentación de la Ley 15.896 Prevención y defensa contra siniestros, *Diario Oficial*.
- Uruguay. (2018). Decreto n.º 184/018: Reglamentación de la Ley 15.896 Prevención y defensa contra siniestros, *Diario Oficial*.
- Vigara, Fernando, 2013. Situación del diseño de PCI basado en prestaciones en Iberoamérica: *Seguritecnia*, ISSN 0210-8747, n.º 400, pp. 50-53.
- Withey, S. B. (1962). Reaction to uncertain threat. En G. W. Baker y D. W. Chapman (Eds.), *Man and Society in Disaster* (pp. 93-123), New York: Basic Books.

Esta publicación cuenta con el apoyo de la Comisión Sectorial de Enseñanza de la Universidad de la República. Forma parte de la serie *Manuales de Aprendizaje* que tiene como objetivo mejorar las condiciones de aprendizaje de los estudiantes y, al mismo tiempo, propiciar la autoformación docente mediante la reflexión sobre sus prácticas y sobre el estado del arte en su disciplina. Secundariamente, esta publicación pretende colaborar en la constitución de tradiciones disciplinares y culturas educativas nacionales.

ISBN: 978-9974-0-1842-6

