

COL·LECCIÓ SEGMENTS DE SEGURETAT / 1

LA INVESTIGACIÓ D'INCENDIS I EXPLOSIONS

Institut de
Seguretat Pública
de Catalunya



LA INVESTIGACIÓ D'INCENDIS I EXPLOSIONS

Institut de
Seguretat Pública
de Catalunya



LA INVESTIGACIÓ D'INCENDIS I EXPLOSIONS

Institut de
Seguretat Pública
de Catalunya



Aquest llibre ha estat elaborat pel Grup de recerca sobre investigació d'incendis i explosions:

Jordi Sans (coord.)
Josep Boixadé
Ricard Bosch
Miquel Casafont
Pau Gavarró
Joan Gràcia
Florenci Hernández
Frederic Marimon
Rafael Nadal
Joan Pedreny
Eulàlia Planas
Miquel Rejat
Esperança Romero
Xavier Cervera (redactor tècnic)
Glòria Morera (secretària tècnica)

Hi han col·laborat Joan Carol i Montse Royes.

BIBLIOTECA DE CATALUNYA - DADES CIP

Grup de Recerca sobre Investigació d'Incendis i Explosions

La Investigació d'incendis i explosions. – (Col·lecció Segments de seguretat ; 1)
Bibliografia
ISBN 9788439384908
I. Sans, Jordi (Sans i Pinyol), dir. II. Institut de Seguretat Pública de Catalunya
III. Títol IV. Col·lecció: Segments de seguretat ; 1
1. Incendis 2. Explosions 3. Incendis – Investigació
614.841:541.126

Segments de Seguretat, 1

Director de la col·lecció: Carlos González Zorrilla

Coordinadora tècnica: Montserrat Cañameras

Coordinador d'aquesta obra: Jordi Sans Pinyol

Col·laboradors: J. Boixadé, R. Bosch, M. Casafont, P. Gavarró, J. Gràcia, F. Hernández, F. Marimon, R. Nadal, J. Pedreny, E. Planas, M. Rejat, E. Romero, X. Cervera, G. Morera, J. Carol i M. Royes.

Fotografies, taules i gràfics cedits pels col·laboradors

Correcció de textos i edició: Conxita Gandia

No és permesa la reproducció de cap part d'aquesta publicació, ni el seu emmagatzemament ni la seva transmissió de cap manera ni per cap mitjà, tant si és elèctric com químic, mecànic, òptic, de gravació o bé de fotocòpia, sense la prèvia autorització dels titulars del copyright.

Edició:

© Institut de Seguretat Pública de Catalunya
Mollet del Vallès, octubre de 2010

Tiratge: 1.500 exemplars

ISBN: 978-84-393-8490-8

Dipòsit legal: B-36.853-2010

Disseny i serveis editorials: Índice, Barcelona

ÍNDEX

PRESENTACIÓ	11
INTRODUCCIÓ	13
CAPÍTOL 1	
NOCIONS BÀSIQUES D'INCENDIS I EXPLOSIONS	17
CONCEPTES FÍSICS I QUÍMICS	17
La combustió.....	17
Comburent i combustible.....	17
Energies de reacció.....	17
ANÀLISI DELS ELEMENTS D'UN INCENDI	18
Tetraedre del foc.....	18
TIPUS DE FOCS	24
Segons el tipus de combustible.....	24
Segons el tipus de combustió.....	24
TIPUS D'EXPLOSIONS	25
TRANSMISSIÓ DE CALOR	26
Conducció.....	26
Convecció.....	27
Radiació.....	27
PRODUCTES DE COMBUSTIÓ	28
Gasos de combustió.....	28
Flames.....	28
Calor	29
Fum	29
SENYALS D'UN INCENDI	29
Zona circumdant i exterior de l'edifici.....	29
Parets i sostres.....	30
Zones de més calor.....	30
Zones fredes	31
Temperatura ambient de les diferents zones.....	31
Dilatacions.....	32
Color i intensitat de les flames i els fums.....	33
Carbonització.....	34
Posició dels objectes.....	36

Presència d'accelerants.....	37
Geometria de marques de foc.....	38
Punt d'origen.....	39
SENYALS D'UNA EXPLOSIÓ.....	39
COMPORTEMENT DELS MATERIALS ESTRUCTURALS	
DAVANT D'INCENDIS I EXPLOSIONS.....	40
Comportament termomecànic de l'acer.....	41
Comportament termomecànic del formigó armat.....	45
Comportament termomecànic de l'obra de fàbrica.....	51
Comportament termomecànic de la fusta.....	53
Comportament termomecànic de l'alumini i el magnesi.....	54
Estructures sotmeses a sol·licitacions d'explosió.....	54
Investigació del comportament de les estructures sotmeses a sol·licitacions extremes.....	54
Protocols de seguretat a la investigació d'incendis i explosions en les estructures parcialment col·lapsades.....	55
REGLAMENTACIÓ TÈCNICA.....	56
CAPÍTOL 2	
L'ACTUACIÓ DELS DIVERSOS ÀMBITS PROFESSIONALS	
EN LA INVESTIGACIÓ.....	57
MOSSOS D'ESQUADRA.....	58
BOMBERS.....	60
Bombers de Barcelona.....	60
Bombers de la Generalitat de Catalunya.....	63
PÈRITS TAXADORS DESIGNATS PER LES COMPANYIES ASSEGUADORES.....	66
INVESTIGADORS TÈCNICS DE CAUSES I ALTRE PERSONAL TÈCNIC	
ESPECIALITZAT.....	68
TRIBUNAL DE JUSTÍCIA.....	69
Actuacions judicials.....	69
Consideracions legals i tipus de proves.....	71
MEDICINA FORENSE.....	72
CAPÍTOL 3	
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓ.....	75
INFORMACIÓ I CONSIDERACIONS PRÈVIES.....	76
Protecció del lloc de l'incendi i les proves físiques.....	76
INVESTIGACIÓ DEL LLOC DEL SINISTRE.....	77
Inspecció ocular: recollida de mostres i indicis.....	77
ANÀLISI DE DADES I MÈTODES DE RECOLLIDA	
DE PROVES FÍSQUES.....	78
Recollida de proves físiques.....	78
Documentació de la recollida de proves físiques.....	79
Recollida de proves per a la detecció d'accelerants.....	79
Recollida de mostres gasoses.....	80
Recollida de mostres d'equips i components elèctrics.....	80
Recollida d'electrodomèstics.....	82
Recollida de proves físiques en cas de morts.....	82

Recipients per a proves	82
Identificació de proves físiques	83
Transport de les proves i sol·licitud d'anàlisis i assaigs	84
Recepció i emmagatzematge de proves	84
Cadena de custòdia de les proves físiques	85
FORMULACIÓ I VERIFICACIÓ D'HIPÒTESIS	86
Plantejament i contrast de les hipòtesis	86
INFORMES D'INVESTIGACIÓ	87
CAPÍTOL 4	
ANÀLISI DE CASOS	89
HABITATGE/EDIFICI	89
Localització del sinistre	89
Descripció de la investigació	91
Desenvolupament del sinistre	91
Origen	92
Causes	92
Conclusions	92
INDÚSTRIA PETITA I MITJANA	93
Localització del sinistre	93
Descripció de la investigació	94
Desenvolupament del sinistre	97
Origen	97
Causes	97
Conclusions	97
LOCALS	98
Localització del sinistre	98
Descripció de la investigació	98
Desenvolupament del sinistre	98
Origen	100
Causes	101
Conclusions	102
APARCAMENTS	102
Localització	102
Descripció de la investigació	102
Desenvolupament del sinistre	104
Origen i causes	105
CASOS TÍPICS	105
Casos típics de tipus elèctric	105
Casos típics en habitatges	108
INCENDIARI, PIRÒMAN I ARSON	110
CAPÍTOL 5	
SIMULACIÓ I EXPERIMENTS ELÈCTRICS DE LABORATORI	113
SIMULACIÓ COMPUTACIONAL D'INCENDIS	113
Mètodes de simulació d'incendis en recintes tancats	114
Models de zona	114
Models de camp	116
Aplicació en el camp de la investigació d'incendis	119

EXPERIMENTACIÓ DE LABORATORI ELÈCTRIC	135
Freqüència industrial 50Hz	136
Corrent continu.....	145
Impulsos elèctrics.....	146
CONCLUSIONS	149
BIBLIOGRAFIA	153
DISPOSICIONS LEGALS I NORMES TÈCNIQUES	157
ANNEX DE TERMINOLOGIA	161

PRESENTACIÓ

Una de les finalitats de l'Institut de Seguretat Pública de Catalunya és la promoció de la recerca en l'àmbit de la seguretat, entesa de manera transversal i integral, no només per les diverses casuístiques que hi estan relacionades sinó també per la multitud d'agents professionals que hi intervenen.

Entre les moltes formes i activitats que es realitzen a l'Institut per aconseguir aquesta missió, destaca l'impuls i l'organització dels grups de recerca, que tenen com a objectiu promoure l'intercanvi de coneixement entre persones expertes de diferents disciplines, ja sigui de l'àmbit acadèmic o professional, sobre qüestions rellevants de la seguretat. La seva funció principal, però, és que a partir de la posada en comú i la reflexió sobre aspectes concrets o remarcables de la seguretat, s'innovi el coneixement i es realimenti.

Tot i que els grups de recerca, en pro del bon funcionament, són tancats i de participació restringida, no tindria sentit segrestar el pòsit de coneixement que s'hi genera, ja que si fos així, entre d'altres incongruències, vulnerariem una característica intrínseca i fonamental de la recerca: la seva difusió.

Una difusió que no limitem només a l'espai formatiu sinó que també adreçem als col·lectius que integren el sistema de seguretat, ja sigui per interès professional o per interès acadèmic, així com al públic en general interessat en la seguretat.

Amb aquesta voluntat iniciem la col·lecció «Segments de Seguretat», la qual serà a partir d'ara un altre canal per divulgar i fer extensius els resultats dels treballs i les reflexions sorgides de les activitats de recerca de l'Institut.

Aquest primer número de la col·lecció neix de la tasca realitzada, al llarg d'un any, pel Grup de recerca sobre investigació d'incendis i explosions, del qual rep el títol aquest llibre. En aquest grup han participat representants de diversos sectors professionals, públics i privats, com són els bombers, el cos de Mossos d'Esquadra, les companyies d'assegurances, les empreses privades, l'àmbit judicial i universitari, per abordar i analitzar les seves respectives intervencions en aquest tipus de sinistres. El tractament d'aquest estudi —tenint en compte els diversos operadors que hi intervenen— ha estat multidisciplinari i, encara que cadascun d'ells té una funció i unes motivacions concretes en la resolució de les seves investigacions, el fet d'elaborar un document comú on es recullen les seves experiències és prou significatiu i constitueix una bona aportació a la matèria.

Per això, vull agrair des d'aquí la dedicació i el compromís de totes les persones que han participat en aquest Grup de recerca. Espero que l'acompliment del seu objectiu encoratgi a obrir, en un futur ben pròxim, nous grups amb nous projectes.

Finalment, desitjo que aquesta nova col·lecció tingui una acollida favorable i que aconseguixi convertir-se en un instrument útil i reconegut dels resultats de la recerca de l'Institut.

Carlos González Zorrilla
Director de l'Institut de Seguretat Pública de Catalunya

INTRODUCCIÓ

En el marc de les Jornades sobre investigació de sinistres que es van realitzar a l'Institut el juny de 2008, es va copsar la necessitat de crear un grup de recerca per facilitar l'intercanvi d'experiències professionals i per impulsar la coordinació en l'actuació dels diferents agents i sectors implicats en la investigació d'incendis i explosions.

Així, l'octubre de 2008 l'Àrea de Recerca, Coneixement i Relacions Exteriors de l'Institut va posar en marxa el Grup de recerca sobre investigació d'incendis i explosions (GRIE), de caràcter multidisciplinari i transversal, amb la participació de persones d'expertesa reconeguda, en representació dels diferents àmbits que poden intervenir en la investigació d'aquest tipus de sinistres: bombers, mossos d'esquadra, companyies d'assegurances, empreses privades, universitat, judicatura i medicina forense.

L'Àrea de Recerca va dur a terme la coordinació del Grup, que es va reunir amb una regularitat mensual —de l'octubre de 2008 fins al desembre de 2009—, per tal d'acomplir els objectius següents: d'una banda, posar en comú el coneixement i el bagatge dels diversos professionals per poder valorar l'estat de la qüestió en la investigació d'incendis i explosions; de l'altra, elaborar un document descriptiu i didàctic, a partir de l'anàlisi de casos concrets, amb el propòsit d'oferir unes pautes generals —des del pensament i amb total respecte a les competències i responsabilitats dels protagonistes de les actuacions on intervenen—, amb informació i una metodologia útil per a tots els sectors. Al llarg d'aquest temps també es va comptar amb la participació puntual d'altres professionals per a l'avaluació d'aspectes específics.

Cal remarcar que l'abast de l'estudi es limita als incendis i les explosions en edificis i indústries de qualsevol ús i en infraestructures. No s'han tractat, doncs, els incendis forestals, que són un àmbit molt més específic i determinat, ni tampoc els incendis que afecten matèries perilloses i d'altres en entorns singulars, que en qualsevol cas poden ser objecte d'estudis posteriors més especialitzats.

La investigació d'incendis i explosions és, clarament, una matèria transversal ja que, com s'ha dit, en els casos complexos hi intervenen policies, bombers, companyies d'assegurances, gabinets tècnics i universitats, jutges i forenses.¹

Els objectius de cada agent són lògicament sectorials, és a dir orientats a respondre a les qüestions habituals del seu camp d'actuació.

La policia intervé quan es sospiten actes il·lícits o quan és requerida per l'autoritat judicial per fer-ho; la intervenció, doncs, no és exhaustiva i es limita a un percentatge relativament petit dels casos, i sempre l'objectiu és recollir proves per atribuir, en judicis, responsabilitats civils o, en el seu cas, penals.

1. Per tal d'alleugerir el text, al llarg del llibre apareixen paraules referents a persones i professions amb forma de masculí plural, que s'han d'entendre en sentit genèric i amb valor masculí i femení [n. de l'ed.].

Els bombers fan diversos tipus d'intervencions posteriors als incendis. Generalment, a demanda de l'autoritat judicial, s'informa dels mitjans humans i materials utilitzats en l'extinció i els temps associats als serveis. També, a vegades, intervenen com a pèrits experts en la matèria, sigui a demanda del jutjat o com a suport de la policia.

Alguns cossos de bombers analitzen o investiguen els incendis i/o les explosions en clau interna a fi de millorar les futures intervencions en incidents similars. També poden avaluar el comportament de les mesures que existeixen de protecció activa i passiva, fet que pot comportar propostes de modificació de les disposicions legals vigents: allò que en el sector s'anomena *prevenció*, encara que de fet és *protecció*.

Les companyies d'assegurances i reassegurances, així com els pèrits d'assegurança, tenen, òbviament, importants interessos econòmics involucrats en el sinistre. Han de taxar els danys reals i també avaluar les causes dels incendis per tal de delimitar les possibles responsabilitats, així com la possible intencionalitat de l'incendi o l'explosió, tant per defensar els seus interessos, com per posar-ho en coneixement de l'autoritat competent, si s'escau.

Aquesta tasca demana sovint fer proves i assaigs en laboratoris externs, com els de les universitats, i la col·laboració de gabinets independents d'experts.

En actuacions davant dels tribunals de justícia, cal la intervenció d'un pèrit judicial per determinar la causa del sinistre; quan es presenten danys a les persones, la ciència forense actua en qüestions singulars, i la medicina legal, si hi ha hagut persones mortes o ferides.

Veiem, doncs, l'aparició en el mateix escenari de diferents actants amb objectius immediats força diferents, però òbviament relacionats. Per això, crec que el fet d'haver compartit vivències i perspectives professionals diferents ja constitueix per si sol una fita per al Grup de recerca. El coneixement mutu és un primer pas per establir sinergies positives entre els organismes i agents que intervenen en la investigació d'incendis i explosions.

Aquest llibre que ara presentem recull les aportacions de tots els membres del Grup al llarg d'aquest any de treball conjunt.

En el primer capítol s'han incorporat les nocions bàsiques sobre el tema: des del concepte fisicoquímic del foc i les explosions, els tipus de foc i d'explosions, els senyals d'un incendi o d'una explosió, fins al comportament dels materials estructurals davant d'un incendi o una explosió.

El segon capítol se centra en l'actuació de cadascun dels col·lectius que poden participar en una investigació d'aquesta mena i s'explica quin és, actualment, el seu paper.

La metodologia en el procés d'investigació s'exposa d'una manera general en el tercer capítol: el recull previ d'informació; la investigació en el lloc del sinistre, amb un èmfasi especial en la recollida de proves físiques —punt clau d'una investigació—; l'anàlisi de dades, i la formulació i verificació d'hipòtesis.

També hi ha un capítol dedicat a l'anàlisi de casos, on s'expliquen quatre sinistres reals d'incendi i la seva respectiva investigació. Els casos exemplifiquen quatre tipologies d'incendis: una oficina, una indústria petita, un local (bugaderia d'un hotel) i un aparcament soterrani. Al mateix temps, cadascun dels casos porta la particular empremta del cos que ha realitzat la investigació: Mossos d'Esquadra, Bombers de Barcelona, Bombers de la Generalitat i pèrits d'investigació tècnica. En aquest capítol també es tracten alguns dels casos més comuns d'incendi i els de caràcter intencionat —que en terminologia anglosaxona es coneix com a *arson*.

En la investigació d'un incendi o una explosió moltes vegades s'ha de recórrer als assaigs de laboratori o a les simulacions, tema que s'exposa en el capítol sisè, especialment els experiments de tipus elèctric i les simulacions computacionals d'incendis.

Finalment, es plantegen algunes recomanacions, s'identifiquen noves línies de recerca i innovació que caldria desenvolupar en un futur immediat, i també les possibles millores per a implementar allò que es podria anomenar Sistema d'investigació d'incendis i explosions de Catalunya.

En aquest sentit, vull fer esment que el GRIE té una clara vocació de continuïtat, amb nous objectius de treball, per avançar i aprofundir en el coneixement tècnic de la investigació de sinistres en diferents camps, com el Grup de recerca que ja s'ha iniciat sobre la seguretat en incendis de vehicles.

Jordi Sans Pinyol
Coordinador del Grup de recerca sobre
la investigació d'incendis i explosius

CAPÍTOL 1

NOCIONS BÀSIQUES D'INCENDIS I EXPLOSIONS

En aquest capítol s'han inclòs els conceptes clau de la matèria per facilitar-ne la consulta sense haver de deixar la lectura d'aquest mateix llibre.

Els temes s'han tractat de forma molt resumida, ja que a la bibliografia hi ha un gran nombre de referències (llibres, documents, manuals, etc.) que expliquen de manera més àmplia i detallada els aspectes fonamentals que cal conèixer abans d'abordar la disciplina de la investigació d'incendis i explosions.

CONCEPTES FÍSICS I QUÍMICS²

LA COMBUSTIÓ

Una combustió és una reacció d'oxidació que va acompanyada d'un desprendiment d'energia. En les reaccions químiques d'oxidació-reducció hi ha un bescanvi d'electrons entre un oxidant, que els guanya, i un reductor, que els perd. Perquè tingui lloc una reacció d'oxidació-reducció cal que hi hagi, doncs, un agent oxidant i un agent reductor.

Encara que l'agent oxidant més comú és l'oxigen de l'aire, hi ha altres substàncies que poden actuar com a oxidants ja que emeten oxigen amb facilitat com, per exemple, el nitrat sòdic (NaNO_3) o el clorat potàssic (KClO_3).

L'agent reductor serà qualsevol matèria que no es trobi al seu espai de màxima oxidació.

COMBURENT I COMBUSTIBLE

En una reacció de combustió l'agent oxidant s'anomena comburent i l'agent reductor s'anomena combustible. Les reaccions que tenen lloc entre tots dos s'anomenen combustions.

ENERGIES DE REACCIÓ

Perquè es produeixi una reacció de combustió cal que els reactius (comburent i combustible) es trobin en unes condicions favorables per reaccionar.

² Els textos d'aquest apartat, i fins als de l'apartat de Productes de combustió (inclòs), han estat extrets dels apunts de l'Escola de Bombers de la Generalitat de Catalunya (actualment Institut de Seguretat Pública de Catalunya).

L'energia necessària per a l'inici de la reacció s'anomena energia d'activació i és subministrada per les fonts d'ignició.

La calor de reacció és l'energia que es guanya o perd quan hi ha una reacció. En una reacció endotèrmica, els productes que es formen contenen més energia que els reactius. A fi que la reacció continuï, cal una aportació constant d'energia.

En una reacció exotèrmica, els productes que es formen contenen menys energia que els reactius. Aquesta energia pot desprendre's de diferents formes, però acostuma a ser en forma de calor. Quan la quantitat d'energia que es desprèn en una reacció és molt elevada, hi ha emissió de radiació lluminosa o flames.

Una part de l'energia alliberada a l'ambient en una reacció exotèrmica provoca els efectes tèrmics derivats de l'incendi; la resta aporta l'energia d'activació necessària perquè el procés continuï.

ANÀLISI DELS ELEMENTS D'UN INCENDI

TETRAEDRE DEL FOC

Encara que els focs són molt complexos, es poden representar mitjançant un triangle on cada costat representa un dels tres factors essencials per produir un foc: combustible, oxidant i energia.

Aquesta representació, acceptada des de fa temps, no considerava les reaccions en cadena. Actualment, aquest s'ha considerat com un quart factor i s'utilitza una nova representació en forma de tetraedre.

La raó per fer servir un tetraedre i no un quadrat és que cada un dels quatre elements és directament adjacent i connecta amb cada un dels altres tres. Si desapareix algun dels quatre elements, el tetraedre queda incomplet i el resultat és l'extinció.

COMBUSTIBLE

Es defineix combustible com qualsevol substància que pot cremar, és a dir, que es pot combinar amb un oxidant en una reacció ràpida i exotèrmica. Com a exemples es poden citar els compostos següents:

- carbó
- monòxid de carboni
- molts compostos que són rics en carboni i hidrogen
- elements no metàl·lics fàcilment oxidables com el sofre i el fòsfor
- materials que continguin cel·lulosa com fusta, tèxtils, etc.
- metalls com alumini, magnesi, titani i zirconi
- metalls alcalins com sodi, potassi, etc.

Perillositat d'un combustible pel que fa a la seva possible ignició

No totes les substàncies presenten la mateixa perillositat pel que fa al seu potencial d'iniciar un incendi. És ben conegut que alguns líquids inflamables, com la gasolina o l'acetona, poden generar fàcilment un incendi si no es manipulen amb molta cura, mentre que d'altres, com el gasoli, suposen un risc molt menor. Aquest fet depèn de diferents factors, els més importants dels quals són:

- la concentració del combustible en la seva mescla amb el comburent;
- la temperatura mínima en què el combustible emet prou quantitat de vapor per arribar a aquesta concentració. Energia d'activació que cal aportar a la mescla perquè s'iniciï el procés i s'acompleixi la reacció en cadena.

Podem analitzar aquests factors fent servir les constants físiques de cada combustible. Les més importants són:

Límits d'inflamabilitat (o explosibilitat)

La mescla d'un gas o d'un vapor inflamable amb un oxidant (també en fase vapor) només pot reaccionar si es troba dins d'un interval determinat de concentracions. Els límits d'aquest interval s'anomenen límits d'inflamabilitat i es coneixen com a límit superior d'inflamabilitat (LSI) i límit inferior d'inflamabilitat (LII) respectivament. Per sota del LII, la mescla és massa pobra en combustible per cremar, i per sobre del LSI és massa pobra en oxidant.

A la bibliografia americana, se solen anomenar límits d'explosibilitat. Ambdues denominacions són sinònimes ja que el fet que la mescla s'inflami o exploti depèn d'altres circumstàncies, però no de la concentració.

Temperatura d'inflamació

És la temperatura mínima necessària per tal que una substància combustible emeti la quantitat de vapor suficient per formar una barreja amb aire que estigui dins els límits d'inflamabilitat, de manera que la presència d'una font d'ignició permeti l'inici de la combustió. A la temperatura d'inflamació, la mescla cremarà només breument ja que no es genera vapor suficient per mantenir la flama, excepte en el cas que es mantingui la presència de la font d'ignició. Aquest terme acostuma a aparèixer a la bibliografia anglesa amb el nom de *flash-point*.

Punt d'ignició

Existeix una altra temperatura particular, és aquella en què un combustible emet vapors amb velocitat suficient per afavorir la combustió continuada. Aquesta temperatura s'anomena punt d'ignició i acostuma a estar uns graus per sobre del punt d'inflamació.

Temperatura d'autoignició

És la temperatura mínima necessària per tal que una substància pugui iniciar la combustió en presència d'aire, sense l'aportació d'una font d'ignició.³

Perillositat d'un combustible pel que fa a l'energia i als productes emesos en la combustió

Els factors més importants que contribueixen a la perillositat d'un combustible en flames són:

Piròlisi

Descomposició química dels compostos orgànics per acció exclusivament de la calor.

Poder calorífic

És la quantitat de calor que emet una substància quan s'oxida completament per donar diòxid de carboni i aigua.

Toxicitat dels productes de combustió

En un incendi, a causa dels processos de piròlisi que sovint s'hi produeixen, així com a la mateixa combustió, es poden generar substàncies tòxiques. Algunes de les més ha-

³. A la norma americana NFPA 325 (NFPA, 1994) es pot trobar una extensa taula on figuren les temperatures d'ignició, d'autoignició, límits d'inflamabilitat en aire (entre d'altres) d'uns 450 gasos i vapors utilitzats en la indústria.

bituals són el monòxid i el diòxid de carboni, el cianur d'hidrogen, l'amoniac, el clorur d'hidrogen, el diòxid de sofre o l'acroleïna. Aquest fet pot dificultar l'extinció de l'incendi.

Velocitat de combustió

És una mesura de la quantitat de combustible consumida per unitat de temps i per unitat de superfície. Aquesta velocitat serà més gran com menor sigui l'estat d'agregació del combustible, és a dir un sòlid tindrà sempre una velocitat de combustió menor que un líquid i aquest menor que un gas.

Velocitat de propagació de la flama

En un combustible és la mesura de la velocitat amb la qual les flames es propaguen a través de la seva superfície i indica la capacitat d'extensió i propagació d'un foc; generalment s'aplica als sòlids utilitzats per a fer revestiments.

Densitat

És la massa dividida per unitat de volum d'una substància, en el sistema internacional es mesura en kg/m^3 .

Densitat relativa

La densitat relativa expressa la relació entre la densitat d'una substància i la densitat de referència. Per a substàncies gasoses s'utilitza la densitat de referència de l'aire sec i per a substàncies sòlides o líquides s'utilitza la massa específica de l'aigua.

Quan la densitat relativa d'un gas o vapor és inferior a la unitat voldrà dir que el gas o vapor és més lleuger que l'aire; si la densitat relativa és superior a la unitat, el gas o vapor pesa més que l'aire.

Aquesta característica és important, ja que a partir del coneixement previ de les densitats dels gasos emesos podrem dissenyar la detecció i la ventilació: en funció de la densitat de vapor, els gasos inflamables es desplacen cap a terra i nivells inferiors com el gas natural, o cap al sostre i nivells superiors com el butà.

Quan augmenta la temperatura d'un gas, la densitat disminueix i, per aquesta raó, els productes reescalfats de la combustió pugen a les capes altes de la zona on es troben.

Calor específica

La calor específica es defineix com la quantitat de calor necessària per incrementar un grau la temperatura d'un gram de qualsevol material.

Conductibilitat tèrmica

Un material pot ser més o menys conductor de la calor, és a dir, que aquesta es transmeti més o menys ràpidament per un cos, en una espessor i superfície determinades.

La conductibilitat tèrmica d'un material és la capacitat que aquest material presenta per transmetre la calor.

Si un material és bon conductor de la calor, transmet calor amb risc de produir un incendi. Si un material és mal conductor tèrmic, acumularà la calor i, si és combustible, s'inflamarà.

Dilatació tèrmica

Quan augmenta la temperatura d'un cos, en qualsevol estat en què es trobi, tendeix a dilatar-se. La dilatació és l'augment de volum que es produeix en un cos per efecte de la calor; disminueix la densitat i se separen les molècules que el formen.

Si augmenta la temperatura en un recipient que conté un gas i aquest es troba confinat en un espai de volum definit, no pot dilatar-se o augmentar de volum.

La pressió que exerceix damunt les parets augmenta i, si la força d'aquesta pressió és massa elevada, pot provocar una explosió del recipient. Els sòlids i líquids també tendeixen a dilatar-se i a augmentar de volum quan augmenta llur tempera-

tura. Aquesta dilatació serà més o menys important depenent de la temperatura i la natura del cos.

Per calcular la magnitud de l'augment de volum motivat per l'increment de temperatura, definim els coeficients de dilatació següents:

- el coeficient de dilatació lineal és l'allargament que experimenta un cos per unitat de longitud en augmentar la temperatura 1 °C;
- el coeficient de dilatació superficial és l'augment de superfície que experimenta un cos per unitat de superfície en augmentar la temperatura 1 °C;
- el coeficient de dilatació cúbica és l'augment de volum que experimenta un cos per unitat de volum en augmentar la temperatura 1 °C.

Quan s'obté el valor del coeficient de dilatació lineal, es poden determinar els coeficients de dilatació superficial i cúbica, de magnituds dues i tres vegades superiors al lineal.

El coeficient de dilatació de tots els líquids augmenta amb la temperatura, excepte l'aigua. La màxima densitat d'aquest líquid correspon a la temperatura de 4 °C i a partir d'aquí es dilata, tant si augmenta com si disminueix la temperatura.

Aquest fenomen és molt important i s'ha de tenir en compte en fer servir materials per a la construcció i el disseny d'estructures. Per exemple, quan es construeix una gran superfície de formigó que podria veure's afectada per la temperatura, cal proveir-la de juntes de dilatació (per exemple, els ponts).

En el transcurs d'un incendi es produeixen forts augments de temperatura, per això el fenomen de la dilatació hi té un paper important.

Per exemple, en l'estructura d'edificis sinistrats s'observa que les armadures metàl·liques, d'una espessor normalment elevada, estan torçades. En edificis de formigó armat es troben greument malmesos perquè les armadures d'acer, insuficientment protegides, s'han dilatat.

Això no obstant, l'acer que es troba en aquesta forma és incombustible i les temperatures a què s'arriba en el transcurs dels incendis són insuficients per fondre'l. Però a causa del seu elevat coeficient de dilatació, cal protegir aquest acer mitjançant recobriments que l'aïllin tèrmicament i, per tant, que impedeixin que la calor el dilati i es modifiqui l'estructura.

Resistència mecànica dels sòlids

La resistència mecànica d'un sòlid a la pressió, flexió, torsió... varia amb la temperatura.

S'ha comprovat que l'acer perd ràpidament les seves propietats mecàniques de resistència quan la temperatura sobrepasa els 500 °C.

El formigó pretesat és fràgil quan hi ha una gran elevació de la temperatura, ja que la capa de formigó que recobreix les estructures metàl·liques no té prou gruix per fer d'aïllant tèrmic, les parts metàl·liques que constitueixen l'armadura, sotmeses normalment a tensions superiors que el formigó armat, pateixen deformacions i trencament a causa de la calor.

Comportament dels materials davant del foc

El comportament dels materials davant del foc es pot estudiar des de dos punts de vista diferents: en relació amb la forma activa o de reacció al foc, o en relació amb la forma passiva o de resistència al foc.⁴

Reacció al foc

La reacció al foc és la inflamabilitat que un material pot aportar a l'inici, propagació i desenvolupament d'un incendi.⁵ Mitjançant aquest concepte pot estudiar-se la contribució de diferents materials a un foc, i el risc i perillositat que representen. Amb

4. Segons el RD 312/2005, de 18 de març, pel qual s'aprova la classificació dels productes de la construcció i dels elements constructius en funció de les seves propietats de reacció i de resistència al foc (BOE núm. 79 de 02/05/2005) i el RD 110/2008, d'1 de febrer, el qual el modifica (BOE núm. 37 de 12/02/2008).

5. Resposta d'un material al foc mesurada en termes de la seva contribució a desenvolupar aquest mateix foc amb la seva pròpia combustió, sota condicions específiques d'assaig, segons la definició que dona el Codi Tècnic de l'Edificació.

TAULA 1.1. Classificació dels materials segons la seva reacció al foc

Euroclasses			Classes complementàries	
A ₁ A ₂	NO COMBUSTIBLES	Sense contribució al foc	Opacitat dels fums segons velocitat i quantitat d'emissió: s1 baixa s2 mitjana s3 alta No avalua el caràcter tòxic, només l'opacitat.	Gotes o partícules inflamades segons la producció de gotes: d0 no en produeix d1 producció limitada d2 no classificada
B	COMBUSTIBLE	Contribució molt limitada al foc		
C		Contribució limitada foc		
D	COMBUSTIBLES	Contribució mitjana al foc		
E		Contribució alta al foc		
F	SENSE CLASSIFICAR	Sense comportament determinat		

aquesta finalitat, s'ha classificat els materials d'acord amb la norma UNE-EN 13501 en set classes que es completen amb una classificació complementària segons l'opacitat dels fums i/o la caiguda de gotes o partícules inflamades.

Exemple de classificació: B-s₂d₁ es correspon amb un producte de construcció amb una contribució molt limitada al foc, producció mitjana de fums i producció limitada de gotes.

Hi ha classificacions específiques per a productes específics:

- per a terres, sufix FL: B_{FL}
- per a cobertes, sufix ROOF: B_{ROOF}
- d'aïllament tèrmic en elements lineals, sufix L: B_L-s₂d₁.

Resistència al foc

La resistència al foc és la capacitat d'un element de construcció per a conservar durant un temps determinat la funció portant que li sigui exigible, així com la integritat i/o aïllament tèrmic en els termes especificats en l'assaig normalitzat corresponent.⁶

TAULA 1.2. Característiques bàsiques de la resistència al foc dels materials

R	Capacitat portant. Capacitat de suportar càrregues sota l'exposició al foc, sense perdre l'estabilitat estructural.
E	Integritat. Capacitat de suportar l'exposició al foc en una cara, sense que hi hagi pas de flames o gasos calents que puguin propagar l'incendi a la cara no exposada.
I	Aïllament tèrmic. Capacitat de suportar l'exposició al foc en una cara, sense que hi hagi propagació per transferència de calor a la cara no exposada.

La classificació està determinada pel temps, en minuts, que un element constructiu manté una o diverses de les esmentades característiques, sota l'acció de la corba d'incendis normalitzada (ISO 834). Així un element es pot classificar com a: R-30, EI-30, REI-30... Tots els casos ens assenyalen que manté les característiques indicades durant trenta minuts, en l'assaig normalitzat.

Hi ha una classificació complementària més complexa, que avalua aspectes com: emissió de calor, resistència a l'impacte, estanquitat al pas dels fums... així com una sèrie de sufixos específics de funció de la col·locació de l'element i del sentit en el qual conté aquesta característica, volum de fugues, activació automàtica o manual, etc.

COMBURENT

Un comburent és qualsevol agent oxidant capaç d'oxidar un combustible mitjançant una reacció ràpida i exotèrmica. No obstant això, ja que l'oxigen és l'agent oxidant més comú, el terme comburent s'aplica a mesclures gasoses en què l'oxigen es troba

⁶ Segons la definició que dona el Codi Tècnic de l'Edificació.

en una proporció suficient perquè s'hi iniciï i desenvolupi la combustió. Per aquesta raó, l'aire amb un contingut aproximat d'un 21% en volum d'oxigen, és el comburent més comú a tots els focs i incendis.

Com més ric en oxigen és el comburent en qüestió, més fàcil serà iniciar la combustió. Si es comparen les característiques d'inflamabilitat dels gasos i vapors més comuns (acetona, butà, gasolina, propà...) en una mescla d'aire o d'oxigen es pot comprovar que la temperatura d'inflamació i l'energia mínima d'inflamació disminueixen i el rang dels límits d'inflamabilitat augmenta (Petit i Poyard, 2004, p. 29).

Algunes substàncies químiques desprenen oxigen en determinades condicions (NaNO₃, nitrat sòdic; KClO₃, clorat de potassa). Es tracta, doncs, d'agents oxidants i la seva presència pot provocar la combustió en absència d'aire; d'altres productes, com ara la nitrocel·lulosa, cremen sense que calgui la presència d'aire, ja que contenen oxigen a la mateixa estructura molecular.

Per tal que es porti a terme la combustió, en processos normals, cal que hi hagi una mínima proporció d'oxigen a l'ambient. Aquesta proporció mínima es determina a través de l'assaig de l'índex crític d'oxigen.

A continuació s'indiquen alguns exemples d'agents oxidants:

- oxigen i ozó (aire)
- peròxid d'hidrogen
- halògens (fluor, clor, iode i brom)
- àcids nítric i sulfúric concentrats
- òxids de metalls pesants, particularment d'aquells que tenen valència alta, com el diòxid de manganès, diòxid de plom...
- nitrats, clorats, perborats i peròxids
- cromats, dicromats, permanganats, hipoclorits i hipobromits

ENERGIA D'ACTIVACIÓ

Com ja s'ha indicat, energia d'activació és la mínima energia que necessiten els reactius perquè s'iniciï una reacció.

Aquesta energia és aportada en la combustió per les fonts d'ignició. Aquestes poden produir la ignició si aporten prou energia per fer que la temperatura del combustible o una zona d'aquest augmenti per sobre de la seva temperatura d'autoignició.

Les diferents formes d'aportació d'energia es poden agrupar en:

- Fonts d'alta temperatura, extensió i llarga durada: *flames*. Aquests focus són els més perillosos ja que provoquen, pràcticament sempre, l'inici i el desenvolupament de l'incendi.
- Fonts d'alta temperatura, petita extensió i curta durada: *espurnes*. Poden superar la temperatura d'autoignició i fer que la combustió arribi a propagar-se (és el cas dels gasos, vapors i pols en suspensió aèria) o no (el cas de la fusta).
- Fonts de baixa temperatura, amb independència de l'extensió i la durada: *superfícies calentes*. Quan la temperatura de la superfície és inferior a la temperatura d'autoignició del combustible no es produeix inflamació.

TAULA 1.3. Principals focus d'ignició accidentals

Fonts naturals	Fonts elèctriques	Flama oberta	Fonts mecàniques	Treballs de soldadura i tall	Fonts químiques
Llamps Sol	Espurnes i arcs Curtcircuits Càrregues estàtiques Sobrecàrregues Reescalfaments	Encenedors Llumins Espelmes Forns Cremadors	Espurnes d'eines mecàniques Fregaments Impactes	Flames Conducció de calor Espurnes Elèctrodes	Reaccions exotèrmiques Fermentacions i descomposicions naturals Dilucions

REACCIÓ EN CADENA

La combustió és un fenomen complex durant el qual apareixen moltes reaccions químiques en cadena. Fins als anys cinquanta, el triangle de foc explicava perfectament el fenomen de la combustió. Arran de fer servir els agents extintors per a l'aeronàutica (tetraclorur de carboni), es va observar que aquests extingien el foc sense incidir en cap dels costats del triangle i es va passar a utilitzar el que s'anomena el tetraedre del foc.

La inhibició química es produeix quan determinats compostos intermedis tenen molta afinitat per combinar-se amb l'agent extintor i formen un producte estable que no continua la reacció, no es desprèn calor i la combustió no progressa.

TIPUS DE FOC

Els focs es poden classificar de dues maneres:

- segons el tipus de combustible
- segons el tipus de radiació lluminosa produïda (flama o incandescència)

SEGONS EL TIPUS DE COMBUSTIBLE

D'acord amb la normativa europea, segons el tipus de combustible afectat, els focs es classifiquen en:

- focs de tipus A: sòlids
- focs de tipus B: líquids
- focs de tipus C: gasos
- focs de tipus D: especials (metalls)
- focs de tipus F: olis i greixos d'aparells de cuina

SEGONS EL TIPUS DE COMBUSTIÓ

El procés de combustió pot tenir lloc de dues maneres:

- amb flama (s'hi inclouen les explosions)
- sense flama (s'hi inclouen les incandescències i les brases d'incandescència profunda).

La combustió amb flama s'associa amb velocitats de combustió relativament altes, expressades en termes d'alliberament d'energia tèrmica.

Aproximadament, les dues terceres parts de la calor alliberada passen a l'ambient del voltant en forma de flux calorífic de convecció, i una tercera part ho fa en forma de flux calorífic de radiació.

Els líquids i els gasos inflamables sempre cremen amb flama. La velocitat de combustió dels gasos és molt ràpida i, per tant, en molts casos donen lloc a una explosió. La major part dels plàstics sòlids poden considerar-se líquids inflamables solidificats i, com a tals, es fonen abans de la combustió quan hi ha prou realimentació tèrmica.

La característica comuna de tots aquests combustibles és que es vaporitzen i s'ajunten amb l'oxigen abans de la combustió.

La combustió sense flama es dona en algunes substàncies en què la combustió comença amb flama i passa de forma gradual a la fase sense flama. Al final s'extingeix la flama i continua la combustió residual sense flama.

Alguns exemples de combustió sense flama són la del carboni pur i la d'alguns metalls fàcilment oxidables com per exemple: magnesi, alumini, zirconi, urani, sodi, potassi, etc.

Aquests darrers cremen a temperatures característicament altes, que oscil·len entre 1500 i 2000 °C.

TIPUS D'EXPLOSIONS⁷

Tothom té una idea formada sobre què és una explosió, però caldria aclarir que bàsicament es classifiquen en tres tipus: l'explosió física, la deflagració i la detonació.

L'explosió física és la que provoca un recipient que es trenca perquè no pot suportar la pressió interna. Un exemple seria un pneumàtic de cotxe que rebenta a gran velocitat.

La deflagració és una combustió molt ràpida d'un gas, vapor o pols amb un front de flama de velocitat entre 1 i 5 m/s, sempre subsònica.

La detonació és la combustió molt ràpida (1000 m/s) d'una substància que provoca una ona de xoc esfèrica supersònica i sovint un cràter. Exemples serien explosius militars o d'ús de pedreres.

Dos factors són imprescindibles perquè hi hagi una deflagració o detonació:

- El primer és que hi hagi un combustible, ja sigui gas, vapor inflamable o pols, que ha d'estar barrejat amb l'aire en unes proporcions que oscil·lin entre el límit inferior i el límit superior d'inflamabilitat, que és un paràmetre intrínsec de la substància. En el cas del gas domèstic, com el butà o el propà, aquests límits són entre el 5% i el 15% en volum de gas en l'aire.
- El segon factor és l'energia d'activació, en forma de flama o espurna que tingui prou energia (MJ) per encendre la barreja.

Sovint es parla genèricament d'explosions. Com s'ha dit, en el cas de gasos, vapors o pols aquestes explosions s'anomenen deflagracions. No és cert que una explosió accidental sigui una detonació. Tampoc ho és, excepte casos molt poc freqüents, que una deflagració evolucioni fins a convertir-se en detonació.

Per què una deflagració pot esfondrar un edifici? En el cas que la deflagració estigui molt confinada i l'edifici estigui molt ben fet, i per tant aguantant molt la pressió, es pot assolir una pressió estàtica de l'ordre de 7×10^5 Pa. Aquesta pressió representa, sobre un forjat o una paret, l'equivalent al que exerciria una massa de setanta tones per cada m². Òbviament, no hi ha cap construcció que resisteixi aquesta pressió. Així que la pressió anirà augmentant fins que trenqui l'element més feble de la construcció. A partir d'aquí, trenquen els elements constructius necessaris per equilibrar la pressió interior i exterior. La pressió per trencar un vidre normal és aproximadament de l'ordre de 1×10^4 Pa. Per tant, no és cert el que es creu sovint que si l'edifici està ben construït i és més fort i de qualitat, els danys no són tan greus. Precisament és al revés. Com més lleuger, feble i més obert a l'exterior sigui una construcció menys danys ocasiona l'explosió.

La violència d'una explosió no només depèn de la pressió màxima a la qual pot arribar la mescla. La velocitat de creixement de la pressió, és a dir, el pendent de l'evolució de la pressió segons el temps és un factor molt important en el nivell de violència de l'explosió. Altres factors, com per exemple una mescla turbulenta, influeixen també en la violència d'una explosió (Petit i Poyard, 2004, p. 34).

⁷ Capítol extret de l'article *Mites i realitats sobre les explosions accidentals* (Sans, 2009).

Els sistemes per evitar l'explosió es basen òbviament en la prevenció, és a dir, evitar que n'hi hagi. Essencialment consisteix a complir els reglaments tècnics d'aplicació, fer un bon manteniment, no alterar les condicions inicials i utilitzar el combustible amb bones pràctiques, és a dir, tenir sentit comú.

Les mesures de protecció clàssiques són els supressors i l'anomenat *venting*. Els supressors són un tipus d'extintors que disparen molt ràpidament sobre el focus inicial de la deflagració. Aquesta tecnologia no és aplicable en l'àmbit domèstic sinó en l'industrial.

L'altre mètode, el *venting*, és una protecció passiva i consisteix a fer una construcció amb el nombre màxim de superfícies febles i lleugeres. L'edifici òptim per sofrir els mínims danys en cas d'explosió seria una cabana en forma de tenda de campanya amb tancaments lleugers i màximes obertures, com ara una haima de berber.

En alguns casos els morts i ferits són la conseqüència del col·lapse de l'edifici. En d'altres, l'edifici no arriba a col·lapsar però hi ha persones cremades, però no intoxicades pel fum (com passaria en cas d'incendi). Això passa si estan tancades les finestres (cosa lògica a l'hivern) i són de qualitat i per tant la deflagració necessiti pujar molt la pressió interna per trencar els tancaments de l'edifici (finestres, parets). Si la deflagració és lenta dura el temps suficient per cremar les persones que hi ha a dins. Si el combustible alimenta durant uns segons el foc ja parlaríem d'un incendi.

Les causes habituals de les explosions domèstiques són les negligències dels usuaris i/o la falta de manteniment, pel que fa a les instal·lacions interiors de gas.

Els incendis fan mal a les persones pel fum i de vegades pel foc. Les explosions fan mal per la pressió, que pot fer caure l'edifici o projectar a distància les persones.

Això ens porta a la conclusió, difícil de portar a la pràctica arquitectònica, que l'edifici més segur en cas de deflagració és el que té els tancaments més lleugers, que ens fan de vàlvula de seguretat.

TRANSMISSIÓ DE CALOR

La calor o energia tèrmica es transmet per tres mecanismes diferents: conducció, convecció i radiació.

CONDUCCIÓ

Si es col·loca un extrem d'una barra metàl·lica en una flama i es sosté per l'altre extrem amb la mà, s'observarà que aquest últim extrem es va escalfant encara que no està en contacte directe amb la flama. Diem que la calor arriba a l'extrem fred de la barra per conducció a través de la substància que la forma. Les molècules de l'extrem calent augmenten la violència amb què vibren, si augmenta la temperatura d'aquest extrem. Quan les molècules xoquen amb les veïnes, que es mouen més lentament, comparteixen amb elles part de l'energia cinètica i aquesta es transmet cap a l'extrem més allunyat de la flama. En definitiva, les molècules mantenen la seva posició inicial, però l'energia de l'agitació tèrmica es transmet d'una a l'altra a través de la barra.

És un fet conegut que els metalls són bons conductors de l'electricitat i també bons conductors de la calor. L'aptitud dels metalls per conduir el corrent elèctric s'explica pel fet que en el seu interior hi ha electrons lliures, és a dir, electrons separats dels àtoms de què procedeixen. Els electrons lliures també prenen part en la propagació de calor i són la causa que els metalls siguin tan bons conductors; en efecte, de la mateixa manera que les molècules, els electrons lliures participen en la transmissió d'energia tèrmica de les parts més calentes a les més fredes del metall.

La conducció de la calor únicament pot tenir lloc quan les diverses parts del cos es troben a temperatures diferents, i la direcció del flux de calor és sempre des dels punts de més temperatura als de menys. A vegades es fa servir una definició d'igualtat o desigualtat de temperatures basada en el fenomen del flux calorífic. Quan la calor passa d'un cos a un altre cos i ambdós estan en contacte, la temperatura del primer és, per definició, més alta que la del segon; si no passa calor de l'un a l'altre, les temperatures són iguals.

En la transmissió de calor per conducció és imprescindible la presència de matèria, ja que la calor es transmet, per conducció, mitjançant les vibracions de la matèria. Un alt grau de disgregació de la matèria comporta dificultat per a la transmissió de la calor per conducció. La conducció és millor en els sòlids que en els líquids, i en els líquids que en els gasos; en el buit absolut no hi ha conducció de calor.

CONVECCIÓ

S'anomena convecció la propagació de calor d'un lloc a un altre amb el moviment real de la substància calenta. Són exemples de convecció l'estufa d'aire calent i el sistema de calefacció d'aigua calenta. Si la substància és obligada a moure's a través del funcionament d'un ventilador o d'una bomba, el procés s'anomena convecció forçada.

La teoria matemàtica de la convecció de calor és molt complicada i, a diferència de la de la conducció, no s'expressa amb una equació senzilla. La raó d'aquesta complexitat és la varietat de factors que intervenen en la pèrdua o el guany de calor d'una superfície a una temperatura en contacte amb un fluid a una temperatura diferent.

RADIACIÓ

Quan posem la mà en contacte directe amb un radiador de calefacció d'aigua calenta o vapor, notarem la calor que arriba per conducció a través de les parets del radiador. Si mantenim la mà a sobre del radiador, però sense tocar-lo, la calor arriba a la nostra mà per convecció cap amunt pels corrents d'aire. Si col·loquem la mà lateralment al radiador, s'escalfarà tot i que no se situa en la trajectòria dels corrents convectorius. L'energia ara ens arriba per radiació.

La radiació és l'emissió continuada d'energia des de la superfície de qualsevol cos. Aquesta energia, anomenada radiant, es troba en forma d'ones electromagnètiques que es propaguen a la velocitat de la llum i es transmeten a través del buit o de l'aire.⁸ Les ones són absorbides pels cossos que no són transparents a elles, com la superfície de la mà o les parets de l'habitació, i l'energia és transformada en calor.

L'energia radiant emesa per una superfície per unitat de temps i per unitat d'àrea depèn de la natura de la superfície i de la seva temperatura. Si la temperatura és baixa la radiació per unitat de temps és petita i l'energia radiant és, principalment, de longitud d'ona alta. Quan augmenta la temperatura, la radiació per segon augmenta molt ràpidament.

La quantitat de calor que rep un cos per radiació és directament proporcional a la quarta potència de la temperatura del cos radiant i inversament proporcional al quadrat de la distància que els separa.

8. En l'aire una part de l'energia de l'ona és absorbida i, per tant, la propagació és menys efectiva que en buit.

PRODUCTES DE COMBUSTIÓ

Els productes de la combustió es divideixen en quatre categories: gasos de combustió, flames, calor i fums.

GASOS DE COMBUSTIÓ

Si la concentració d'aire és suficient i la combustió completa, el carboni present en la major part de materials combustibles dóna lloc, en cremar, al diòxid de carboni (CO₂). Però si la concentració d'aire és baixa, es produeix monòxid de carboni (CO). En general, excepte quan prèviament s'ha produït una mescla d'aire combustible, la concentració d'aire a la zona acostuma a ser baixa.

Aquests dos, juntament amb el vapor d'aigua, formen el conjunt de gasos més abundant en els incendis, però hi ha una sèrie de compostos que habitualment es troben als focs, com amoníac, anhídrid sulfurós, àcid cianhídric, òxids de nitrogen, fòsgè i àcid clorhídric. El tipus de gas que es forma depèn de molts factors com la composició química del combustible, la quantitat d'oxigen disponible i la temperatura a què arriba. S'ha demostrat que el nombre de morts provocades per inhalació de gasos o aire calent és molt més nombros que el total de morts causades per la suma de la resta d'agents. La toxicitat d'aquests gasos depèn de la composició, de la concentració, de la durada d'exposició i de l'estat físic de la persona.

Alguns d'aquests gasos, com l'àcid clorhídric, són corrosius i afecten no únicament les persones sinó també els materials.

FLAMES

Quan la combustió es produeix en una atmosfera amb concentració normal d'oxigen, acostuma a anar acompanyada d'una radiació lluminosa o flames.

La flama és una zona de gasos incandescents visibles al voltant de la superfície del material en combustió. La flama no és més que gasos calents i partícules incandescents, i, si el combustible que crema és sòlid o líquid, la presència de flames indica l'emissió de gasos o vapors a causa de la calor.

La combustió completa de materials orgànics genera flames quasi incolores i el color que es demostra en la majoria dels casos acostuma a estar relacionat amb la presència de partícules sòlides, generalment de carboni, que cremen en el si dels mateixos materials. No obstant això, les flames d'alguns compostos són de diferents colors, per exemple, flames grogues de les sals de sodi, vermelles del calci, verdes del coure, violeta del potassi...

El color de la flama depèn, a banda de la composició química del combustible, de la quantitat d'oxigen. Si la proporció d'oxigen és alta, les flames són de color groc lluminós i són oxidants, i si és baixa, són de color blau, reductores i més energètiques.

Hi ha alguns casos de combustions sense flama: la radiació lluminosa emesa en aquesta situació es coneix com incandescència o brases. És d'alta longitud d'ona i es troba a la zona del roig i de l'infraroig, per tant, de menor energia.

L'exposició directa a les flames produeix cremades a les persones i danys materials, perquè la flama propaga el foc per irradiació de la calor.

CALOR

De tots els productes de la combustió la calor és la principal responsable de la propagació del foc.

La calor és una forma d'energia de les molècules en moviment constant en el si de la matèria. Aquestes molècules xoquen constantment entre elles. Com més gran és l'energia cinètica de les molècules, més gran és la violència dels xocs entre elles i la calor despresa. De la mateixa manera que la temperatura d'un cos que tingués les seves molècules en un estat de repòs absolut seria el zero absolut (0°K o $-273,16^{\circ}\text{C}$), en augmentar l'energia cinètica de les molècules, els xocs les separen i per efecte de la pujada de temperatura el cos es dilata.

La temperatura és el resultat de l'estat tèrmic dels cossos, és a dir, del grau de fred o de calor.

La temperatura és una magnitud que expressa el grau d'escalfament dels cossos. La calor despresa per un cos, com hem dit, seria nul·la si les seves molècules quedessin en perfecte estat de repòs. Per això, atribuïm a aquest estat el zero absolut.

La calor emesa en un incendi i l'elevació de temperatura que comporta provoca danys a les persones i als béns materials. L'exposició a l'aire calent pot causar directament deshidratació, esgotament, bloqueig de les vies respiratòries i cremades.

La calor intensifica el ritme cardíac. Quan la seva intensitat depassa el llindar de tolerància humana és mortal. L'exposició d'una persona a temperatures entre 60 i 70°C durant uns minuts li causarà la mort.

Els elements de construcció veuen afectades les seves propietats mecàniques i, fins i tot, la composició química a causa de la calor.

FUM

El fum està format per petites partícules sòlides cremades parcialment, per vapor condensat, en suspensió a l'aire, i gasos de la combustió. La calor, el volum i la quantitat d'aquestes partícules determinen el gruix del fum. El vapor d'aigua condensat també espesseix el fum.

El principal perill del fum és que impedeix la visió. El fum pot ocultar senyals i vies d'evacuació i generar confusió i pànic, sobretot en zones desconegudes.

A més, el fum irrita les mucoses, principalment les dels ulls i les de les vies respiratòries, i això contribueix a augmentar el pànic.

Quan la proporció de fum, aire calent i gasos és elevada i, per tant, la proporció d'oxigen és baixa arribem a l'asfíxia i després la inconsciència i, fins i tot, a la mort.

En els incendis, el fum també pot causar danys materials molt importants.

Els fums calents tenen tendència a ocupar els espais que hi ha a les parts més altes. Una possible forma d'entendre el seu desplaçament és imaginar el local invertit i pensar què faria un líquid, com l'aigua per exemple, en aquesta situació. Quan els fums estan força calents aquesta és una bona aproximació.

SENYALS D'UN INCENDI

ZONA CIRCUMDANT I EXTERIOR DE L'EDIFICI

Les zones exteriors d'un edifici que ha sofert un incendi poden presentar senyals a tenir en compte. Si es detecten, per exemple, elements no habituals en finestres que impedeixin la visió pot indicar la voluntat de retardar la detecció de l'incendi.

FIGURA 1.1. Zona circumdant d'un edifici industrial després d'un incendi

Els senyals i nivells de sutge indiquen a quins punts ha afectat l'incendi.

PARETS I SOSTRES

Les façanes i parets deformades són indicatiu que han sofert l'acció del foc i la calor. Una bona manera d'observar-les és de costat per poder apreciar aquestes possibles deformacions.

Les esquerdes horitzontals, generalment a sobre d'obertures com portes o finestres, presenten un perill superior a les verticals.

Molts d'aquests efectes sobre les parets són com a conseqüència de la dilatació i contracció de les bigues.

ZONES DE MÉS CALOR

En parets, sostres i pilars les zones més afectades per la calor seran les que presentin més decoloració o destrucció.

Les estructures metàl·liques de color gris blavós clar han rebut més temperatura que les que han agafat color d'òxid.

FIGURA 1.2. Bigues d'acer deformades per l'efecte d'un incendi; les zones de color gris blavós són les que han rebut més temperatura

ZONES FREDES

El sutge es diposita sobre les zones fredes i és per això que com més negre sigui la zona, més freda haurà estat.

TEMPERATURA AMBIENT DE LES DIFERENTS ZONES

L'observació de materials amb senyals de fusió permet identificar zones que han assolit diferents temperatures. Si un material ha fos totalment vol dir que, com a mínim, ha estat exposat a la seva temperatura de fusió, però no se sap la temperatura màxima que ha suportat.

FIGURA 1.3. Un radiador d'alumini fos indicarà la temperatura mínima a la qual ha estat sotmès (660 °C)



TAULA 1.4. Temperatures d'interès per a diferents materials

T (°C)	Senyal
200/300	Fonen els plàstics habituals
230	Fon l'estany
325	Fon el plom
400	Fon el zenc
540	L'acer perd el 50% de resistència
660	Fon l'alumini
760	El vidre s'estova
900	Fon el llautó
960	Fon la plata
1000	Fon el bronze
1080	Fon el coure
1200	Fon el ferro colat
1350/1500	Fon el vidre
1500	Fon l'acer
1600	Fon la sorra
1875	Fon el crom

TAULA 1.5. Temperatures aproximades de fusió i ignició per a materials plàstics i metàl·lics presents en una construcció (Cafe, 2004, procedents de diferents fonts)

Metall	Punt de fusió	Plàstic	Punt de fusió	Ignició
Alumini	660°	ABS	88°-125°	416°
Coure	1080°	Acrílics	91°-125°	560°
Plom	327°	Cel·lulòsics	49°-121°	475°-540°
Zinc	419°	Nilons	160°-275°	424°-532°
Aliatge d'alumini	600°	Policarbonat	140°-150°	580°
Antimoni	630°	Polièsters	220°-268°	432°-488°
Bronze	1000°	Polietilè bd	107°-124°	349°
Ferro colat	1200°-1350°	Polietilè ad	122°-137°	349°
Níquel	1450°	Polipropilè	158°-168°	570°
Cobalt	1490°	Poliestirè	100°-120°	488°-496°
Acer	1100°-1600°	Poliuretà	85°-121°	416°
Platí	1770°	PTFE	327°	530°
Titani	1670°	Polivinildeneclor	212°	454°
Crom	1900°	PVC	75°-110°	435°-557°
Tungstè	3410°			

DILATACIONS

Quan una biga o paret rep els efectes de la calor es dilata més per la zona que en rep. La part convexa produïda per la dilatació serà, per tant, la que ha rebut calor de forma més intensa i, segurament, la primera a rebre l'impacte de l'incendi, la qual cosa ens indica la direcció del foc en aquella zona.



A més, en passar de 540 °C aproximadament, l'acer perd el 50% de resistència; si a això li sumem el pes dels forjats que suporten les bigues, ens trobem que en cas d'un incendi les bigues es puguin deformar com es mostra a la figura 1.5.



Els dipòsits o elements pesants suportats per peus metàl·lics cauen del cantó del foc, en quedar debilitats, primer, els suports més pròxims a l'avanç de l'incendi.

Les dilatacions que pateixen els plàstics, metalls o vidres (extintors, bombetes...) indiquen també la procedència de la calor.

- A 550 °C les bigues s'allarguen.
- A 650 °C l'acer perd el 60 % de la seva resistència.
- A 825 °C una estructura metàl·lica pot col·lapsar-se.

FIGURA 1.6. La part més deformada de la bombeta i l'extintor indicarà la procedència de la calor



COLOR I INTENSITAT DE LES FLAMES I ELS FUMS

Els colors de les flames proporcionen indicis sobre els materials que es cremen i de la intensitat (temperatura) del foc, tal com es pot veure a les taules 1.6 i 1.7.

TAULA 1.6. Color de les flames segons el material que crema (Pascual, 1998; Phillips i McFadden, 1984)

Color de les flames	Material
Groc	Combustible ordinari material de classe A, com roba, fusta i paper.
Taronja	Combustibles ordinaris en els estadis finals de la combustió.
Vermell	Líquids inflamables, líquids combustibles i subproductes dels hidrocarburs.
Blanc	Metalls com per exemple el magnesi.
Verd	Coure i nitrats.
Blau	Alcohol i gas natural amb una mescla apropiada d'aire.

Igual que els colors de les flames, el color del fum ajuda a determinar el material que crema. A la taula 1.8 hi ha una relació entre el color dels fums i el material que crema.

TAULA 1.7. Color de les flames en funció de la temperatura (Pascual, 1998; Phillips i McFadden, 1984)

Color de la flama	°C
Vermell tènue	480
Vermell visible a la llum del dia	525
Vermell sang	565
Vermell cirera fosc	635
Vermell cirera intermedi	675
Vermell cirera	740
Vermell brillant	845
Vermell salmó	900
Taronja	940
Llimona	995
Groc clar	1.080
Blanc	1.205
Blau blanc	1.400

TAULA 1.8. Color del fum segons el material que crema (Pascual, 1998; Phillips i McFadden, 1984)⁹

Color del fum	Material
Negre	Hidrocarburs, olis lubricants, goma, plàstics escumats, fibres acríliques, butadiè/estirè, poliestirens, carbó, etc. També en focs inicials de matèries amb base d'hidrocarburs.
Negre clar	Polímers naturals o sintètics, cautxú, polièsters reforçats, etc.
Groc	Substàncies que contenen sofre, àcid clorhídric, sulfúric o nítric, pólvora, nitrocel·lulosa, etc.
Groc verdós	Clor
Violeta	Iode
Gris	Compostos cel·lulòsics comuns, fibres artificials, etc.
Gris bru	Fusta, paper, tela, etc.
Blanc	Productes vegetals (farratges, pinsos, etc.), fòsfor, polímers sintètics (poliamides, poliuretà, polipropilè, polietilè, etc.).

CARBONITZACIÓ

Moltes superfícies es descomponen amb la calor d'un incendi; per exemple, les superfícies de fusta es carbonitzen i canvien d'aspecte i color. Aquest grau de carbonització i decoloració es pot comparar amb les zones adjacents per a investigar com ha evolucionat l'incendi.

En gairebé tots els focs d'edificis és probable trobar fusta carbonitzada. La fusta exposada a elevades temperatures experimenta una descomposició química que allibera gasos, vapor d'aigua, així com diferents productes de la combustió en forma de fum. A mesura que es forma la fusta carbonitzada, el material s'encongeix, s'esquerda i es corba.

Abans de la carbonització, l'aigua interna de la fusta ha de ser totalment eliminada en fase de vapor, per això, es necessita una gran quantitat d'energia. Una vegada la fusta està seca i escalfada a temperatures pròximes als 280 °C, comença espontàniament a descompondre's, i produeix carbó, vapor d'aigua i compostos químics més complexos. Aquest procés de descomposició espontani, o carbonització, continua fins que queda només el residu carbonitzat anomenat carbó vegetal.

La velocitat de penetració del foc a la fusta es pot considerar que va de 0,5 a 0,8 mm/min, segons els assajos de laboratori. El foc real, però, pot cremar amb més o menys intensitat depenent de les condicions reals d'un incendi, el tipus de fusta, orientació de la veta, grau d'humitat i altres variables que fan que els valors de laboratori no s'ajustin totalment a la realitat. S'ha de tenir, per tant, en compte totes les variables possibles que poden afectar la rapidesa i intensitat de la combustió.

Segons dades empíriques es pot establir una relació entre la profunditat de l'esclatxa de la carbonització i el temps que la fusta ha estat exposada al foc (Font, 1992):

- fusta tova (pi): 0,83 mm/min
- fusta de duresa mitjana: 0,67 mm/min
- fusta dura (roure): 0,53 mm/min

⁹ Informació complementària sobre el color dels fums es pot trobar a la publicació *Causes and effects of fire and explosions* (Factory Mutual Insurance Company, 2006, p. 7).

FIGURA 1.7. Fusta carbonitzada**FIGURA 1.8.** La fusta carbonitzada presenta un aspecte de 'pell de cocodril'

De forma més precisa, una equació de base empírica permet fer una predicció de la profunditat de la carbonització, $d_{char,n}$ (mm), mitjançant la dada de la velocitat mitjana d'avanç, β_n (mm/min), dins una fusta de tipus determinat obtinguda de la taula 1.9, i el temps d'exposició, t (min), a un incendi de corba normalitzada ISO834 (CTE, 2006):

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t$$

TAULA 1.9. Velocitat de carbonització de la fusta sotmesa a la corba d'incendi ISO834 (CTE, 2006)

	β_n (mm/min)
Coníferes i faig	
Fusta laminada encolada amb densitat característica ≥ 290 kg/m ³	0,70
Fusta massissa amb densitat característica ≥ 290 kg/m ³	0,80
Fronzoses	
Fusta massissa o laminada encolada de fronzoses amb densitat característica de 290 kg/m ³ *	0,70
Fusta massissa o laminada encolada de fronzoses amb densitat característica ≥ 450 kg/m ³	0,55
Fusta microlaminada	
Amb una densitat característica ≥ 480 kg/m ³	0,70

*Per una densitat característica compresa entre 290 i 450 kg/m³ s'interpolerà linealment

A la investigació d'incendis es recomana utilitzar aquesta fórmula qualitativament. No cal trobar exactament valors absoluts sinó valors relatius. És a dir, cal comparar la profunditat de penetració entre les diferents zones de la mateixa fusta i arribar així a unes conclusions pràctiques sobre l'avanç i la durada de l'incendi. En el límit, també podríem involucrar les mesures obtingudes en peces de fusta diferent, tot ponderant adequadament els resultats mitjançant la mateixa taula.

POSICIÓ DELS OBJECTES

Es poden utilitzar certes marques per a tractar de situar la posició dels objectes durant l'incendi.

Un objecte que obstaculitzi el recorregut de l'energia calorífica crearà una ombra de calor sobre l'objecte que estigui protegint (paret, sostre, un altre objecte, etc.). L'objecte pot ser sòlid o líquid, combustible o no combustible.



Les ombres de calor poden ser de gran ajuda per a determinar l'origen de l'incendi.

Quan un objecte impedeix que els productes de la combustió es dipositin sobre un altre o impedeixen que aquest es cremi crearà una marca de protecció o zona protegida. El concepte de marca de protecció està molt lligat al d'ombra de calor i de la mateixa manera serà de gran ajuda per a determinar l'origen de l'incendi. Si durant les tasques d'extinció s'ha hagut d'apartar objectes o mobiliari, les marques de protecció serviran per saber on estaven els mobles originàriament, tal com es pot apreciar a la figura 1.9. Les marques de protecció i les marques de calor poden ser de gran utilitat per a determinar quina era la posició inicial d'aquests.

Trobar eines o estris fora del seu lloc d'ús habitual, representa una situació anòmla en la qual cal incidir. A la figura 1.10 es distingeixen una careta de soldador (centre) i una màquina radial (inferior dret) al mig d'una nau de fabricació de sofàs.

FIGURA 1.10. Una guspira d'aquestes eines en un moment donat, i sense les mesures de protecció adequades, poden provocar un desastre per l'activitat.



PRESÈNCIA D'ACCELERANTS

En molts incendis intencionats s'utilitzen líquids fàcilment inflamables que n'acceleren el desenvolupament i la velocitat de propagació, a causa del seu alt poder calorífic. Alguns dels senyals indicatius de l'ús d'accelerants són els següents:

- L'incendi s'ha propagat cap avall per escales i rampes quan generalment ho faria cap amunt.
- Els danys de la combustió són més forts al terra que al sostre.
- Senyals de fum i foc uniformes a les parets circumdants. El combustible normal produeix taques de fum i senyals de calor diferents i són més fortes en unes parets que en d'altres.
- En els terres apareixen àrees irregulars, generalment de forma ovalada, d'igual dany en tota la seva superfície, que coincideix amb el toll d'accelerant que ocupava abans de cremar.

- Si s'observen objectes que s'han fos completament, la temperatura de fusió dels quals no ha estat possible d'assolir-se amb la càrrega de foc habitual d'aquella zona, pot indicar l'ús d'accelerants.
- Si es troben materials d'alt punt de fusió en nivells baixos pot ser causat per l'ús d'accelerants ja que els combustibles sòlids no aporten suficient calor per a assolir la temperatura de fusió necessària, a nivell de terra o pròxim al terra.
- El fum del gasoli deixa un tacte untuós sobre vidres i superfícies llises.

GEOMETRIA DE MARQUES DE FOC

Qualsevol objecte que cremi pot crear un plomall i, per tant, algun tipus de marca de foc. La majoria de les marques de foc generades pels plomalls tenen forma de con truncat. Representen les línies de demarcació creades quan la forma tridimensional del plomall queda truncada a causa de la intersecció amb superfícies planes, com poden ser sostres, parets o mobiliari divers.

MARQUES AMB FORMA DE V EN SUPERFÍCIES VERTICALS

Aquestes marques són produïdes per les flames, la calor convectiva o de radiació i el fum del plomall i solen aparèixer quan el foc que crema és proper a la paret en qüestió.

L'angle de la V depèn de diversos factors: la geometria del combustible, la velocitat d'alliberació de la calor, els efectes de la ventilació, la capacitat d'ignició de la superfície vertical, la presència d'elements verticals com sostres, voladissos, etc.

El sutge únicament s'adhereix als paraments si aquests estan freds. Per això, aquest senyal ens pot indicar el punt on s'ha originat l'incendi (figura 1.11).

No tots els incendis, però, deixen com a rastre una V en el seu punt d'origen.

MARQUES AMB FORMA DE CON INVERTIT

A partir del focus inicial d'un incendi, es genera un con invertit que pot deixar com a senyal un cercle en el sostre o una (o més) V a la paret vertical. La combinació d'aquestes marques dóna lloc al con invertit.

Generalment són causades per plomalls verticals de combustibles volàtils que no han arribat al sostre. Solen ser focs relativament curts que no han esdevingut en un plomall o que, si ho han fet, aquest no ha estat truncat per cap element vertical.

MARQUES AMB FORMA DE RELLOTGE DE SORRA

Quan el foc és molt proper a la paret llavors la marca presentarà els efectes del plomall (en forma de V) i de les flames (en forma de con invertit). Ambdues marques juntes formen la marca del rellotge de sorra. Generalment la part inferior en forma de con invertit és més estreta i petita i presenta cremades més intenses o una combustió neta.

MARQUES AMB FORMA DE U EN SUPERFÍCIES VERTICALS

Quan l'objecte que crema està allunyat de la paret la forma resultant de la intersecció del con amb la paret és la de U. La marca amb forma de U és similar a la de V però presenta un vèrtex arrodonit i que, normalment, no arriba a nivells propers al terra.

FIGURA 1.11.
Marca de V en una paret vertical



FIGURA 1.12.
Marca de con invertit creat per una paperera que va cremar.



MARQUES CIRCULARS EN SUPERFÍCIES HORIZONTALS

Són comunes les marques circulars en sostres, en els sotes de taules, en els sotes de lleixes, etc. Com més centralitzada estigui la font de calor, més circulars seran les marques.

Dins de la marca circular, el centre pot presentar símptomes d'haver rebut una major quantitat de calor (més carbonitzat, combustió neta, etc.) i això pot ajudar en la investigació a saber quina ha estat la font que ha produït més calor, immediatament a sota aquest punt.

MARQUES AMB FORMA DE PUNTA EN ELEMENTS VERTICALS

En panys de paret sovint hi ha elements verticals estrets (bigues o columnes verticals, llistons de suport de parets falses, etc.) disposats de manera equidistant. El foc crea una marca amb forma de punta que permet identificar quin ha estat el recorregut de l'incendi. Les marques menys altes i més destruïdes o carbonitzades estaran més a prop de l'inici i aniran creixent i perdent intensitat a mesura que la distància augmenta respecte del punt d'origen.

PUNT D'ORIGEN

El coneixement de l'itinerari del foc ha de permetre seleccionar l'àrea del punt d'origen, seguint un procés d'eliminació de totes les zones on el dany hagi estat causat per propagació. La informació de la persona que ha detectat l'incendi i la dels bombers pot ajudar a confirmar aquesta àrea.

Dins aquesta àrea escollida s'ha d'intentar trobar les marques del con truncat produïdes pel plomall i les flames, les quals ens indicaran el possible punt d'origen.

En cas que es detectin marques que indiquin més d'un focus, caldrà determinar quin ha estat el focus inicial i quins els secundaris.

SENYALS D'UNA EXPLOSIÓ

Les explosions no solen deixar marques de l'estil de les marques de foc, el seu efecte destructiu deixa elements trencats i moguts de lloc, esquerdes. Una interpretació d'aquests elements que han sofert l'efecte de l'explosió poden ajudar a detectar el punt d'origen.

Trobar vidres de finestres al terra pot indicar la direcció de l'ona de pressió en cas d'explosió o deflagració.

Teòricament l'ona expansiva és de tipus esfèrica però a la realitat el confinament i les obstruccions que troba l'ona quan s'expandeix fan variar-ne la direcció, la configuració i la força.

La taula 1.10 mostra els efectes de la sobrepressió en els elements constructius i en les persones.¹⁰ Aquesta relació ajuda a fer-se una idea aproximada de les pressions rebudes en funció de l'estat en què es troben els elements.

¹⁰ Una altra taula molt similar es pot trobar a la publicació sobre els efectes de les explosions de núvols de vapor *Guidelines for evaluating the effects of vapour cloud explosions (VCE)* (Factory Mutual Insurance Company, 2008, p. 27).

TAULA 1.10. Efectes de les sobrepressions d'una explosió sobre les persones i les instal·lacions (Petit i Poyard, 2004, p. 38)

Øp (bar)	Efectes sobre les persones	Efectes sobre les instal·lacions
0,017		1% de probabilitat de vidres normals trencats.
0,020		Del 3 al10% de probabilitat de vidres trencats.
0,027		Moviment de teules.
0,030	Gran buit (143dB).	
0,070	Tira persones al terra.	90% o més de vidres trencats, demolició parcial de cases. Panells de fibrociment ondulats trencats, panells de planxa ondulats arrencats dels seus ancoratges i deformats.
0,100		Possibles danys en grans dipòsits d'hidrocarburs.
0,140		Enfonsament parcial de murs i sostres de cases. Murs de maçoneria destruïts.
0,170		Cases destruïdes al 50%.
0,200		Bastiments de fusteria d'acer deformats i arrencats dels seus fonaments. Grans dipòsits d'emmagatzematge severament malmesos.
0,350	1% de probabilitat de trencament de timpans	Destrucció pràcticament total de les cases.
0,430	50% de probabilitat de trencament de timpans	
0,500		Tomba vagons carregats.
0,700		Destrucció pràcticament total de tots els bastiments.
0,840	90% de probabilitat de trencament de timpans	
1,000	1% de probabilitat de mort per efecte directe	
1,400	50% de probabilitat de mort per efecte directe	
1,750	90% de probabilitat de mort per efecte directe	

FIGURA 1.13. Efecte curiós d'una deflagració de gas on s'aprecia una finestra intacte i un forjat molt malmès

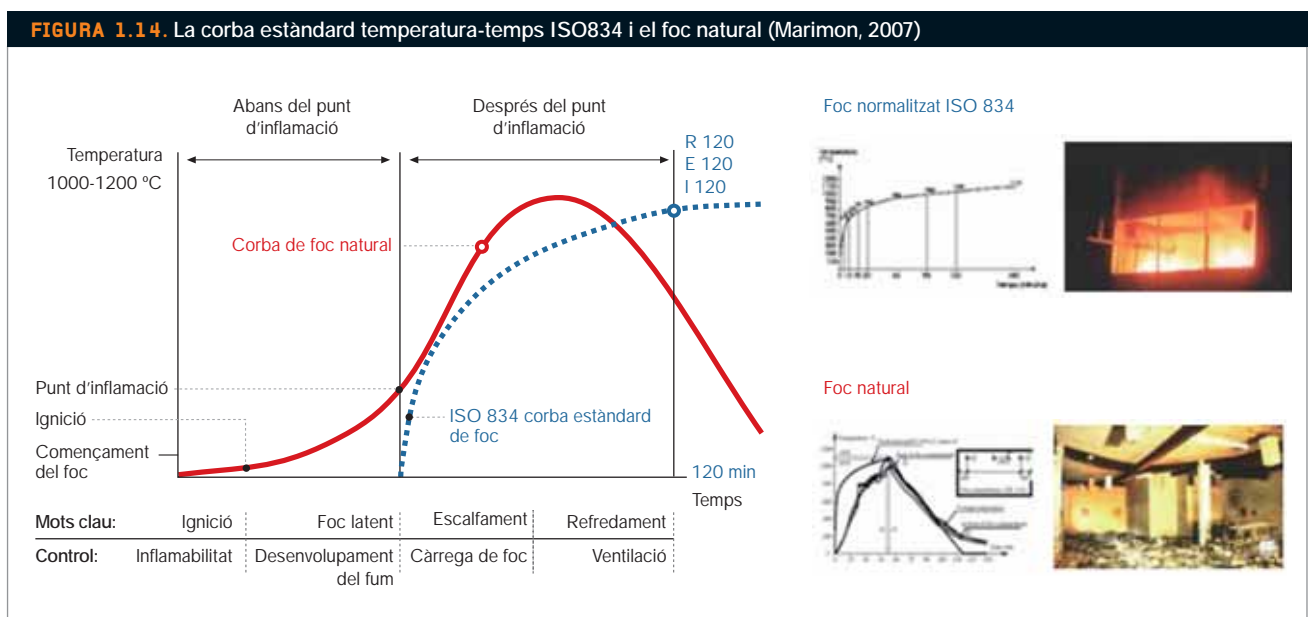
COMPORTAMENT DELS MATERIALS ESTRUCTURALS DAVANT D'INCENDIS I EXPLOSIONS

L'estudi de la resistència al foc dels materials estructurals moderns s'inicia a Alemanya en la dècada de 1880, amb uns assajos de murs d'obra de fàbrica, i queda finalment consolidat amb els extensos assajos de columnes de fosa de ferro efectuats per Underwriters Laboratory (1917-1918) als Estats Units (Shoub, 1961), amb la utilització d'una corba temperatura-temps que difereix ben poc de les emprades actualment. Els resultats obtinguts demostraven que la majoria de columnes sotmeses simultàniament a foc i amb la càrrega d'utilització, col·lapsaven a una temperatura mitjana de 538 °C a la seva superfície, equivalent a l'arrodoniment mnemotècnic de 1000°F (Gilvary, 1997).

Evidentment, ni la temperatura superficial de l'element resistent ni tampoc les corbes estàndard temperatura-temps són representatives de l'incendi real, però han esdevingut una referència consolidada a la normativa. Curiosament és un error conceptual que encara persisteix en alguns codis de caire prescriptiu.

Des del principi, la recerca científica va estar orientada a la resistència de les construccions i les estructures per a gaudir d'un temps prudencial destinat a l'evacuació de les persones i a la intervenció dels serveis d'extinció. Alternativament a aquest plantejament, la investigació d'incendis i explosions ha de treballar amb la realitat física del fenomen i no seguir la metodologia basada en el projecte d'estructures segures que preconitzen les normatives.

La figura 1.14 pot ajudar a aclarir alguns d'aquests conceptes. La corba discontinua representa el foc estàndard ISO834, utilitzat com a referència internacional en els assajos de laboratori i en els càlculs dels codis prescriptius. Aquesta representació difereix de la realitat d'un foc natural ja que no preveu la fase inicial de desenvolupament de l'incendi anterior al punt d'inflamació (conflagració sobtada o *flashover*) representada a la corba vermella. La corba ISO834 tampoc preveu l'augment ràpid de la temperatura que pot trobar-se en certs tipus d'incendis i, finalment, la temperatura creix monòtonicament de forma indefinida en el temps, sense considerar la possibilitat que s'acabi el combustible o hi hagi una intervenció dels serveis d'extinció (Marimon, 2007).

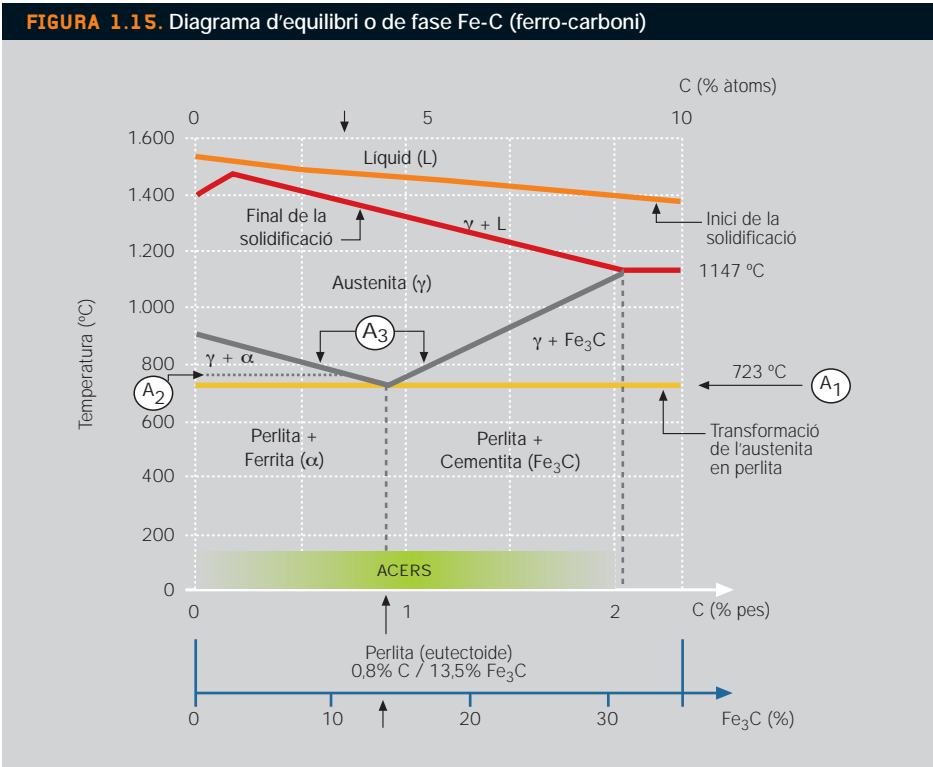


COMPORAMENT TERMOMECÀNIC DE L'ACER

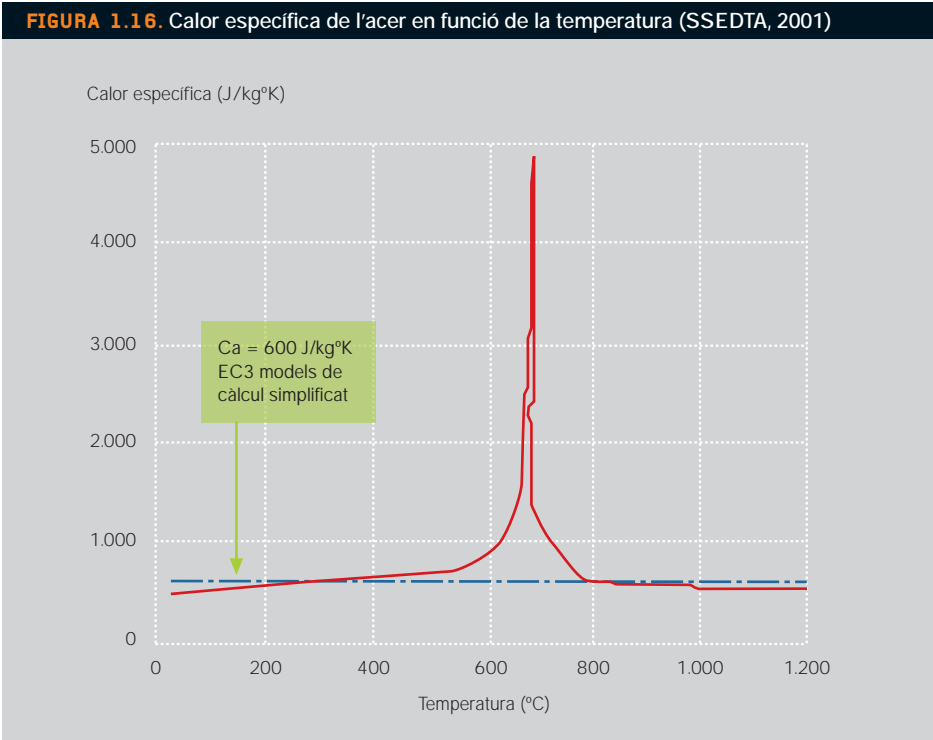
Les propietats de l'acer varien àmpliament i depenen molt de l'aliatge. Malgrat això, els acers que podem trobar habitualment en l'escenari d'un incendi són els emprats en la construcció d'estructures i maquinària convencional; així doncs, el que es descriu a continuació és de tota utilitat.

En el diagrama d'equilibri o de fase Fe-C (ferro-carboni) es pot observar que la temperatura d'austenització —és a dir, la temperatura en què un acer es transforma en austenita d'estructura cristal·lina— comença a 900°C per al cas d'un ferro pur (0 % de carboni) i, quan té afegit carboni, la temperatura decau a un mínim de 724°C per al cas d'un acer eutèctic (només 0.83% per pes de carboni). Altrament, quan s'aproxima a un 2.1% de carboni la temperatura d'austenització puja una altra vegada fins a 1130°C.

La temperatura més baixa per a començar la fusió d'un acer al carboni convencional és de 1130 °C. Aquesta és una dada important a retenir durant la investigació d'incendis ja que l'acer mai es convertirà en líquid per sota d'aquesta temperatura. El ferro pur es comença a fondre a 1492 °C i és completament líquid quan arriba als 1539 °C. L'acer amb un 2,1% de carboni en pes es comença a fondre a 1130 °C i està completament fos quan arriba als 1315 °C. D'altra banda, l'acer amb més d'un 2,1% de carboni ja no és acer, és l'anomenat ferro colat.



La calor específica de l'acer té un valor força constant i independent de la temperatura, $C_{p_a} = 600 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, excepte en la zona de canvi de fase per l'efecte de la calor latent.



No obstant això, l'acer també pot experimentar deformacions importants a alta temperatura si està sotmès a sol·licitacions mecàniques, i sense que hagi assolit encara la temperatura mínima de fusió anterior de 1130 °C. La figura 1.17 mostra el diagrama tensió-deformació d'un acer convencional de construcció S235, tensió de límit elàstic 235 N/mm² a 20 °C, segons la temperatura existent durant un assaig normalitzat a tracció. S'observa una disminució de la tensió del límit elàstic efectiu, fet que significa una reducció de la capacitat resistent del material, però també una disminució del mòdul d'elasticitat longitudinal, que es tradueix en una major deformabilitat de l'estructura a altes temperatures i una major sensibilitat als efectes d'inestabilitat (vinclament en els pilars i bolcada lateral en les bigues).

FIGURA 1.17. Diagrama tensió-deformació per a un acer convencional S235 en funció de la temperatura (SSEDTA, 2001)

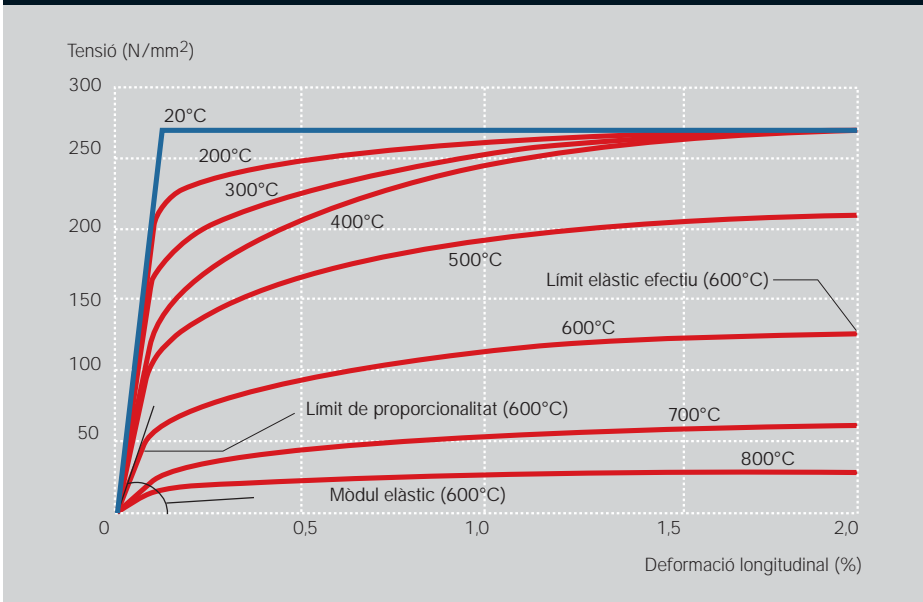


FIGURA 1.18. Deformabilitat de les estructures metàl·liques sense protecció a causa de la disminució del mòdul d'elasticitat longitudinal de l'acer



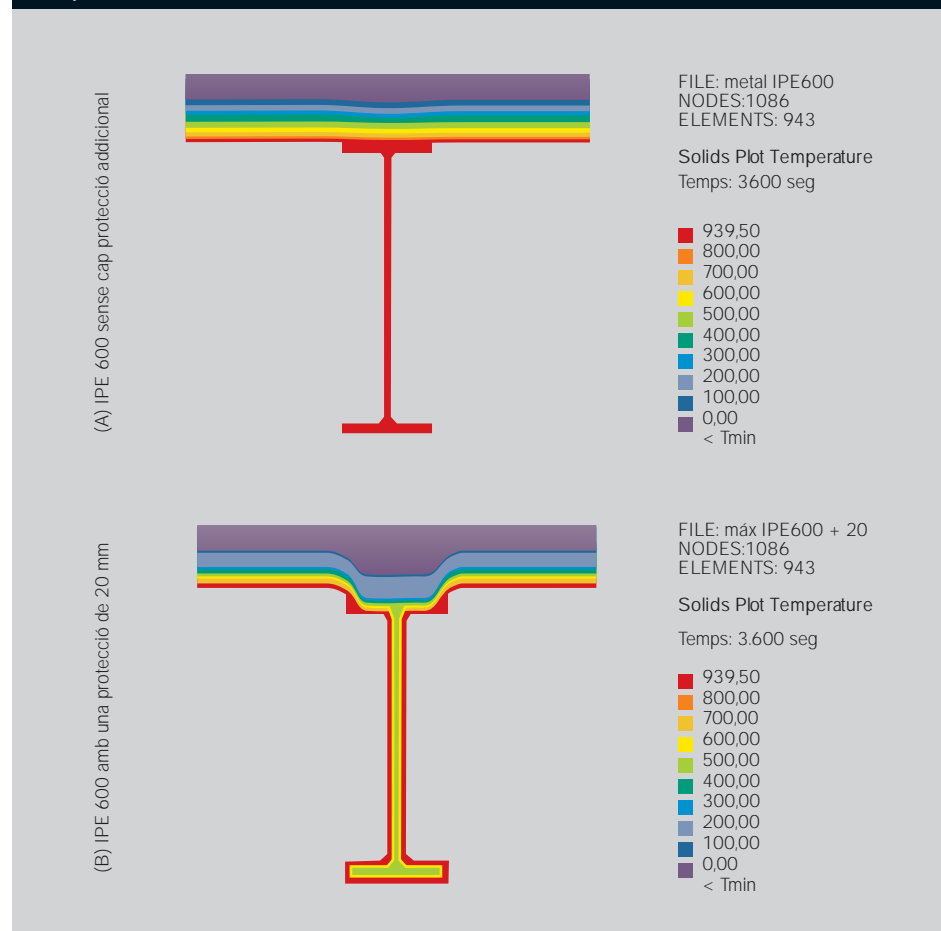
És a dir, durant la investigació de l'incendi, la constatació d'una gran deformació de l'estructura metàl·lica no protegida no implica necessàriament que s'hagin assolit unes altes temperatures. A la figura 1.18 s'observen uns perfils metàl·lics molt deformats, bàsicament per la disminució del mòdul d'elasticitat.

A la normativa europea UNE EN 1993-1-2 es troben aquestes reduccions quantificades de forma percentual i, per tant, són directament utilitzables en la investigació d'incendis per a totes les qualitats dels acers de construcció.

LA PROTECCIÓ DAVANT DEL FOC DE LES ESTRUCTURES METÀL·LIQUES

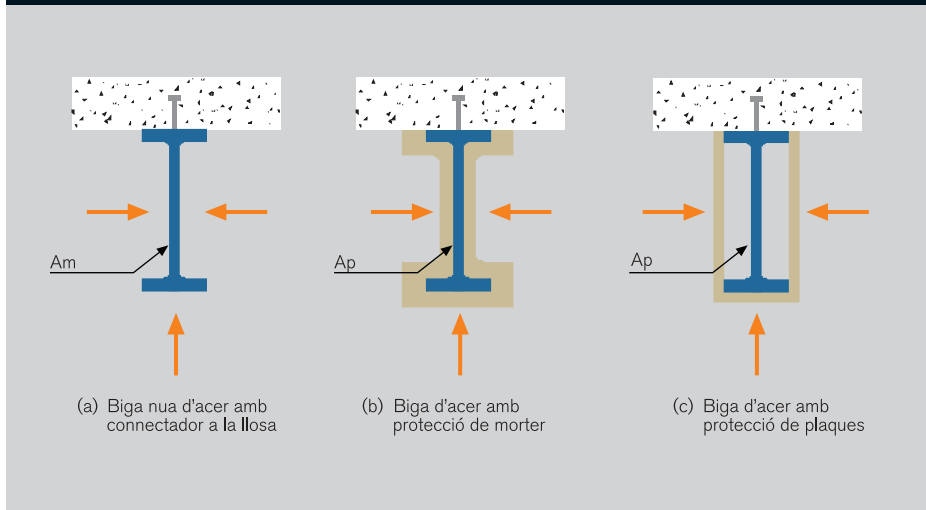
L'acer és un gran conductor de la calor, en conseqüència la temperatura és pràcticament homogènia en tota la secció. En el cas de l'acer nu, aquest segueix pràcticament la corba temperatura-temps dels gasos. A la figura 1.19 s'observa el resultat d'una simulació tèrmica: es constata la inexistència d'un gradient de temperatures important sobre la secció, és a dir, la temperatura és pràcticament uniforme (A). Habitualment, per evitar que l'acer adquireixi una temperatura elevada s'utilitzen uns materials aïllants tèrmics que retarden considerablement l'aparició de les altes temperatures. A la mateixa figura es pot observar l'eficàcia del sistema de protecció en el cas d'un morter de vermiculita de 20 mm de gruix (B).

FIGURA 1.19. Els materials de protecció retarden eficaçment l'aparició de les altes temperatures en la secció d'acer (Marimon, 2007)



Una altra forma de protegir les estructures d'acer és mitjançant un calaix de plaques de guix o silicat càlcic, com es pot apreciar a la figura 1.20.

FIGURA 1.20. Protecció amb morters de vermiculita o perlita aplicats mitjançant projecció (b) o la instal·lació de plaques de guix o silicat càlcic (c)



COMPORAMENT PARTICULAR DELS PILARS DE FOSA

El pilars de fosa de ferro van ser utilitzats intensivament entre mitjan segle XIX i principi del segle XX a Catalunya. Encara se'n poden trobar a les antigues naus industrials, algunes rehabilitades per a altres usos, i a la planta baixa dels edificis de l'Eixample barceloní. El contingut en carboni de la fosa de ferro està entre el 2,5 i 4% (majoritàriament entorn al 3,5%). A temperatura ambient té unes característiques excel·lents per a treballar a compressió (400-750 N/mm²) però té una resistència baixa i un comportament fràgil a la tracció (75-150 N/mm²).

Malgrat el que es podria pensar, la resistència estructural davant del foc dels pilars de fosa és molt alta (Béjar, 2005). Després d'un incendi és habitual que no falli o que el seu col·lapse estigui motivat per l'ensorrament de les bigues o de les voltes d'obra ceràmica que suporta.

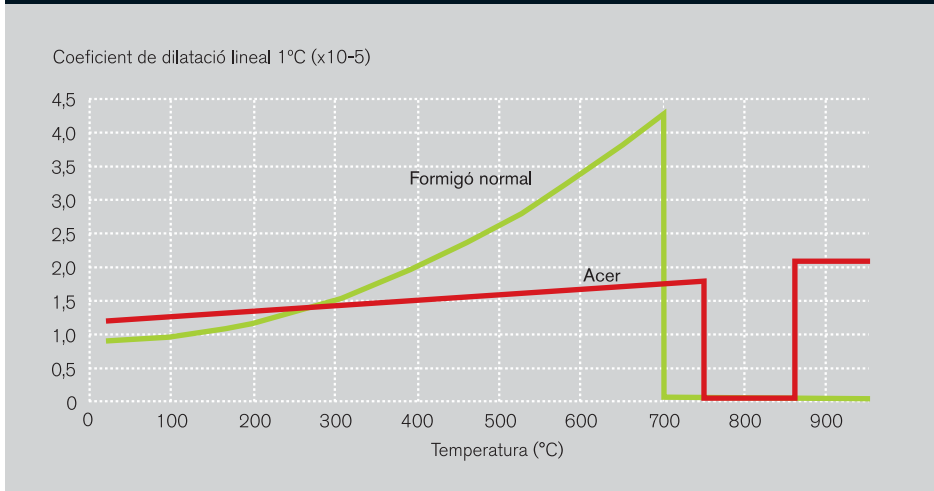
COMPORAMENT TERMOMECÀNIC DEL FORMIGÓ ARMAT

A causa de la seva conductivitat tèrmica baixa i que usualment les peces són de gran massa, per tant de gran inèrcia tèrmica, el formigó s'utilitza freqüentment com a element compartimentador, és a dir, per assolir l'acompliment dels criteris normatius (EI, estanquitat i aïllament tèrmic respectivament).

Tanmateix, el formigó en massa pot ser danyat per l'acció del foc, bàsicament pels seus dos punts febles:

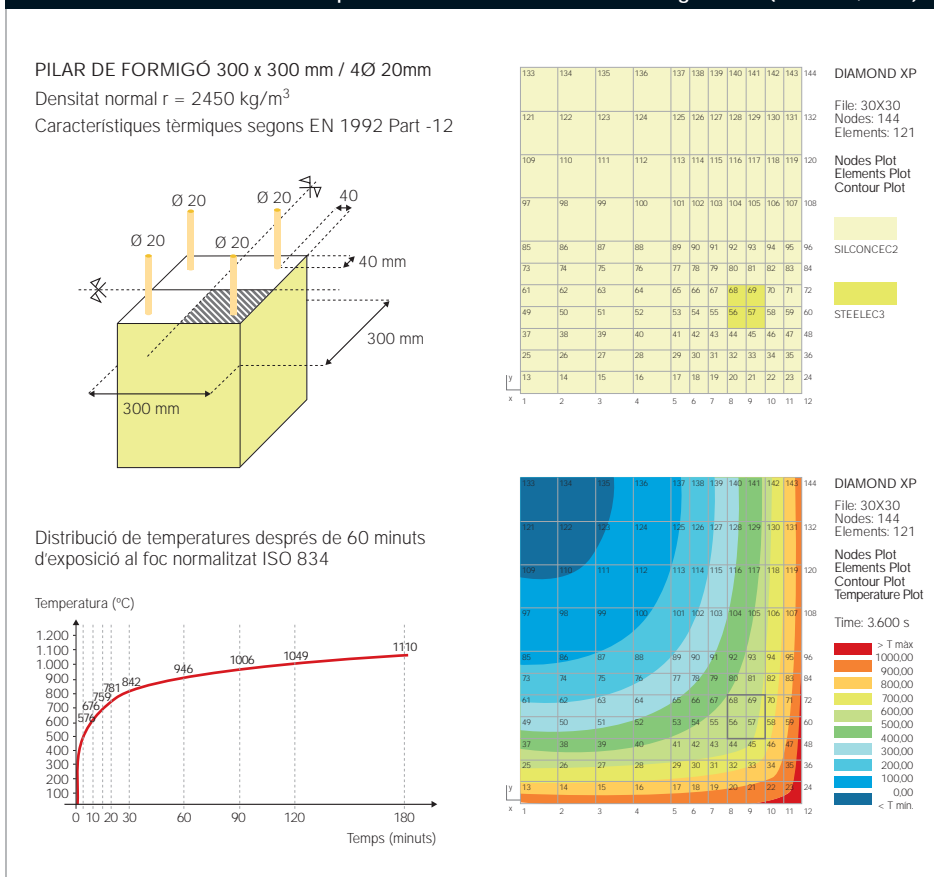
- Baixa resistència a les tensions de tracció. La problemàtica es resol a temperatura ambient mitjançant la utilització de les armadures d'acer convenientment distribuïdes en les zones traccionades de la peça. És l'anomenat formigó armat.
- El fenomen de l'esclatament o *spalling* del formigó.

FIGURA 1.21. Variació del coeficient de dilatació lineal del formigó normal i de l'acer en funció de la temperatura (SSEDTA, 2001).



Fins a aproximadament els 300 °C, el formigó sofreix una expansió tèrmica normal. Curiosament la dilatació de l'acer té pràcticament un valor semblant i això assegura la dilatació solidària del compost formigó armat sense lliscaments relatius. Cal destacar que el lliscament relatiu per dilatació tèrmica incompatible no és un mode rellevant de fallida en situació d'incendi.

FIGURA 1.22. Gradient de temperatures dins d'una secció de formigó armat (Marimon, 2007)



Fins a aproximadament 500 °C, els canvis estructurals essencials són deguts a la carbonització. El formigó exposat fins a 500 °C es considera normalment resistent. A 573 °C, el quars sofreix una expansió ràpida a causa de la transició de fase, i a 900 °C la calcita comença a disminuir a causa de la descomposició. Entre 450 i 550 °C l'hidrat de ciment es descompon i produeix òxid de calci. El carbonat de calci es descompon a aproximadament 600 °C. Finalment, durant el procés de refredament la rehidratació de l'òxid de calci pot provocar expansions. El formigó dels edificis que havien tingut un incendi i quedaven romanents en servei durant uns quants anys mostren un grau extens de carbonització.

A més, durant l'incendi el formigó està exposat a uns gasos i líquids que poden ser perjudicials, entre altres les sals i els àcids que resulten quan es combinen els gasos amb l'aigua.

FIGURA 1.23. Disminució percentual de la resistència a compressió del formigó en funció de la temperatura (SEDTA, 2001)

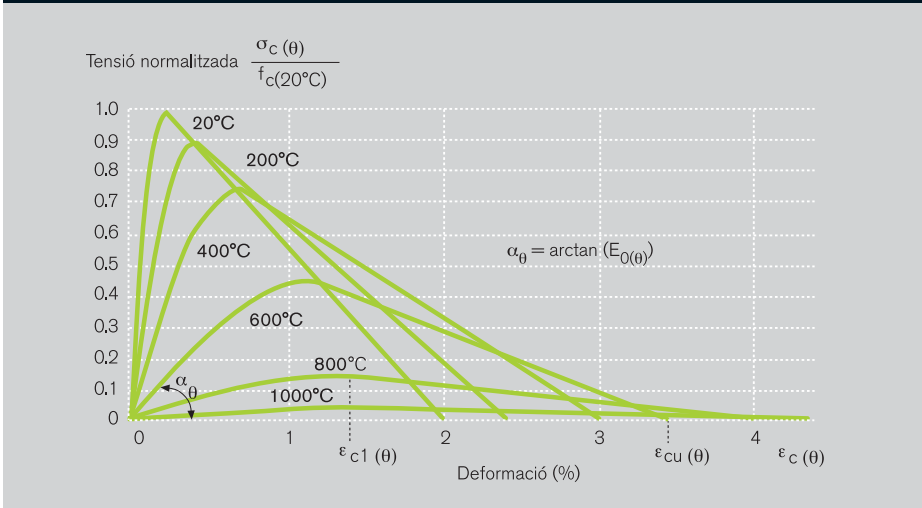
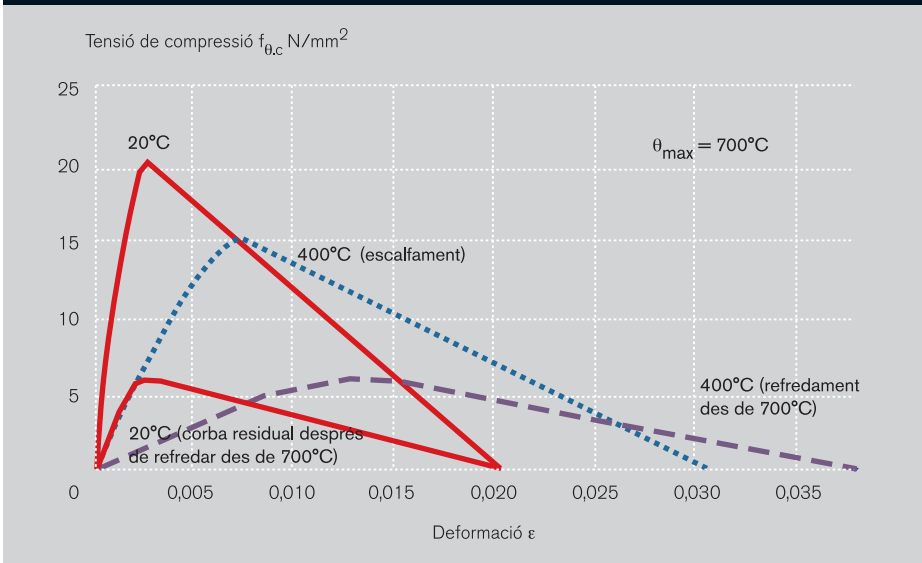
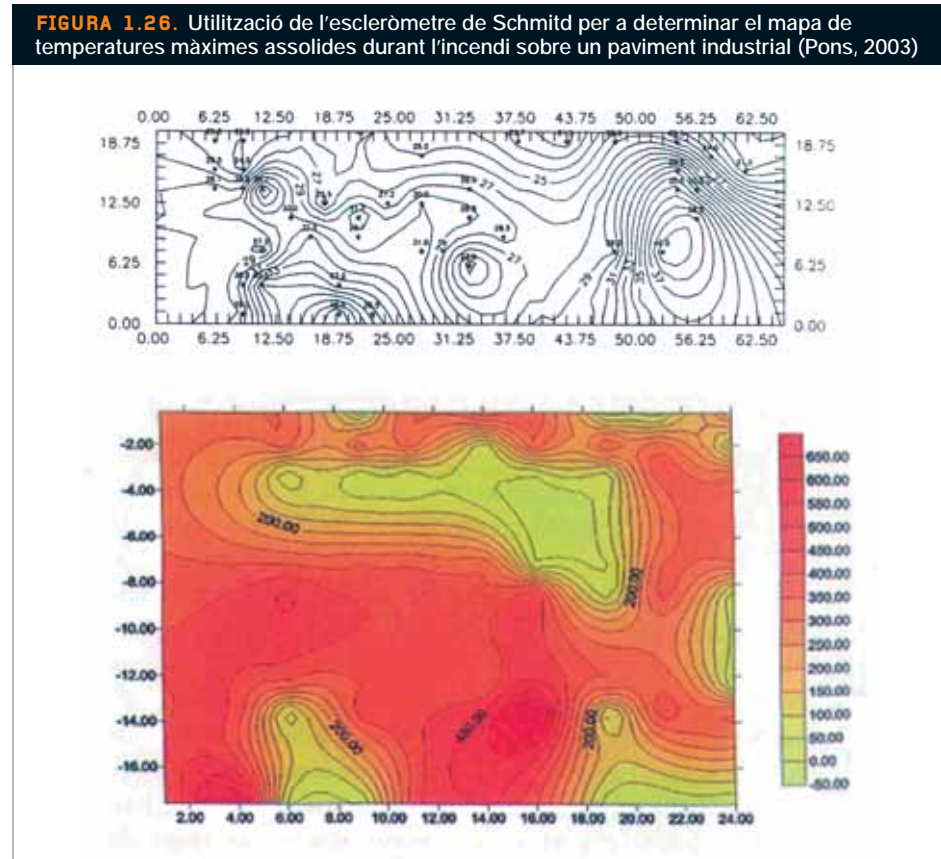
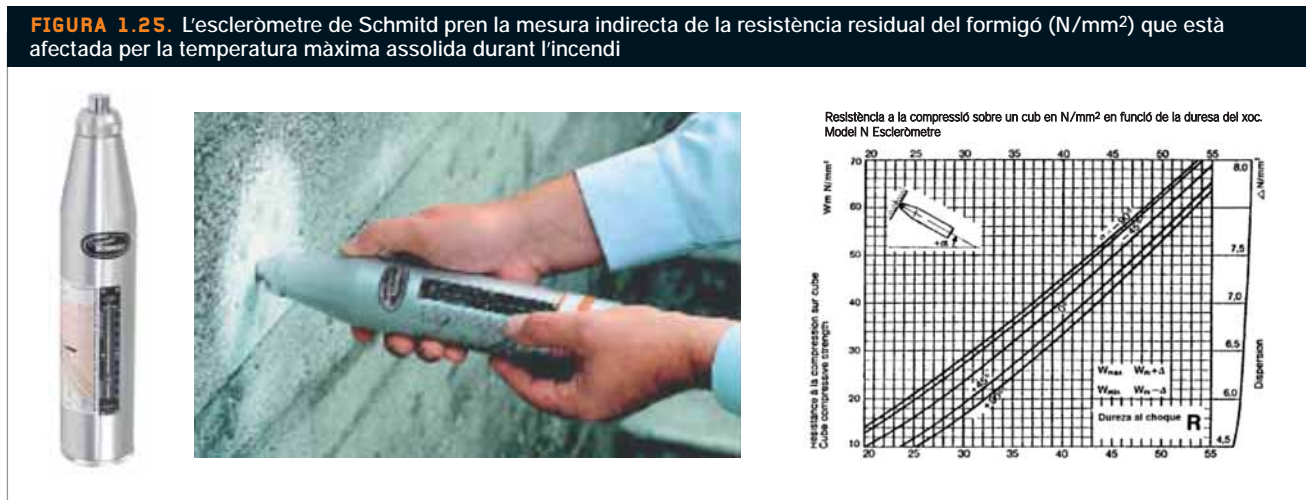


FIGURA 1.24. Important disminució de la resistència a compressió del formigó després d'una exposició a 700 °C durant un incendi (SEDTA, 2001)



OBTENCIÓ DEL MAPA D'ISOTERMES EN PILARS, MURS I PAVIMENTS DE FORMIGÓ

Una interessant aplicació de la propietat explicada en l'apartat anterior és la mesura indirecta de la resistència a compressió del formigó mitjançant els mètodes escleromètrics no destructius, amb l'objectiu d'avaluar la temperatura màxima assolida durant l'incendi. D'aquesta manera es pot construir un mapa de mesures puntuals que, un cop analitzat, ens aporti dades sobre l'origen de l'incendi i la seva trajectòria.



La mesura s'obté amb un instrument senzill i econòmic anomenat escleròmetre Schmidt (figura 1.25). El principi de mesura es fonamenta en la correlació directa que hi ha entre la duresa superficial del formigó i la seva resistència a compressió. La duresa s'avalua mitjançant el rebot d'una massa. La norma UNE 88307-86 recull la metodologia d'assaig en superfícies verticals (murs i pilars) i horitzontals (paviments).

Malgrat l'àmplia utilització del mètode, la fiabilitat i l'exactitud són baixes. Sortosament, en el nostre cas, no ens interessa els valors absoluts sinó els valors relatius (disminució percentual de la resistència). Així, una primera mesura es realitzarà sobre un formigó no afectat pel foc i que ens proporcionarà el valor de referència inicial. A continuació, es realitzaran la resta de mesures. Cal eliminar la pols i la brutícia procedents de l'incendi, per exemple amb un raspall de punxes metàl·liques, per evitar falsejar la lectura per absorció indirecta de l'energia del impacte.

Una aplicació pràctica del mètode ha estat proposada per Vicent Pons (2003), que consisteix a determinar indirectament la disminució de la resistència a compressió del formigó d'un paviment industrial sotmès a l'acció del foc mitjançant aquest mètode escleromètric. Així, es pot dibuixar el mapa d'isotermes de temperatures màximes assolides durant l'incendi (figura 1.26).

EL FENOMEN DE L'ESCLATAMENT O SPALLING DEL FORMIGÓ

El fenomen de l'esclatament del formigó —també anomenada eclosió del formigó o *spalling of concrete* en terminologia anglosaxona— consisteix en l'expulsió d'una porció superficial del formigó vers l'exterior de la peça. Pot adoptar una variant més o menys explosiva depenent de la velocitat d'expulsió. Les fotografies adjuntes mostren aquesta particular resposta del formigó quan està sotmès a l'acció del foc.

És una ruptura neta, habitualment identificada perquè no té el dipòsit de negre de fum ja que succeeix en una fase avançada de l'incendi. En algun cas es pot arribar a confondre amb una esquerda de retracció de refredament si és de poca extensió. El fenomen és comú a altres materials de construcció que tenen una resposta fràgil, com les peces ceràmiques o l'obra de fàbrica.

És un fenomen que encara és objecte de recerca (Guerrero, 2009) però sembla que hi ha coincidència a atribuir-lo a la coexistència de dues causes independents:

- Aparició de tensions de tracció en el formigó provocades pel gradient important de temperatures durant el període d'escalfament o refredament ràpid de la peça. És a dir, pot estar associat als incendis de desenvolupament ràpid.
- Aparició de tensions de tracció en el formigó a conseqüència de les pressions internes que genera el vapor procedent de l'aigua retinguda dins el formigó. El canvi de fase líquid-vapor de l'aigua succeeix a temperatures relativament baixes dins el material, com a referència molt coneguda entorn a 100 °C a la pressió atmosfèrica. Així, com que els formigons joves tenen un contingut alt d'aigua retinguda, són més sensibles al fenomen de l'esclatament.

És un fenomen de gran perillositat per als serveis d'extinció, ja que deixa al descobert les armadures d'acer (vegeu les figures 1.27, 1.28 i 1.29), que queden directament exposades a l'acció del foc. Això pot provocar un esfondrament sobtat de l'estructura sense unes deformacions prèvies que adverteixin del col·lapse imminent.

De cara a la investigació d'incendis, la detecció del fenomen de l'esclatament del formigó no aporta una informació rellevant respecte a les temperatures màximes assolides durant l'incendi, ja que, com s'ha comentat, aquest pot succeir a temperatures relativament baixes. En canvi, podria ser indicatiu d'un incendi de desenvolupament ràpid provocat per una càrrega de foc elevada en el recinte i/o l'existència d'accelerants.

FIGURA 1.27. Fenomen de l'esclatament del formigó en un pilar sotmès a un foc estàndard durant un assaig de laboratori. L'existència dels estreps atenua mínimament el col·lapse (Kodur, 2005)



FIGURA 1.28. Fenomen de l'esclatament del formigó en un bloc sotmès a un foc normalitzat d'hidrocarburs en una sola cara. Les armadures d'acer queden al descobert després del despreniment del formigó (Bilodeau, 2004)



FIGURA 1.29. Fenomen de l'esclatament del formigó en l'ànima d'una biga pretensada (Kordina, 1965)



El fenomen de l'esclatament es pot fer extensiu a altres materials de construcció amb comportament fràgil, per exemple, l'obra de fàbrica ceràmica utilitzada a les parets de càrrega o de compartimentació.

COMPORTEMENT TERMOMECÀNIC DE L'OBRA DE FÀBRICA

El comportament ordinari dels murs d'obra de fàbrica difereix radicalment entre les fases inicials d'un incendi i les posteriors. En efecte, el mur experimenta al començament de l'incendi un moviment vers l'exterior. Això està provocat per tres factors, habitualment concomitants:

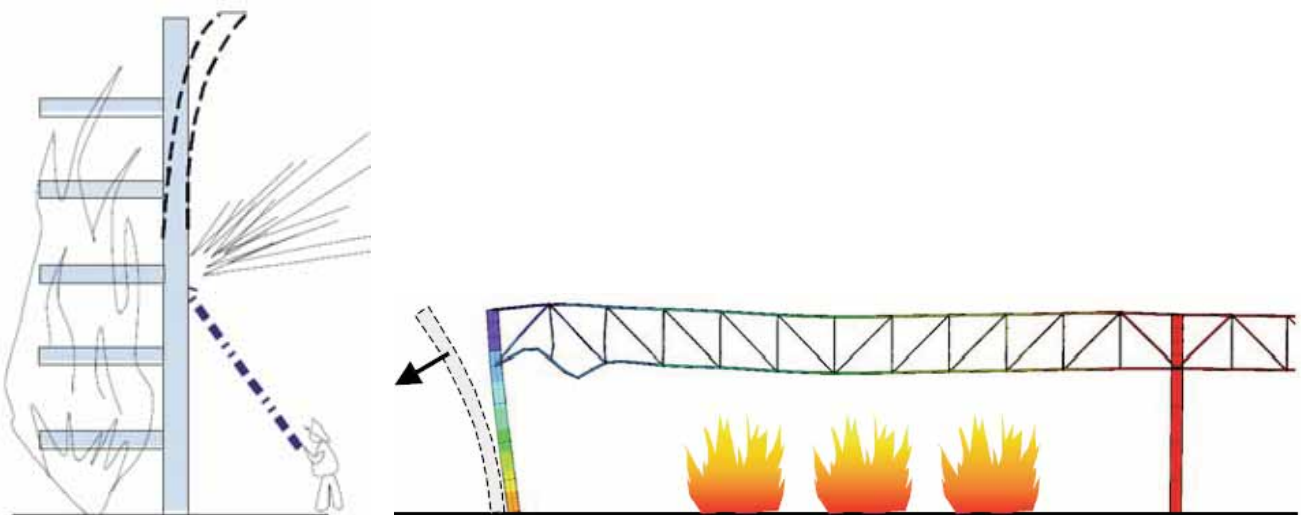
- la dilatació pròpia del mur no és uniforme; la cara calenta es dilata més que la cara freda, en provoca un allargament longitudinal diferencial entre ambdues i l'acumulació dels allargaments longitudinals acaba donant un gir i moviment vers l'exterior;
- la mateixa intervenció dels serveis d'extinció agreuja l'anterior diferència de temperatures entre la cara externa i interna del mur;
- la dilatació longitudinal de l'estructura per augment de temperatura, on es troba normalment lligat el mur excepte si és de càrrega i/o està mecànicament aïllat, provoca l'arrossegament del mur vers l'exterior.

La caiguda del mur vers l'exterior és un fenomen molt perillós per als serveis d'extinció i ha provocat històricament accidents molt greus.

L'observació de l'obra de fàbrica pot aportar informació addicional sobre el desenvolupament de l'incendi atenent als efectes següents:

- desperfectes presents a la seva superfície o petits esclataments;
- pèrdua de la capacitat de sectorització davant de l'incendi, motivada per dos explicacions independents:
 - per l'aparició d'esquerdes que propaguen les flames o gasos calents (pèrdua del criteri E), o
 - perquè no ha pogut aïllar tèrmicament els dos sectors o zones (pèrdua del criteri I).

FIGURA 1.30. Comportament ordinari dels murs durant la fase inicial d'un incendi (CTICM, 2006)



Normativament això representaria que a la cara freda del mur s'assoleix una temperatura generalitzada de 140 °C o, de forma localitzada, de 180 °C, i que aquests valors justificarien la propagació de l'incendi per temperatura.

És important verificar la pèrdua dels criteris E i/o I, i que no s'interpreti erròniament com si hi hagués dos focus d'incendi.

UTILITZACIÓ DE LES TAULES DE RESISTÈNCIA DELS MURS EN LA INVESTIGACIÓ D'INCENDIS

Aquestes taules poden ser utilitzades avantatjosament per a predir si el mur pot complir o no les exigències de sectorització davant d'un incendi ISO834. L'inconvenient principal és que l'incendi real pot diferir considerablement de l'incendi normalitzat ISO834. Malgrat això, constitueixen unes taules interessants a consultar durant la investigació per a valorar la possibilitat de dos focus d'incendi independents.

La taula 1.11 procedeix del Codi tècnic DB-SI 6, annex F (CTE, 2006). El criteri R correspon a la resistència estructural o capacitat portant en el cas de mur de càrrega. És important destacar que la inexistència de R en alguna casella no pressuposa el seu incompliment sinó l'absència de dades científiques en aquesta configuració.

També s'adjunta la taula 1.12 per al cas de murs construïts amb blocs de formigó, que és la solució emprada actualment en els tancaments d'edificis industrials i en els murs perimetrals de petita alçada.

TAULA 1.11. Obra de fàbrica ceràmica sotmesa a la corba d'incendi ISO834 (CTE, 2006)

Tipus de revestiment	Espessor de la fàbrica en mm							
	Amb maó foradat			Amb maó massís o calat		Amb blocs d'argila alleugerida		
	40 ≤ e < 80	80 ≤ e < 110	e ≥ 110	110 ≤ e < 200	e ≥ 200	140 ≤ e < 240	e ≥ 240	
Sense revestir (1)	(1)	(1)	REI-120	REI-240	(1)	(1)		
Arrebossat	Per la cara exposada	(1)	EI-60	EI-90	EI-180	REI-240	EI-180	EI-240
	Per les dues cares	EI-30	EI-90	EI-120	REI-180	REI-240	REI-180	REI-240
Revestit	Per la cara exposada	EI-60	EI-120	EI-180	EI-240	REI-240	EI-240	EI-240
	Per les dues cares	EI-90	EI-180	EI-240	EI-240	REI-240	EI-240 RE-240 REI-180	REI-240

(1) No és usual

TAULA 1.12. Murs de blocs de formigó sotmesos a la corba d'incendi ISO834 (CTE, 2006)

Tipus de cambra	Tipus d'àrid	Tipus de revestiment	Espessor nominal en mm	Resistència al foc
Simple	Silici	Sense revestir	100	EI-15
			150	REI-60
			200	REI-120
	Calcarí	Sense revestir	100	EI-60
			150	REI-90
			200	REI-180
	Volcànic	Sense revestir	120	EI-120
			200	REI-180
		Revestit per les dues cares	90	EI-180
		Revestit per la cara exposada (arrebossat per la cara exterior)	120 200	EI-180 REI-240
Doble	Argila expandida	Sense revestir	150	EI-180
		Revestit per les dues cares	150	RE-240/REI-80

COMPORAMENT TERMOMECÀNIC DE LA FUSTA

La fusta té una combustió que comença als 100 °C amb l'evaporació del vapor d'aigua i l'assecat de la peça. A continuació, entre 100 °C i 270 °C es desprenen gasos i es produeix alguna combustió. És entre 250 °C i 350 °C quan s'inicia la combustió viva amb una reacció de tipus exotèrmica.

La fusta pot ser l'element combustible d'un incendi quan parlem d'una indústria o un magatzem dedicat a la fusta i els seus derivats, però difícilment una biga o un pilar de fusta és l'origen del foc. Així, la fusta esdevé a la investigació d'incendis com una prova testimonial del seu desenvolupament. La penetració de la carbonització dins el material és indicativa de la severitat de l'incendi i de la duració en el temps.

El foc afecta l'exterior de la fusta formant una crosta típica que recorda la pell d'un cocodril, mentre que interiorment la fusta resta intacta, tal com s'aprecia a la figura 1.31. Precisament aquesta crosta de fusta carbonitzada fa de material aïllant i proporciona un retard temporal a l'acció del foc. És a dir, la velocitat de carbonització disminueix a mesura que avança la carbonització del material, encara que de forma pràctica s'adopti un valor mitjà.

En els llibres clàssics d'investigació d'incendis nord-americans es parla àmpliament de la resposta de la fusta. Cal fer dues precisions sobre aquesta qüestió: en primer lloc no hi ha una utilització massiva de la fusta com a material de construcció a Catalunya i, en segon lloc, els tipus de fusta emprats són diferents. Difícilment trobarem una construcció feta íntegrament en fusta (estructura, paviment i recobriments) i, per tant, les metodologies i conclusions no són directament extrapolables (AWC, 2008).

FIGURA 1.31. Carbonització superficial de la fusta en forma de pell de cocodril



LES INCLUSIONS METÀL·LIQUES DINS LA FUSTA

La conductivitat tèrmica és molt més alta a l'acer que a la fusta. Així, les inclusions metàl·liques a les bigues i els pilars estructurals; claus, cargols i passadors no protegits, constitueixen una entrada directa de calor a l'interior de l'element.

També, les inclusions metàl·liques a les portes, les manetes i les frontisses no protegides alteren el mapa d'isotermes i provoquen una entrada localitzada de calor que pot alterar la missió de compartimentació de l'element i que faci que s'obri o caigui. La hipòtesi de porta inicialment oberta cal ser analitzada convenientment dins la investigació d'acord amb aquestes possibilitats.

COMPORAMENT TERMOMECÀNIC DE L'ALUMINI I EL MAGNESI

Considerats materials «avançats» per la seva lleugeresa, resistència mecànica, estabilitat davant de la corrosió i propietats elèctriques, s'apliquen cada cop més en altres sectors, més enllà de l'aeronàutic i l'elèctric. És per aquesta raó que s'han inclòs dins aquest capítol, tot i que no són materials gaire emprats en la construcció d'estructures com ho poden ser els mencionats en els apartats anteriors.

Malgrat que en els incendis normals no es sol arribar a les temperatures perilloses, cal fer esment del risc potencial que hi ha si s'assoleixen determinades temperatures. Crement amb una flama blanca molt brillant, pels 3000 °C i 3900 °C que assolixen, respectivament, l'alumini i el magnesi.

Perquè la combustió sigui estable, cal que el material superi, com a mínim, la temperatura de fusió, condició difícil de complir en peces de cert gruix. Els encenalls i la pols d'alumini o magnesi són potencialment més perillosos, perquè faciliten l'aparició de punts calents.

S'està estudiant la casuística que pot arribar a convertir-los en accelerants d'algun tipus d'incendi particular, combinat amb tensió elèctrica. Els arcs elèctrics de curtcircuit poden assolir de 6000 °C a 20000 °C, mentre dura el pas del corrent elèctric, abans de l'actuació de les proteccions.

ESTRUCTURES SOTMESES A SOL·LICITACIONS D'EXPLOSIÓ

És força conegut en l'àmbit de la seguretat industrial que en els recintes on pot succeir una explosió interessa que les parets, i sobretot la coberta, tinguin una feble resistència a l'acció de la pressió explosiva. Això s'aconsegueix fàcilment amb la utilització de materials de cobriment del tipus fibrociment o xapa metàl·lica grecada de petit gruix (0,6 a 1,2 mm). També el mateix vidre pla esdevé un excel·lent material per a aquesta aplicació. Aquesta recomanació clàssica cada cop està més enfrontada amb les exigències d'aïllament tèrmic i acústic que demanen les noves normatives de la construcció. Contràriament al pensament del públic no entès, una estructura extremament rígida i resistent és un perill potencial en el cas d'explosió.

La NFPA 921 proporciona uns valors indicatius de la pressió de ruïna associada a cada element constructiu i que pot ajudar a determinar la magnitud de l'ona explosiva inicial.

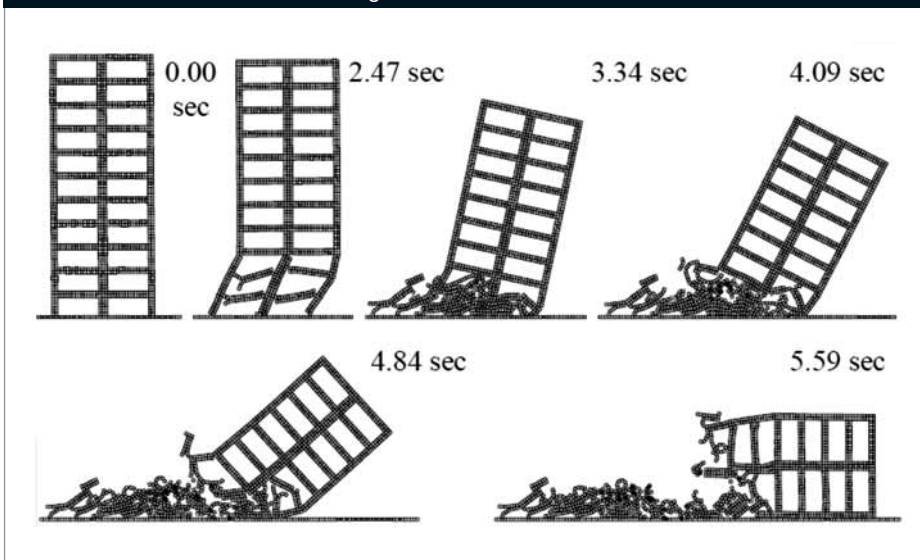
INVESTIGACIÓ DEL COMPORAMENT DE LES ESTRUCTURES SOTMESES A SOL·LICITACIONS EXTREMES

És difícil determinar el valor de la càrrega última o de ruïna d'un sistema estructural. L'estructura desenvolupa mecanismes resistents no considerats habitualment en l'anàlisi convencional, tot en funció del grau d'hiperestaticitat del sistema estructural i la capacitat de plastificació de les seccions i unions. En definitiva, són dissipadors d'energia. També la resistència addicional dels materials emprats, que poden estar per damunt de les especificacions mínimes exigides en el projecte original, altera significativament el

resultat de la càrrega de ruïna. Com en tot sinistre estructural, és molt recomanable l'extracció de proves testimoni per a confirmar la qualitat dels materials.

La dificultat matemàtica dels models de plastificació, inestabilitat (vincament, abonyegament, bolcada lateral) i ruptura, condueix a la utilització inexorable de mètodes numèrics implementats en ordinadors. El modern mètode AEM (Applied Element Method) és particularment adequat per estudiar aquestes situacions respecte del FEM (Finite Element Method). La figura 1.32 mostra la simplicitat en l'AEM dels enllaços entre elements mitjançant molles de rigidesa variable i contacte controlat, i també la utilització del mètode AEM en l'estudi de la ruïna d'una estructura de barres de formigó armat deguda a una sol·licitació extrema de tipus sísmic (Meguro, 1999). El mètode AEM té una aplicació directa a l'estudi del col·lapse progressiu per incendi i/o explosió.

FIGURA 1.32. El mètode AEM (Applied Element Method) utilitzat en l'estudi de la ruïna d'una estructura de barres de formigó armat davant d'una sol·licitació extrema



PROTOCOLS DE SEGURETAT A LA INVESTIGACIÓ D'INCENDIS I EXPLOSIONS EN LES ESTRUCTURES PARCIALMENT COL·LAPSADES

Habitualment la tasca de l'investigador es desenvolupa entre el període comprès entre la finalització de l'incendi o explosió i l'inici de la possible demolició parcial o total de l'estructura. No hi ha cap més remei si es vol recollir les proves sense contaminar. Així, l'investigador ha de verificar feiaentment que l'edifici objecte de la investigació després de l'incendi o explosió és segur estructuralment per a desenvolupar la seva feina. Hi ha unes regles clàssiques a seguir:

- Cal esperar la finalització total de l'incendi i que els serveis d'extinció donin per acabat el refredament de l'estructura, especialment en el cas d'estructures de formigó.
- Abstenir-se d'efectuar qualsevol investigació dins l'edifici en el cas de situació climàtica adversa: vent de moderada velocitat o amb ràfegues, neu acumulada o pluja persistent que provoca l'acumulació d'aigua sobre el forjats o les cobertes deformades (efecte *ponding*).

- És força recomanable l'assessorament de personal tècnic consultor d'estructures, procedent del mateix servei d'extinció o d'una enginyeria especialitzada. A més, cal aprofitar la consulta per indagar sobre el mecanisme de col·lapse estructural i la seva relació amb l'inici i la propagació del foc.
- Cal evitar tot tipus d'impactes durant la visita de l'escenari de l'incendi o explosió. La visita s'ha de limitar a les persones estrictament necessàries —dues en la majoria de recomanacions internacionals— i no s'han d'acumular sobre el mateix element estructural. El moviment i la separació dels elements constructius (portes, cel ras...) cal fer-los de forma suau, sense travades i mitjançant les eines adequades.
- Utilització imperativa dels elements de protecció individual, com a mínim casc, roba sense sortints, mascareta per la possibilitat d'asbest, i especialment calçat d'alta adherència ja que el terra és sempre molt lliscós (NFPA, 2005).
- En inspeccions a gran alçada, cal utilitzar l'arnès de seguretat i possiblement s'exigeixi la realització del curset de treballs en alçada o una acreditació equivalent. Si la inspecció és simplement ocular pot ser interessant valorar la utilització alternativa o complementària de la telefoto des de l'exterior de l'edifici, per exemple una càmera digital amb un objectiu de 300 mm, que permetrà la inspecció detallada amb un programa informàtic de tractament d'imatge.

Finalment, l'extracció de mostres i provetes dels elements estructurals que requereixi mitjans auxiliars de mecanització (perforació, tall, etc.) o impliqui una reducció de la secció resistent, és preferible ajornar-la a la finalització de la consolidació estructural o la demolició, tot marcant simplement la ubicació de les mostres a recollir. També, el treball coordinat entre l'investigador i l'equip de demolició és força recomanable per aconseguir proves addicionals.

REGLAMENTACIÓ TÈCNICA

L'edifici legislatiu a l'Estat espanyol en matèria de seguretat contra incendis —és a dir el conjunt de reglaments aprovats per disposicions legals estatals, autonòmiques i ordenances municipals, basats i harmonitzats amb directives de la Unió Europea— podem dir que està fet i ben fet. Les normes tècniques que en precisen la manera de complir-los, també. Les millors tècniques disponibles en forma de guies, programaris, etc., siguin del sector privat o públic, també.

Falta només precisar la normativa jurídica de procediment, tramitació i control de les llicències ambientals, d'activitats i d'obres.

Per a la consulta de la normativa de referència actual, remetem a l'apartat de Disposicions legals i normes tècniques d'aquest mateix llibre (pàg. 157).¹¹

¹¹. Informació extreta de Sans, J. «La normativa sobre seguretat contra incendis en edificis i indústries. Present i futur». *Revista Catalana de Seguretat Pública*, 18, abril de 2008, p. 173-193.

CAPÍTOL 2

L'ACTUACIÓ DELS DIVERSOS ÀMBITS PROFESSIONALS EN LA INVESTIGACIÓ

Les investigacions d'incendis i explosions tenen com a última finalitat determinar les causes del sinistre i si ha estat intencionat.

A Catalunya els principals agents implicats en una investigació d'un incendi o d'una explosió són els següents:

- policia científica del cos de Mossos d'Esquadra
- bombers
- pèrits taxadors de danys designats per les companyies asseguradores o per altres afectats
- investigadors tècnics de causes designats per les companyies asseguradores o per altres afectats
- tribunal de justícia
- metges forenses
- pèrits judicials

Un cop s'ha produït un incendi i s'ha extingit, habitualment concorren en el lloc del sinistre professionals de l'Administració pública (bombers, policia local, mossos d'esquadra, etc.), propietaris i afectats, coneguts dels propietaris i afectats, curiosos sense cap relació amb els afectats, taxadors i investigadors tècnics de causes d'incendis, amb la qual cosa els indicis poden quedar manipulats o anar desapareixent. La realitat evidencia que immediatament després de l'incendi accedeixen a la zona més persones de les degudes.

Quan es detecta un incendi s'activa, si escau, una situació d'emergències en l'interior de l'edifici amb evacuació i intervenció dels equips d'emergència si n'hi hagués.

D'acord amb la primera informació rebuda durant l'incendi i la trucada als cossos de seguretat públics s'inicia simultàniament l'actuació dels agents de policia, bombers i equips sanitaris.

D'altra banda, la companyia asseguradora pot rebre la informació de l'incendi, la majoria de vegades moltes hores o dies després de finalitzat l'incendi, habitualment mitjançant:

- trucada de la mateixa persona assegurada
- trucada de la corredoria d'assegurances
- les notícies rebudes dels mitjans de comunicació
- notificació d'una altra companyia asseguradora

Per als primers efectius interns i externs que arriben al lloc del sinistre, ja siguin membres dels equips d'emergències, policia, bombers o equips sanitaris, el seu primer objectiu és salvar les vides humanes que puguin córrer un perill imminent, per això moltes proves poden quedar distorsionades.

Per a poder fer una bona investigació és convenient que una vegada finalitzat l'incendi entrin a l'escenari del sinistre les mínimes persones possibles, només les professionalment preparades per a això: pèrits taxadors i pèrits investigadors, tant els designats per les companyies asseguradores com per l'Administració pública, ja que s'alteren o esborren petjades, senyals, restes, cendres... i l'ordre de les coses tal com van quedar immediatament després de l'incendi. Es poden alterar les ubicacions originals de l'escenari i fins i tot pot haver-hi manipulacions intencionades que poden desorientar la investigació si els que accedeixen al lloc del sinistre no són professionals autoritzats. Les persones no autoritzades poden, fins i tot, endur-se objectes o canviar-los de lloc, ja sigui deliberadament o sense intenció de provocar trastorns o desorientacions a qui tenen la reconeguda capacitat per a investigar l'incendi. Per tant, s'ha de limitar al màxim la presència de persones en el lloc sinistrat fins a l'arribada dels equips d'investigació.

Interessa aclarir que durant la seva gestió i com a conseqüència de la idiosincràsia de les actuacions a portar a terme, els pèrits designats, inclosos els investigadors de causes, estan expressament dispensats de qualsevol formalitat judicial i tenen les màximes facultats per a entrar en els locals sinistrats, examinar tot el que els sigui d'utilitat per al millor exercici de la seva funció i observar totes les actuacions que considerin oportunes, sempre que es respecti allò que estableix la Llei d'enjudiciament civil.

MOSSOS D'ESQUADRA

Els investigadors d'incendis de la Policia de la Generalitat-Mossos d'Esquadra són membres de les unitats de Policia Científica dedicats a aquestes tasques concretes.

Els membres del cos de Mossos d'Esquadra que s'integrin a les unitats de Policia Científica han de tenir el diploma de policia científica expedit per l'Institut de Seguretat Pública de Catalunya, amb la superació prèvia del curs d'especialitat corresponent que pot incloure períodes de pràctiques.

Els incendis que s'investiguen són aquells en els quals hi pugui haver indicis d'un delictes tipificat al Codi penal; per tant, inicialment, com que no se sap si hi ha indicis de criminalitat o no, s'investiguen la majoria dels incendis.

Habitualment, davant d'un incendi, qui tindrà notícia del succés en primer lloc serà la sala de coordinació dels Mossos d'Esquadra per trucada directa de veïns, testimonis, o de bombers.

Abans d'arribar al lloc, per mitjà del sistema informàtic, es contrasten dades com les característiques del lloc de l'incendi, si és una indústria quina activitat feien, qui ho ha vist primer, etc.

En arribar al lloc del sinistre, és de gran utilitat recollir còpies de les fotografies i vídeos que poguessin haver fet durant l'incendi veïns o curiosos.

En els incendis en què pot haver-hi indicis de criminalitat, o bé víctimes greus o mortals, o bé que se'n presenti denúncia, caldrà fer al més aviat possible una acurada inspecció ocular tecnicopolicia (IOTP). Per tant, és imprescindible que hi hagi un correcte acordonament i precintament de la zona per tal que, excepte les persones autoritzades (jutge, secretari judicial, metge forense, policia científica i, si és necessari, les unitats d'investigació), ningú no hi accedeixi ni manipuli res del lloc dels fets.

Les investigacions d'incendis i explosions no tenen gaire a veure amb les que es fan amb motiu d'altres successos en què intervé la policia, com podria ser la investigació d'un delictes de robatori amb força.

Els incendis i les explosions acostumen a tenir una major complexitat, ja que en el lloc dels fets trobarem que quasi tots els materials poden estar destruïts, l'estructura de l'edifici afectada per les flames i potser amb perill de col·lapse. Zones en què els envans han pogut caure i estan plenes de runa, sense llum, ple de cendres i d'aigua de l'extinció, ja que l'escena està afectada per la destrucció del mateix incendi i per les tasques posteriors dels equips d'extinció; tot això altera o dificulta la tasca de l'investigador de la policia científica.

És per aquest motiu, sobretot quan la gravetat del sinistre ho aconselli, que es sol·licitarà la participació i intervenció de personal especialitzat en la investigació d'incendis estructurals de les unitats de policia científica.

Davant d'un sinistre, i atesa la complexitat que genera la inspecció ocular d'incendis, el jutge d'instrucció en delega la realització a les unitats d'investigació i de policia científica del cos de Mossos d'Esquadra, els quals preserven el lloc i fan una valoració preliminar sobre si hi pot haver o no responsabilitat penal, i n'informen la unitat territorial de policia científica corresponent i el Grup Central d'Incendis Estructurals de la Divisió de Policia Científica.

Una investigació policial d'un sinistre es du a terme des de dues vessants:

- investigació tècnica de causes, que correspon a Policia Científica:
 - reportatge fotogràfic i videogràfic
 - realització de la IOTP:
 - localitzar el punt d'origen de l'incendi
 - trobar la font de calor
 - determinar la causa de l'incendi
 - determinar la categoria de l'incendi
 - recerca i recollida d'indicis
 - tractament i tramesa d'indicis
 - realització de l'acta d'IOTP
 - detectar si hi ha indicis de criminalitat abans, durant o posteriorment a l'inici de l'incendi
 - informe pericial de causes, quan el jutge el sol·liciti o dictamen en cas que sigui necessari per a l'investigador
- investigació de motius, presa de declaracions i la seva comprovació, etc., que correspon als grups d'investigació, per esbrinar:
 - qui l'ha iniciat
 - quan
 - qui ho ha vist: filiació de testimonis
 - com ha passat
 - presa de declaració de testimonis i afectats
 - qui n'ha resultat afectat: particulars, estaments oficials, parentius, empreses...
 - què n'ha resultat afectat i si té assegurança, verificar també l'asseguradora, si hi ha denúncies prèvies per fets similars...

Una de les tasques que fan els grups d'investigació en un incendi és recollir el màxim d'informació possible per trametre-la posteriorment a qui ha de fer la inspecció ocular.

La IOTP s'ha d'efectuar sempre que hi hagi indicis de criminalitat, com s'ha esmentat anteriorment, però cal tenir present que també s'ha de fer en els casos en què, tot i que hagi estat un succés fortuït, com per exemple una explosió de gas natural, s'obri una investigació policial per a determinar-ne responsabilitats penals.

La IOTP en els casos d'incendi forestal, i quan no en sigui competent el Cos d'Agents Rurals, està reservada a la Unitat Central de Medi Ambient, que disposa de la capacitat tècnica, recursos i mitjans adients. En els casos d'explosions produïdes per artefactes explosius, la IOTP s'ha de fer conjuntament amb els especialistes en explosius.

Després de la investigació al lloc dels fets s'ha de fer l'anàlisi de mostres que es puguin haver recollit durant la IOTP, que la durà a terme el personal tècnic i facultatiu de la Unitat Central del Laboratori Analític adscrita a la Divisió de Policia Científica del cos de Mossos d'Esquadra. Els resultats de les anàlisis són incorporades a les diligències d'investigació.

Com a conclusió de la investigació de la policia científica habitualment es fa un informe pericial del sinistre, sempre a requeriment del jutjat que instrueixi la causa i prenent com a base la IOTP. En aquest informe s'explica com s'ha iniciat l'incendi, com s'ha desenvolupat i quines són les causes que l'han provocat.

BOMBERS

Els bombers, com a servei d'emergència, assumeixen la funció d'extinció de l'incendi i les actuacions posteriors que siguin necessàries, entre les quals hi ha l'Informe d'intervenció, on es deixa constància de les dades del servei amb els recursos desplaçats, el tipus d'intervenció, emplaçament, propietat i altres anotacions rellevants, els possibles orígens i els danys personals o materials ocasionats.

En alguns casos, segons la tipologia i les característiques de l'establiment o dels danys soferts, es realitza l'anàlisi «postincendi» o de «retorn d'experiència», en què es recullen exhaustivament les dades més apropiades a la naturalesa de la investigació i es fan anotacions sobre les mesures de protecció existents, el funcionament de les instal·lacions implicades en el sinistre, les causes del seu desenvolupament i altres dades associades.

A Catalunya hi ha dos cossos de bombers funcionaris: el de l'Ajuntament de Barcelona, que dona servei al terme municipal de Barcelona, i el de la Generalitat de Catalunya per a la resta del país.

A continuació es fa una anàlisi estadística de la tipologia de les intervencions dels dos cossos de bombers, on es pot veure la distribució de les actuacions i la manera amb què s'aborden les investigacions dels casos més significatius.

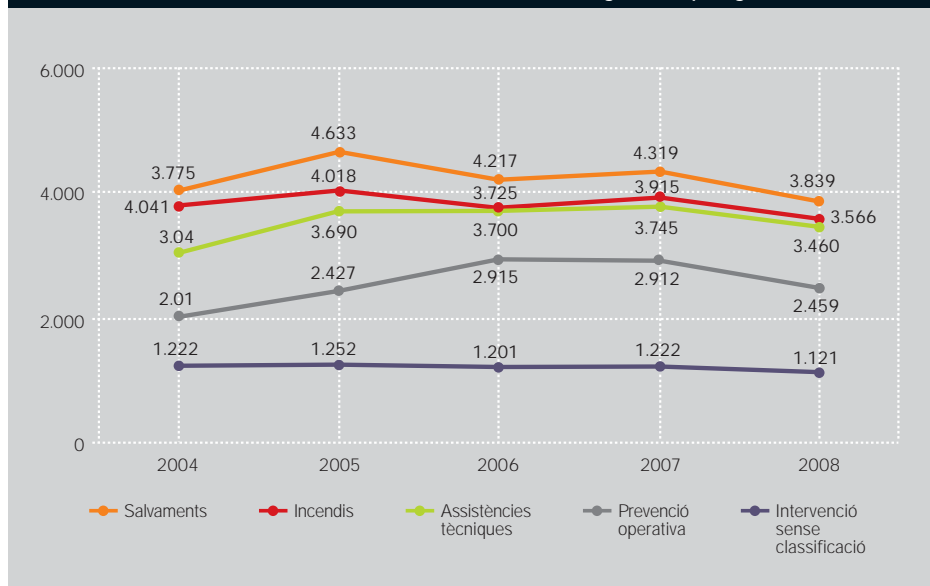
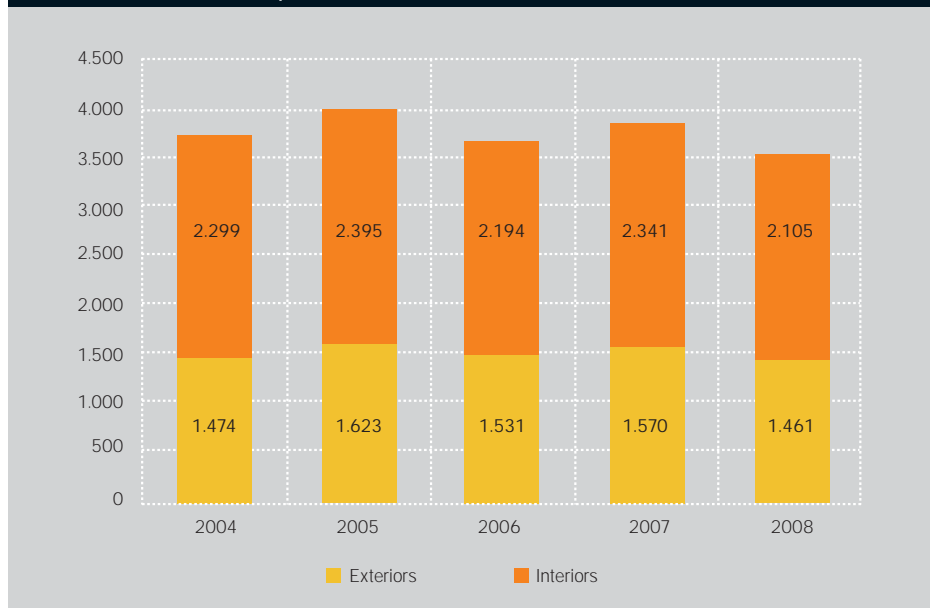
BOMBERS DE BARCELONA

L'Ajuntament de Barcelona disposa del Servei de Prevenció, Extinció d'Incendis i Salvament, que assumeix la resolució de les emergències i gestiona els aspectes de prevenció del risc i protecció civil dins el seu terme municipal.

L'escenari d'intervenció en incendis a Barcelona està directament relacionat amb els canvis d'entorn de risc. Els indicadors més rellevants dins el global d'actuacions en un any s'ajusta a la figura 2.1.

Segons un estudi dels Bombers de Barcelona sobre l'evolució dels seus serveis entre els anys 2004 i 2008, les actuacions en incendis representen un 25% respecte del total. D'aquestes actuacions, aproximadament el 40% són en espais interiors i el 60%, en espais exteriors, tal com es pot apreciar a la figura 2.2.

La figura 2.3 mostra la classificació dels incendis segons els usos de l'establiment o l'element objecte d'intervenció.

FIGURA 2.1. Intervencions dels Bombers de Barcelona segons la tipologia**FIGURA 2.2.** Actuacions per incendis exteriors i interiors

Bombers de Barcelona té establert per procediment intern l'obligatorietat de redactar informes d'intervenció, que sempre ha d'elaborar el comandament de més alta graduació i ha d'incloure la informació següent:

- identificació del sol·licitant del servei amb les dades bàsiques d'hora de recepció i temps de gestió;
- identificació del lloc de la intervenció;
- identificació dels recursos humans i materials que hi han intervingut, amb l'especificació de l'hora en què s'han activat i l'hora en què han arribat al lloc de la intervenció;

- descripció de la situació a l'arribada al lloc;
- descripció de la intervenció realitzada;
- possibles causes;
- danys materials i humans si n'hi ha;
- altres observacions rellevants.

FIGURA 2.3. Intervencions durant el 2008 en extinció d'incendis segons l'ús de l'establiment o de l'element objecte de la intervenció

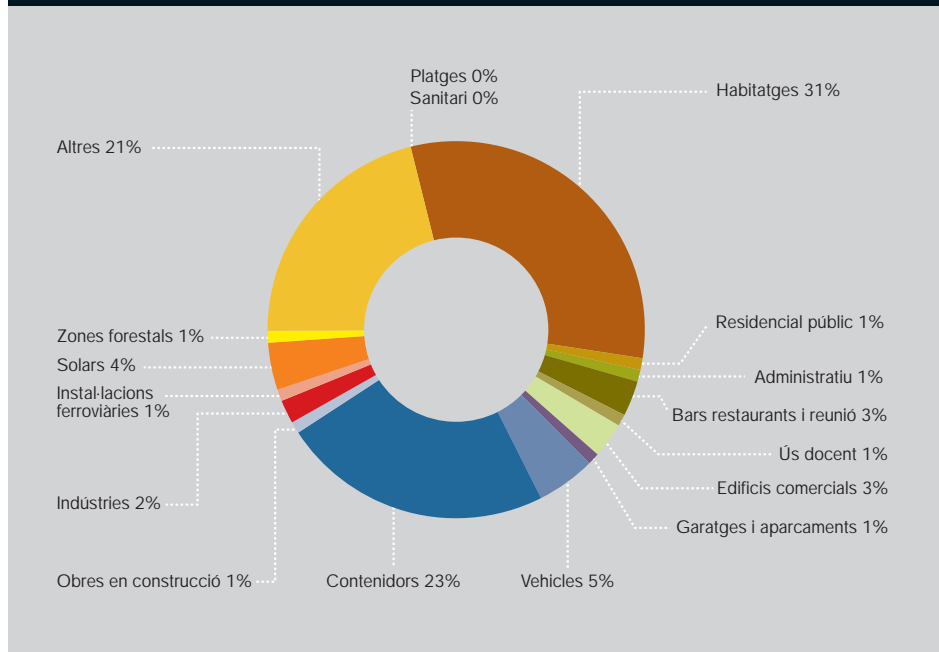
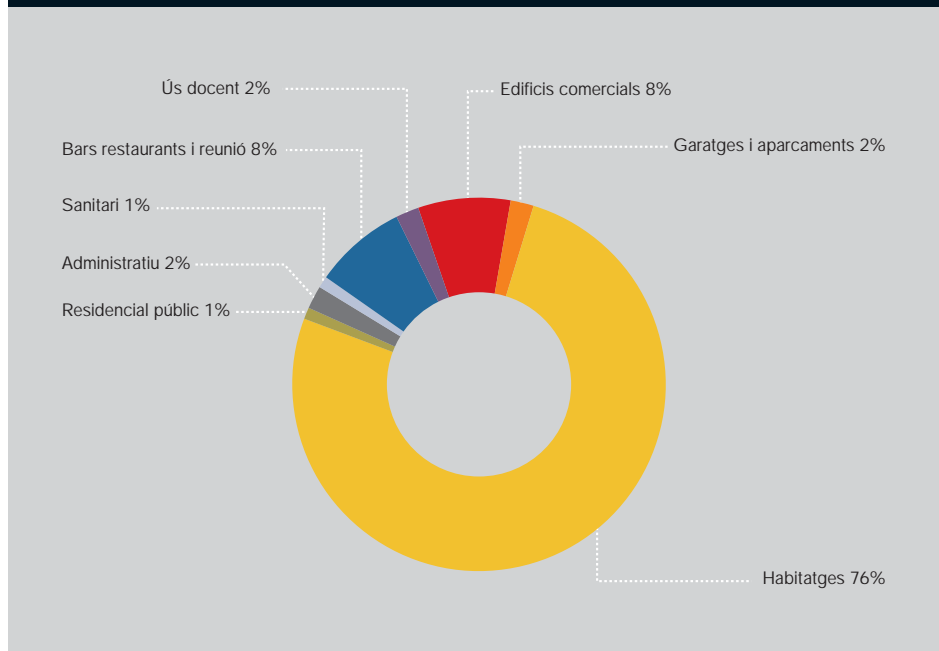


FIGURA 2.4. Intervencions durant el 2008 en extinció d'incendis en espais a l'interior d'establiments



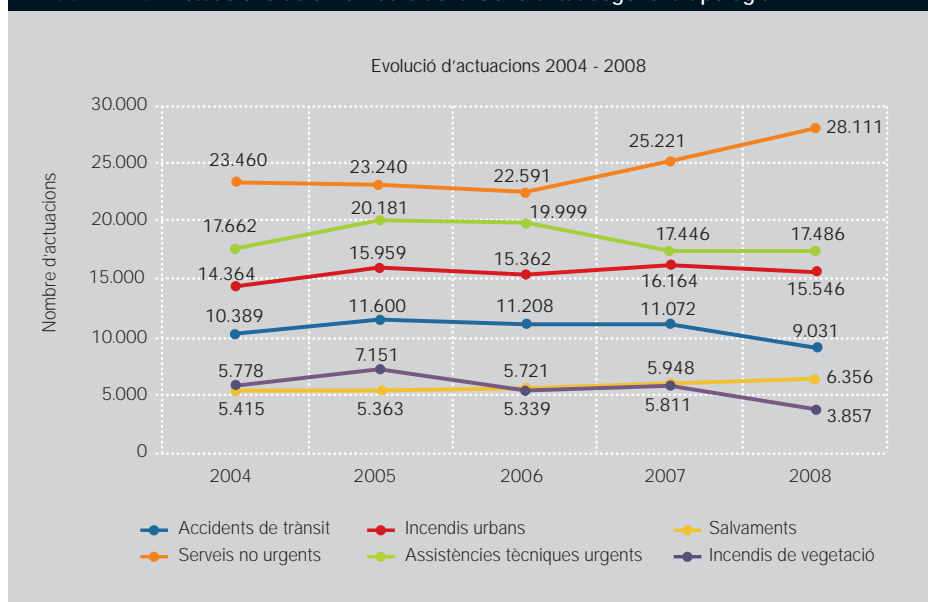
Els Bombers de Barcelona en les seves actuacions interactuen amb altres agents, que es detallen tot seguit.

- **Dins de l'àmbit municipal**
A criteri del cap de guàrdia, els informes d'intervenció es comuniquen a les gerències dels districtes o bé als organismes de l'Administració municipal i/o autonòmica que els afectin directament (serveis socials municipals, Secretaria d'Indústria i Empresa de la Generalitat...).
- **Judicatura**
Com a conseqüència de les diligències obertes a la judicatura, hi ha peticions dels informes d'intervenció per aportar-los als expedients judicials corresponents.
- **Cossos policials**
En aquest cas, el cos de Mossos d'Esquadra incorpora ordinàriament de les seves diligències l'informe d'intervenció dels Bombers de Barcelona.
- **Particulars**
Qualsevol ciutadà/ana del municipi pot sol·licitar un certificat amb la transcripció literal de l'informe d'intervenció, normalment per justificar l'incident davant de les companyies d'assegurances.

BOMBERS DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA

Les actuacions del cos de Bombers de la Generalitat en el territori de Catalunya, exceptuat el terme municipal de Barcelona, suposen l'escenari d'intervencions que reprodueix la figura 2.5 per al període de 2004 a 2008, agrupades per conjunts rellevants. Les corresponents a incendis representen un 25% respecte de les totals.

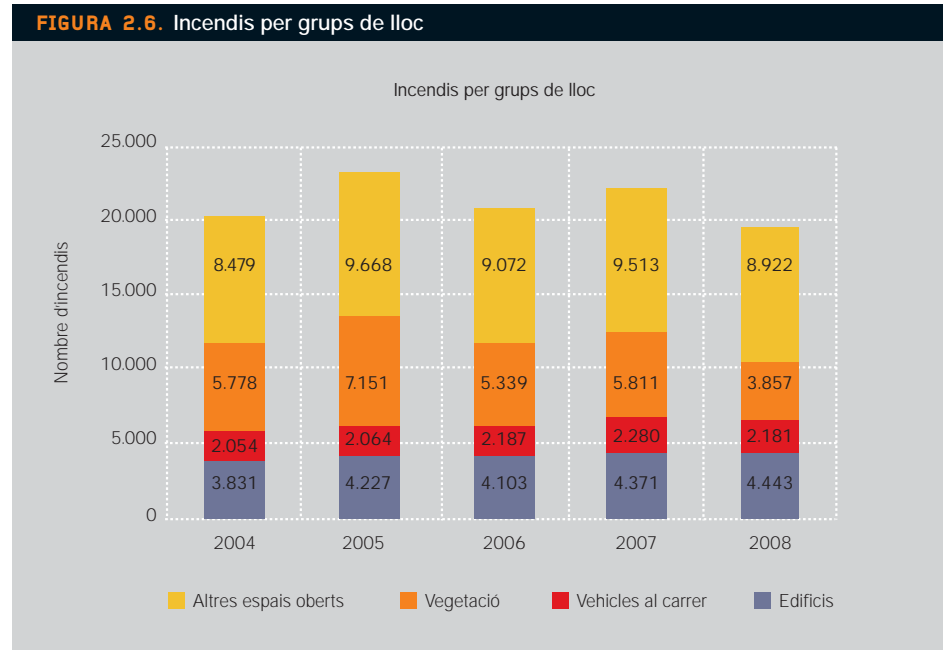
FIGURA 2.5. Actuacions dels Bombers de la Generalitat segons la tipologia



Aquestes intervencions d'incendi, desglossades en grups de lloc (edificis, vehicles al carrer, vegetació i altres espais oberts), estan representades a la figura 2.6.

El sistema digitalitzat de les dades que actualment es recullen per a cada alarma i/o intervenció del cos de Bombers de la Generalitat permet una explotació detallada en

concordança amb els paràmetres introduïts; d'aquests, els que es relacionen amb la investigació d'incendis i explosions corresponen a dades per grups d'actuació i tipus de sinistre.



Així per exemple en els tres gràfics següents es mostra l'evolució, acumulada per mesos, de les actuacions per incendi en habitatges (IH), en indústria i/o magatzems (IM), i en altres edificacions (IE) en aquest mateix període de temps 2004-2008.

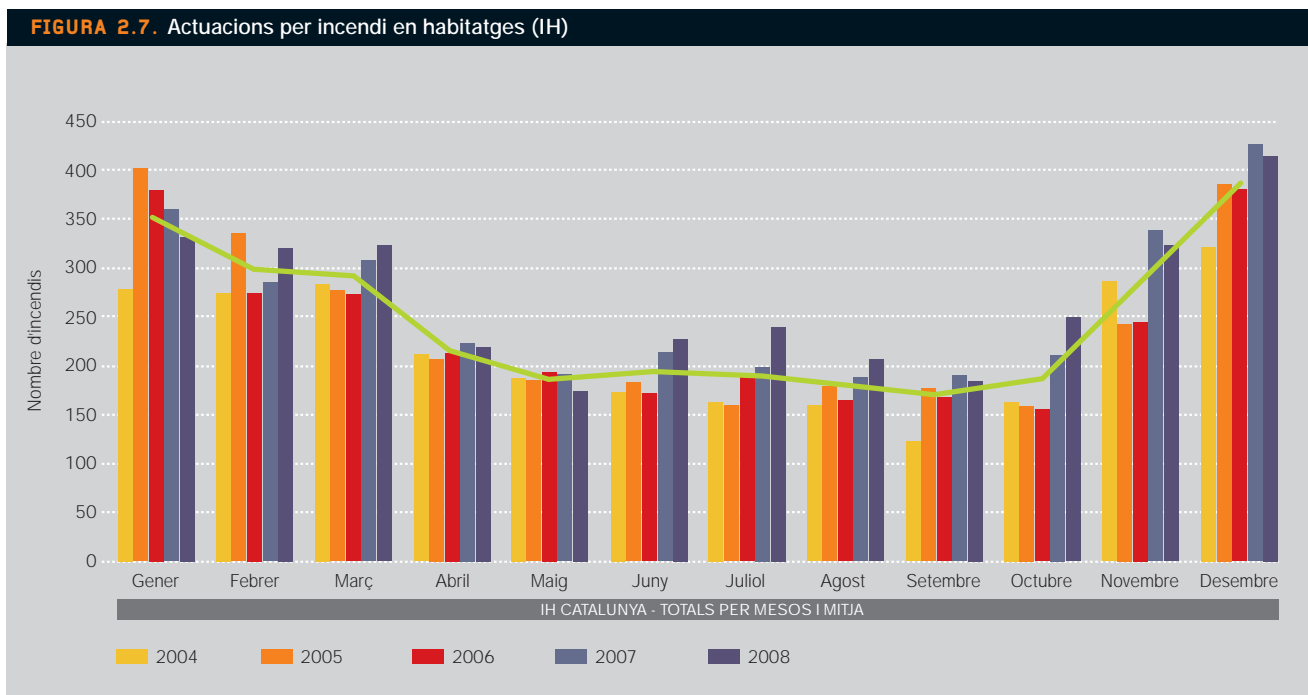
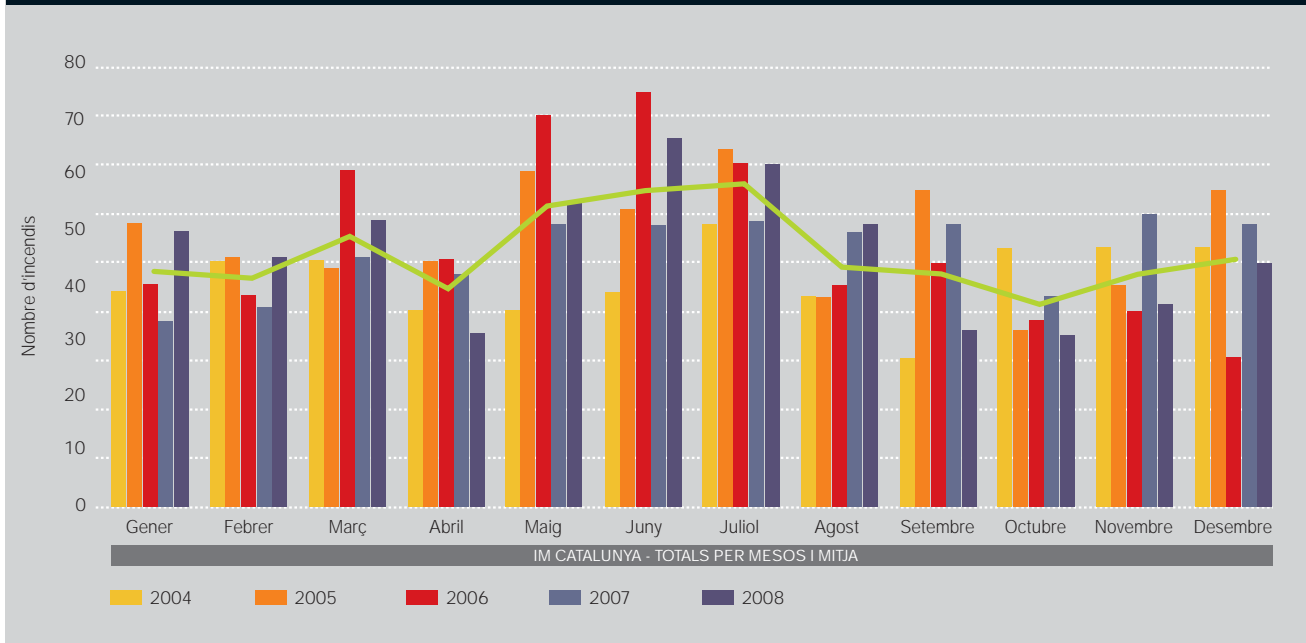
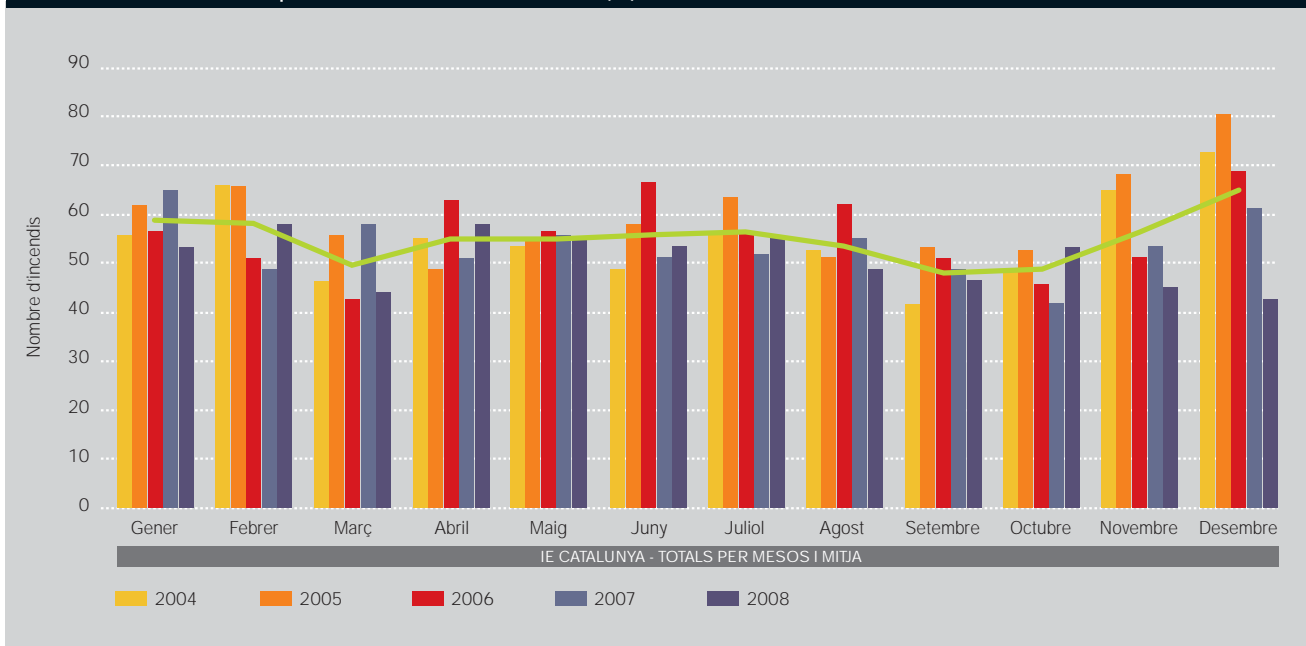
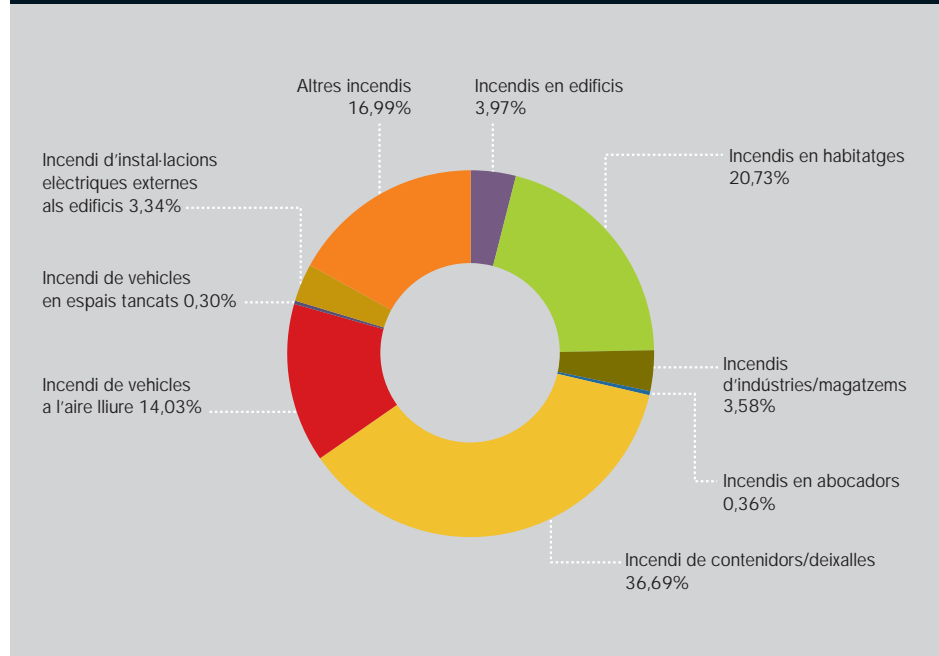


FIGURA 2.8. Actuacions per incendi en indústria i/o magatzems (IM)**FIGURA 2.9.** Actuacions per incendi en altres edificacions (IE)

Les actuacions per incendi de l'any 2008 suposen un total de 19.403. D'aquest total, un 80% correspon a l'àmbit urbà (15.546). A la figura 2.10 es mostren detallats els tipus d'incendis urbans de l'any 2008.

Durant l'exercici de 2009 s'ha implantat en part del territori, de forma experimental, la recollida sistemàtica de les dades. Quan els sinistres tenen certa rellevància o magnitud, la investigació es deriva a uns equips especialistes del mateix cos de Bombers, que recullen més informació.

FIGURA 2.10. Intervencions durant el 2008 en extinció d'incendis urbans segons l'ús de l'establiment o de l'element objecte de la intervenció



Els formularis utilitzats, juntament amb els índexs de classificació de les dades que els desenvolupen, han estat adaptats de les normes NFPA-901, NFPA-902 i altres de vinculades, que aporten una visió de conjunt homogeni i suficientment ampli per a la seva explotació en els diversos col·lectius o sectors implicats.

PÈRITS TAXADORS DESIGNATS PER LES COMPANYIES ASSEGUADORES

Quan una companyia asseguradora ha de cobrir els danys d'un sinistre d'aquest tipus, és habitual que faci també una investigació per la seva banda. Les companyies asseguradores i els pèrits que actuen en nom seu es regeixen per la Llei de contracte d'assegurança¹² i la Llei d'ordenació i supervisió de les assegurances privades.¹³ La primera llei dictamina com ha de ser l'actuació de les asseguradores i els pèrits després d'un sinistre i estableix les obligacions de cada part, els terminis de comunicació, la forma de tramitar el sinistre, etc. La segona llei fixa, entre d'altres, com ha de ser un dictamen pericial i de quines parts es compon.

En la investigació realitzada per la pròpia companyia a través d'un pèrit taxador d'assegurances, o per personal tècnic especialitzat, es comprova si el risc està assegurat, les cobertures afectades i, en la mesura del possible, la determinació de la causa i si el causant ha estat el propi assegurat o no. Però, s'ha de distingir entre les funcions del pèrit taxador i el pèrit investigador tècnic de causes.

En la pràctica, el pèrit taxador elabora el dictamen pericial, d'acord amb el que estableix la Llei d'ordenació i supervisió de les assegurances privades. Aquest dictamen consta dels apartats següents:

¹². Llei 50/1980, de 8 d'octubre (BOE núm. 250, de 17 d'octubre de 1980).

¹³. Llei 30/1995, de 8 de novembre (BOE núm. 268, de 9 de novembre de 1995).

- a) Comprovació de la naturalesa i descripció del risc
- b) Comprovació de les cobertures
El pèrit taxador les comprova mitjançant l'estudi del contracte d'assegurança (condicions generals i particulars), la qual cosa li permet acceptar o rebutjar el sinistre. També verificarà l'existència o no de les clàusules següents:
 - revaloració automàtica
 - franquícies
 - compensació de capitals
 - tolerància en l'aplicació de la regla proporcional
 - capital preventiu
 - assegurança flotant
 - modalitat que contracta el capital assegurat
- c) Establiment de la causa
En cas necessari la companyia asseguradora pot requerir els serveis d'un pèrit investigador tècnic de causes. És molt important establir en la peritació:
 - la causa
 - el causant (possible subrogació)
 - mesures adoptades per l'assegurat/ada
 - les afectacions (pròpies i de tercers)
- d) Valoració dels béns afectats
El pèrit taxador ha de verificar si tot el reclamat és imputable al sinistre, ja que en cas contrari, ho rebutjarà. S'ha de fer una valoració per cada article afectat de la pòlissa.
- e) Comprovació de la preexistència
Es verifica si el capital existent abans del sinistre es corresponia amb l'assegurat en la pòlissa; en cas que la suma assegurada en cada article sigui inferior, i una vegada aplicada —si n'hi ha— la compensació, podria ser d'aplicació la regla proporcional.
- f) Proposta d'indemnització
Un cop verificats tots els apartats anteriors, el pèrit ha de calcular la indemnització a fi de presentar-ne una proposta numèrica, la qual es calcula en funció de la documentació complementària que pot sol·licitar el pèrit o la companyia:
 - compareixença judicial
 - denúncia davant la policia, Guàrdia Civil, policies autonòmiques o municipals
 - reclamació escrita dels tercers afectats
 - certificat meteorològic expedit per un organisme oficial o si escau per l'ajuntament, club nàutic, etc.

Pel que fa a la investigació d'incendis i explosions la pràctica habitual comporta alguna de les situacions següents:

- Quan es tracta de casos de poca importància es solucionen amistosament entre el pèrit taxador de la companyia asseguradora i l'assegurat/ada. Aquesta tasca de mediació mai no l'ha de portar a terme el pèrit investigador de causes, sinó en exclusiva el pèrit taxador.
- Si el sinistre té certa importància o implicacions especials (possible responsabilitat civil, possibles causes no garantides, etc.), els pèrits investigadors de causes són nomenats amb posterioritat.
- En molts casos, la companyia asseguradora, amb la finalitat de reduir els costos, no contracta cap investigador de causes i assumeix aquesta funció el pèrit taxador. Aquest fet provoca que, en determinats casos, hi hagi un desconeixement real sobre la causa de l'incendi i del seu desenvolupament i, com a conseqüència, existeix una inseguretats respecte a la responsabilitat dels fets.

Segons el que s'ha esmentat anteriorment amb relació a la designació de pèrits per a la taxació dels danys, la missió d'aquests hauria de quedar circumscrita a les següents tasques:

- valorar els danys produïts pel sinistre d'acord amb les condicions generals, especials i particulars de la pòlissa;
- analitzar les circumstàncies que influeixin en la determinació de la indemnització;
- reflectir en una acta conjunta el resultat de les seves intervencions i la proposta de l'import líquid de la indemnització.

La realitat evidencia que la seva gestió és molt més àmplia i en absolut limitada al camp de la valoració o taxació pròpiament dita, ja que a més acostumen a manifestar-se sobre qüestions molt més importants i que poden ser decisives, no només per a fixar la indemnització, sinó també per a definir l'existència o no de cobertura, sigui total o parcial, i fins i tot de responsabilitats penals.

Això, sens dubte, representa un aspecte a resoldre pel que fa a la investigació de les causes, ja que els pèrits taxadors s'haurien de centrar més en les labors de taxació pròpiament dites:

- valoració de preexistència
- valoració de danys
- valoració de salvament per a cadascun dels articles afectats

INVESTIGADORS TÈCNICS DE CAUSES I ALTRE PERSONAL TÈCNIC ESPECIALITZAT

Un investigador tècnic de les causes i els orígens d'incendis és un pèrit que ha d'atendre i tenir present un camp multidisciplinari. A causa de la confusió que es genera a l'hora d'acceptar un pèrit investigador d'incendis és convenient transcriure textualment el que s'estableix en l'article 340.1 de la Llei d'enjudiciament civil (LEC):

«Los peritos deberán poseer el título oficial que corresponda a la materia objeto del dictamen y a la naturaleza de éste.»

Efectivament, el pèrit és expert en alguna matèria o ciència, l'activitat del qual és vital en la resolució de conflictes. L'actuació del pèrit investigador pot ser de dos tipus:

- per designació com a pèrit judicial o nomenat judicialment.
- per designació o nomenament per alguna de les parts afectades o companyies asseguradores.

En els dos casos els investigadors exerceixen una important influència en la resolució judicial i podrien arriscar la seva titulació, ofici i prestigi pel fet de no actuar amb l'adequada ètica professional. El pèrit ha de tenir certificada i reconeguda la seva professionalitat.

L'elecció, doncs, del tècnic competent que hagi d'actuar com a pèrit investigador de causes mereix, en general, una gran atenció, atesa la notable importància que per a l'esclariment de les causes i delimitació de responsabilitats pot suposar la contractació d'un investigador amb els majors coneixements i la millor fermesa per a defensar els seus punts de vista en cas de divergències amb els punts de vista de la part contrària.

La finalitat de les actuacions que tenen encomanades són, principalment:

- determinar les causes i l'origen del sinistre
- determinar les causes del desenvolupament del sinistre

Quan el pèrit investigador dedica la seva atenció, temps i coneixements —i ha de fer-ho sense estalviar esforç— a la concreció de l'origen, causa i desenvolupament del sinistre, està realitzant la tasca més important, ja que això determinarà l'existència o no de responsabilitats, és a dir: està en joc l'aclariment de la realitat dels fets i, al mateix temps, l'existència o no de responsabilitat civil o penal. És evident que el pèrit taxador no pot dedicar simultàniament els seus esforços a la taxació per a les indemnitzacions i al mateix temps investigar les causes del sinistre, per tant aquesta tasca cal assignar-la a un especialista en investigació de causes d'incendi.

D'altra banda, i tenint en compte que cadascuna de les parts acostuma a escollir un investigador de causes, és cada vegada més habitual que en sinistres de grans proporcions intervinguin altres professionals experts en algun camp específic, com per exemple especialistes elèctrics, laboratoris de comportament al foc, laboratoris d'anàlisi de productes químics, laboratoris de microscòpia electrònica, etc.

Pel que fa a la concurrència de companyies asseguradores, quan es produeix un sinistre acostumen a presentar-se diversos supòsits, tenint sempre en compte que el particular afectat pot també contractar un investigador de part. Aquests supòsits poden ser els següents:

- que no hi hagi contracte amb cap companyia asseguradora: el particular pot ser que designi un pèrit investigador de part;
- que hi hagi una sola companyia asseguradora: la companyia asseguradora designa un pèrit investigador;
- que hi hagi dues o més companyies asseguradores: les companyies asseguradores contracten un pèrit investigador cadascuna, o bé per acord assumeixen el mateix investigador.

TRIBUNAL DE JUSTÍCIA

ACTUACIONS JUDICIALS

Entre totes aquestes actuacions, fins ara comentades, dels diferents agents que intervenen en la investigació d'un incendi o una explosió, hi trobem també les dels jutjats i tribunals.

Un cop s'han realitzat les investigacions, pot donar-se un dels supòsits següents:

- a) que hi hagi acord entre les parts respecte a la causa i les circumstàncies;
- b) que hi hagi desacord respecte a les circumstàncies;
- c) que hi hagi indicis de responsabilitat penal.

ACORD ENTRE LES DUES PARTS

Aquest supòsit no comporta cap més actuació.

DESACORD RESPECTE A LES CIRCUMSTÀNCIES

Si alguna de les parts interposa una demanda, hi haurà un procediment civil en el qual serà fonamental la intervenció dels pèrits nomenats per cadascuna de les parts, i és possible també que el mateix tribunal designi un pèrit judicial. Aquests, a més d'emetre un dictamen per escrit, poden ser citats a l'acte del judici per tal de fer els aclariments que siguin oportuns.

També poden ser citats els membres de la policia científica o bombers que han intervingut en la investigació.

Les parts, representades pels seus lletrats, poden sol·licitar:

- explicació del dictamen o d'algun o alguns dels seus punts, el significat dels quals no es considera suficientment clar a l'efecte de la prova;
- exposició d'aspectes complementaris del dictamen, respecte d'altres documents, instruments o materials annexats a l'escrit aportat;
- respostes a preguntes i objeccions;
- respostes a sol·licituds d'ampliació del dictamen i d'altres punts conexas;
- crítica del dictamen del pèrit de la part contrària;
- formulació de les taxes que poguessin afectar el pèrit.

El tribunal pot també formular preguntes als pèrits i demanar-los explicacions sobre el que sigui objecte del dictamen aportat.

A l'article 300 de la LEC s'estableix l'ordre de la pràctica dels mitjans de prova, tret que el tribunal, d'ofici o a instància de part, acordi un altre ordre diferent. Així, les proves s'han de practicar en el judici per l'ordre següent:

- interrogatori de les parts;
- interrogatori dels testimonis;
- declaracions de pèrits sobre els seus dictàmens o presentació d'aquests, quan excepcionalment s'hagin d'admetre en aquest moment;
- reconeixement judicial, quan no s'hagi de portar a terme fora de la seu del tribunal;
- reproducció davant el tribunal de paraules, imatges i sons captats mitjançant instruments de filmació, enregistrament i altres semblants.

La part interrogada ha de respondre, sense utilitzar cap esborrany de respostes, encara que se li permet consultar documents, notes o apunts, quan segons el parer del tribunal siguin convenients per auxiliar a la memòria.

Finalment el tribunal haurà de valorar els dictàmens pericials i emetre sentència.

INDICIS DE RESPONSABILITAT PENAL

Si existeixen indicis de responsabilitat penal, el jutge d'instrucció del partit judicial que correspongui i que estigués de guàrdia el dia dels fets iniciarà un procediment penal.

Aquest procediment servirà per investigar els fets i forçosament s'haurà d'acabar amb una resolució judicial fonamentada, que podrà ser una interlocutòria d'arxiu, si no hi ha proves suficients per formular acusació contra persona o persones determinades, o d'obertura del judici oral en els casos dels articles 266 i 357 del Codi penal, els quals comporten un procediment abreujat; o bé de processament si el jutge considera que l'incendi ha suposat un perill per a la vida o la integritat física de les persones (article 351 CP), en aquest cas es tractaria d'un sumari o procediment comú ordinari.

En els dos últims supòsits, es realitzarà un judici oral.

A l'article 701 de la LEC s'estableix que les proves es practicaran segons l'ordre en què hagin estat proposades als escrits de conclusions provisionals de les parts, encara que el tribunal, d'ofici o a instància de part, pot alterar aquest ordre si ho considera necessari per descobrir la veritat.

CONSIDERACIONS LEGALS I TIPUS DE PROVES

Durant la investigació d'un incendi s'ha d'utilitzar una metodologia que tingui suficient base tècnica o científica per obtenir-ne unes conclusions, plasmar-les en els informes corresponents i que puguin mantenir-se després de ser sotmeses a contraperitacions o exàmens posteriors.

Bàsicament hi ha tres tipus de proves: demostratives, documentals i testimonials que es detallen a continuació.

PROVES DEMOSTRATIVES

Són proves de les quals es pot extreure una important primera impressió mitjançant la vista, el tacte, l'olfacte o l'oïda. Els investigadors han de verificar les proves demostratives i establir una cadena de custòdia.

Els plànols, croquis, assaigs, anàlisis i simulacions són proves generalment admissibles perquè es basen en representacions bastant exactes del que l'investigador vol descriure.

Alguns dels plànols o croquis que s'acostumen a incloure en els informes són:

- plànol de localització
- croquis general d'afectació
- croquis de la zona d'origen
- croquis de l'evolució de l'incendi
- plànol amb la situació amb la qual s'han pres les fotografies

Les fotografies i els vídeos es consideren la forma gràfica del testimoni oral i s'admeten com a tal quan el testimoni ha declarat que són representacions correctes i exactes de fets importants que ell mateix havia observat.

L'investigador, per mitjans propis, haurà de localitzar, recollir, identificar, emmagatzemar, examinar i preparar els assaigs de les proves físiques, és a dir, qualsevol objecte físic o tangible que pugui demostrar o descartar un fet, circumstància o hipòtesi. L'investigador haurà de concretar quin és el problema principal a resoldre i la finalitat de la investigació per a poder decidir quines proves s'han de presentar a un laboratori o organisme d'assaigs per al seu examen i estudi, o per aprovar o rebutjar un fet o una hipòtesi. Aquesta decisió es pot basar en l'abast de la investigació, les exigències o les prescripcions legals, o la delimitació de la responsabilitat.

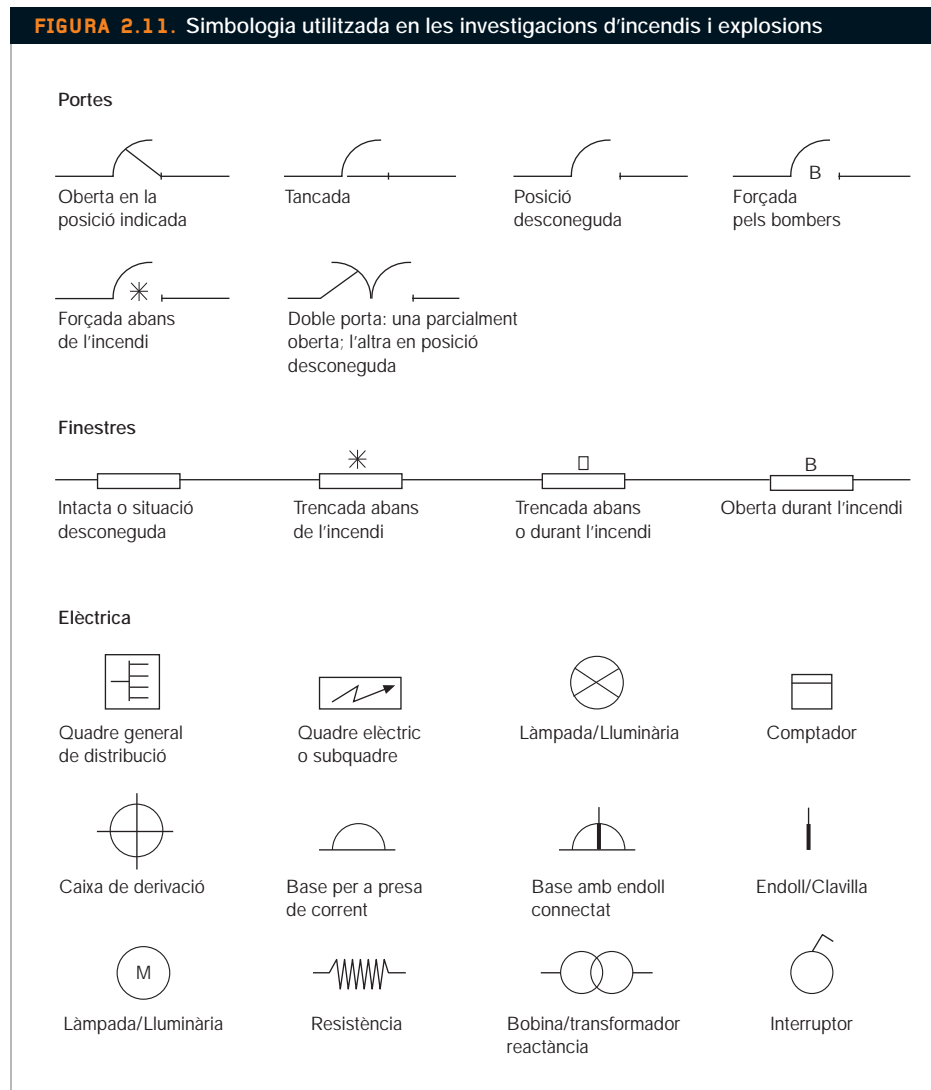
En alguns casos poden haver-hi defectes de forma o de procediment quan s'utilitzen mètodes inadequats de recollida, emmagatzematge o transport de les proves, i que poden haver alterat les circumstàncies reals del sinistre. Aquests defectes anul·laran el valor probatori de dita prova i es podran utilitzar per desvirtuar-ne el valor.

PROVES DOCUMENTALS

Són proves en forma escrita, com per exemple, informes i actes de l'investigador, actes notarials, l'informe de l'incident del sinistre, etc.

PROVES TESTIMONIALS

Són les obtingudes dels testimonis quan estan sota jurament o promesa de dir la veritat.



MEDICINA FORENSE

La intervenció de la medicina forense es du a terme fonamentalment en dos situacions: víctimes lesionades i cadàvers.

L'existència de víctimes mortals implica l'actuació del metge forense judicial com a mort sobtada i violenta, situació que per si mateixa origina l'obertura d'unes diligències prèvies judicials en l'àmbit penal.

El metge forense actualment pertany als instituts de medicina legal de cada autonomia i està adscrit o assignat a cada jutjat. En alguns llocs hi ha equips específics que efectuen les autòpsies que requereixen una determinada especialitat.

L'examen del cadàver s'inicia en el lloc de l'incendi i dins de l'estudi de l'escenari on es localitza. Cal recordar que l'autòpsia s'inicia amb l'aixecament del cos, és a dir el metge forense, conjuntament amb la comitiva judicial i els cossos de seguretat adients, determinen el lloc, la posició i el context de la trobada del cadàver, als efectes de traslladar i correlacionar les troballes autòpsiques que es puguin fer.

La primera acció del forense serà orientar la identitat del cos, es tracta d'una tasca multidisciplinària en funció de l'estat del cos.

La segona prioritat del forense serà establir si la causa de la mort deriva de l'acció de l'incendi, la intoxicació per gasos o fum, o si bé la persona ja era morta abans de l'incendi.

L'autòpsia es desenvolupa de forma reglada amb els protocols establerts i a les seves conclusions ha d'incloure dades tan importants com:

- signes en l'arbre respiratori d'inhalació de fum a les vies respiratòries altes i baixes (sutge);
- fractures patològiques derivades de l'acció de les flames o l'escalfor;
- determinacions toxicològiques que orientin a la intoxicació per monòxid de carboni o altres gasos tòxics de possible alliberació pels combustibles participants de l'incendi.

La finalitat d'una autòpsia és delimitar si la causa de la mort és violenta o no. En el context dels incendis cal aprofundir en totes les causes i alteracions cadavèriques que puguin orientar sobre les característiques de l'incendi.

És important la descripció de les lesions cutànies i el seu abast i distribució en el cos de la víctima. És d'utilitat que es reflecteixi el percentatge de superfície total afectada, que és una mesura habitual d'ús clínic i permet extrapolar situacions d'interès a la reconstrucció.

Els diferents tipus de cremades s'estableixen en relació amb l'agent tèrmic i la seva exposició. Les cremades poden ser:

- de primer grau, que són superficials i produeixen enrogiment i hipersensibilitat a la pell;
- de segon grau, que afecten l'epidermis i el derma i que provoca butllofes;
- de tercer grau, que afecten tot el gruix de la pell i els annexos (ungles);
- de quart grau, que provoquen carbonització dels teixits, amb destrucció de la pell i el teixit subcutani.

Si a la inspecció del lloc de l'incendi es sospita la presència de substàncies tòxiques o determinats accelerants, es pot demanar que es determini en estudis toxicològics del cadàver mitjançant l'espectrofotocromatografia de gasos i tècniques afins.

En la víctima lesionada poden intervenir el metge forense judicial, si existeixen diligències prèvies o denúncia dels fets davant de l'autoritat judicial per la via penal, o bé els pèrits metges designats tant pels afectats com per les companyies asseguradores que hi intervinguin.

Aquests pèrits habitualment valoren els danys personals aplicant el sistema per a la valoració dels danys i perjudicis causats a les persones en accidents de circulació, ja que permet valorar les indemnitzacions de forma objectiva i, malgrat estar dissenyat per als accidents de trànsit, les seves característiques són òptimes per emprar-lo en qualsevol tipus de reclamació judicial i és un referent per a tots els àmbits jurídics del nostre entorn.

En la investigació d'incendis cal sol·licitar que aquests exàmens siguin exhaustius i orientats com a reconstrucció, perquè l'exploració mèdica ha de ser més acurada i descriptiva. Cal conèixer la distribució de les lesions per determinar si han estat derivades del contacte amb la flama o derivades d'una deflagració i per conèixer la situació de la persona lesionada en el context de l'incendi.

Caldrà discriminar les cremades per contacte que permeten identificar l'objecte que la produeix i valorar totes les circumstàncies locals que hi puguin intervenir, com poden ser les cremades químiques per substàncies inflamables i/o corrosives (àcid sulfúric, bases fortes, fòsfor, etc.).

Una característica de les cremades químiques és la possibilitat que la pell aparentment es manté íntegra i hi hagi necrosi subjacent (treballadors manuals es presenten amb callositats que són manifestacions de cremades per productes bàsics i sota la pell hi ha necrosi subcutània).

Davant la possibilitat d'incendis provocats cal revisar i aprofundir el resultat de les autòpsies en cas de víctimes normals i sol·licitar la determinació de tòxics en el cadàver.

A les persones lesionades, cal revisar les lesions que presenten, la distribució en el cos i també les causes.

CAPÍTOL 3

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓ

La investigació d'un incendi o d'una explosió és un acte que requereix habilitats, tecnologia, coneixement i ciència. La recopilació i l'anàlisi de dades s'han de dur a terme de la forma més objectiva i sincera possible. La metodologia bàsica de la investigació d'incendis i explosions ha de comptar amb una aproximació sistematitzada, com per exemple el mètode científic, així com l'atenció en tots els detalls rellevants.

En aquest capítol s'explica com dur a terme una investigació d'aquest tipus de forma genèrica.¹⁴

A mesura que un investigador es va especialitzant en la investigació de les causes i els orígens dels incendis, es va familiaritzant amb tot el que s'hi refereix i aquest coneixement hauria d'arribar a tal grau d'identificació que, en observar l'escenari d'un sinistre, pogués impressionar i reproduir en la ment com devia estar tot l'escenari de la zona on es va originar l'incendi, abans del seu inici, és a dir, reproduir l'escenari del lloc, el mobiliari, decoració, falsos sostres, materials diversos que hi hagués a la zona, magatzem, habitacions, etc. Per això és de gran utilitat l'examen i reconeixement de les restes en qualsevol fase d'afectació, és a dir, des de les restes sense afectació i que, per tant, se'n pugui conèixer la naturalesa, estat d'ús, antiguitat, grau de combustibilitat, etc., fins a les restes carbonitzades o en cendres, a través de les quals s'hauria de ser capaç d'identificar la naturalesa dels materials i el seu probable ús abans de la seva destrucció per la combustió.

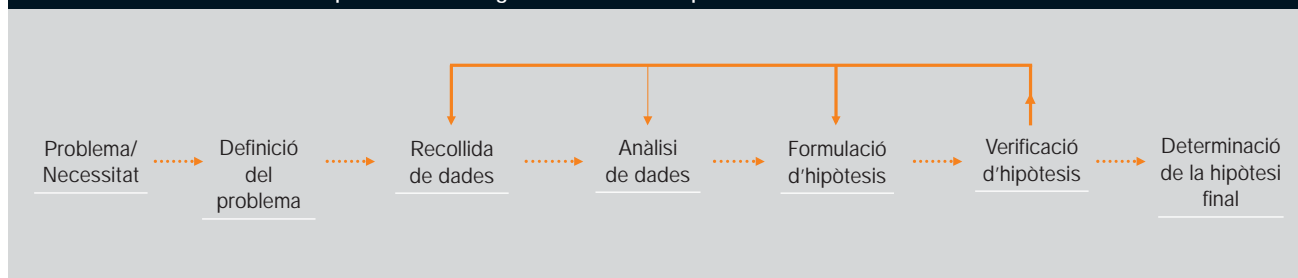
L'interès específic per als diferents agents implicats en una investigació d'un incendi o una explosió és, en determinats casos, diferent:

- l'estudi d'un incendi des del punt de vista dels bombers es centra generalment en quin ha estat el desenvolupament de l'incendi;
- els especialistes en investigació de la policia científica tenen com a finalitat principal saber si hi ha intencionalitat darrere d'un sinistre;
- en el cas d'investigadors de causes designats per les companyies asseguradores, la finalitat és la de delimitar les responsabilitats del sinistre.

Independentment del que s'ha comentat, hi ha un patró genèric en totes les investigacions, quan s'aplica el mètode científic. Aquest mètode científic és un principi que s'estableix per tal de legitimar els processos d'investigació d'incendis o explosions.

Usar aquest mètode científic en les investigacions d'incendis o explosions implica les etapes que consten en la figura 3.1.

14. Hi ha algunes guies de referència, com el Manual nòrdic sobre la investigació de causes d'incendi (2009) o la Guia de camp de l'Associació Nacional de Protecció contra el Foc (NFPA; Custer, 2006).

FIGURA 3.1. Mètode científic aplicat a la investigació d'incendis i explosions

L'investigador ha de definir com resoldrà el problema: s'ha de realitzar una investigació adequada de l'origen i la causa de l'incendi.

La recollida de dades que poden constituir alguna prova es fa mitjançant l'observació, experimentació o altres sistemes de recollida directa de dades. Aquestes s'anomenen dades empíriques.

INFORMACIÓ I CONSIDERACIONS PRÈVIES

A la notificació de l'encàrrec i comunicació del sinistre, s'ha de concretar a l'investigador quin ha de ser el seu paper i què s'espera d'ell (dictamen de causa, origen, informe, recomanacions, etc).

Per poder analitzar un sinistre no s'ha d'adoptar una opinió preconcebuda i s'han de valorar objectivament totes les possibles hipòtesis.

PROTECCIÓ DEL LLOC DE L'INCENDI I LES PROVES FÍSQUES

La presència de persones alienes a la investigació pot representar una pèrdua important d'indicis i empremtes, que en definitiva podria influir en l'alteració de l'escenari i que interferiria i dificultaria la investigació. El propi lloc de l'incendi es considera una prova física. Per això, l'examen i anàlisi d'aquest lloc és d'importància vital per establir l'origen, la causa i la responsabilitat de l'incendi.

La protecció de l'escenari de l'incendi començarà amb l'arribada dels bombers. D'altra banda, els bombers han de tractar d'evitar danys innecessaris.

Una protecció deficient de l'escenari del sinistre podria fer perdre el valor de prova. L'accés s'ha de limitar únicament a les persones legalment habilitades per ser allà o necessàries per a la investigació, com són policia científica, bombers, pèrits taxadors i pèrits investigadors d'incendis.

Algunes de les consideracions prèvies a tenir en compte abans de començar la investigació d'un determinat incendi són les següents:

- localització i entorn del lloc del sinistre
- data i hora en què es va produir
- finalitat de la investigació
- dimensions del sinistre
- magnitud dels danys causats
- possibles testimonis
- condicions atmosfèriques

- tipus d'edifici i instal·lacions
- activitat i/o usos de l'edifici i dels edificis veïns
- protecció de la zona
- prevenció del risc de les actuacions a desenvolupar en el lloc del sinistre
- equips, eines i instal·lacions necessàries
- planificació de recursos i de l'execució de la investigació
- tasques de desenrunament
- procedència dels subministraments energètics

INVESTIGACIÓ DEL LLOC DEL SINISTRE

INSPECCIÓ OCULAR: RECOLLIDA DE MOSTRES I INDICIS

Algunes consideracions a tenir en compte durant la investigació es relacionen a continuació.

- Mirar de trobar un escenari amb els mateixos o similars elements constructius al sinistrat, però sense afectació, proporcionarà molta informació sobre l'escenari abans de l'incendi.
- Per la posició dels pestells, manetes i frontisses, així com pels efectes de la calor i el fum, es pot identificar clarament la posició de portes i finestres durant l'incendi.
- Observar les acumulacions de combustibles de tot tipus que hi hagi a qualsevol àrea de la zona sinistrada i circumstàncies que poguessin cridar l'atenció per inusuals.
- Tenir en compte les tècniques que permeten delimitar el focus d'origen: con de calor, horitzó de fum, marques de protecció, penetració de la carbonització, estat de les cendres, pèrdua de resistència i fusió de metalls, etc.
- Buscar indicis o possibles causes que hagin pogut provocar aquest primer/s focus de calor una vegada centrat l'entorn de l'origen: elements elèctrics, equips de soldadura o eines que estiguessin actuant abans de l'incendi, mitjans d'extinció utilitzats, aparellatge elèctric manipulat, etc.
- Analitzar aquestes possibles causes o hipòtesis i, si és possible, intentar determinar si es descarten o es confirmen.
- Els senyals de fum en finestres i portes han d'indicar si va haver-hi vent i la seva força, així com el recorregut de l'incendi.
- Observacions dels elements constructius i materials, estructures i tancaments, com l'arrebossat i revestiments en general, guix en sostres i parets, formigó, etc. A causa de la dilatació per la pèrdua d'humitat interna del material, els tancaments i elements estructurals perden la seva adherència.
- Violència en les coses: diferenciar si ho van efectuar bombers, policies o d'altres després de l'incendi o bé desconeguts que van provocar l'incendi. L'estat en què es trobin els vidres podria donar una idea de quines van ser les circumstàncies prèvies al trencament de finestres.
- Revisar l'estat de les instal·lacions (electricitat, gas, climatització, aparells a pressió, etc.).
- Participar en el desenrunament dirigint les actuacions dels operaris i seleccionant possibles indicis.

De forma complementària, també cal tenir en compte durant la investigació les qüestions que es detallen tot seguit.

- Establir contacte amb afectats, usuaris de les instal·lacions, interessats, vigilants, veïns i llogaters, entre d'altres.
- Escoltar les converses en calent del públic i del veïnat, els treballadors, els llogaters. Tots parlen i «són protagonistes», diuen coses sobre l'edifici, les activitats, el tipus d'inquilins, les actuacions durant l'incendi, l'economia dels amos, hereus, socis i les seves situacions i relacions personals entre ells. Recopilar la informació que pot ser d'interès, anotar amb la màxima veracitat les referències i filtrar posteriorment les dades obtingudes.
- Vigilar els espontanis que volen ajudar i entrar en l'incendi i després desapareixen.
- Observar l'entorn, treure fotos de les zones més allunyades, el carrer, celoberts, buits d'escapes, accessos, tanques exteriors i d'altres espais contigus al sinistrat.
- Investigar sobre els mitjans de protecció contra incendis de l'edifici (sistemes de sectorització, comportament al foc dels materials, i protecció activa), així com sobre la implantació del pla d'autoprotecció/emergències.

ANÀLISI DE DADES I MÈTODES DE RECOLLIDA DE PROVES FÍSQUES¹⁵

Durant la investigació és molt probable que s'hagi efectuat una recollida d'indícis per a l'obtenció de dades complementàries que poguessin afegir informació sobre les circumstàncies del sinistre.

- Mostres d'origen elèctric. La recollida de mostres ha d'anar acompanyada de la localització en plànols i d'esquemes de la instal·lació; el trasllat de les mostres s'ha d'efectuar a laboratoris especialitzats.
- Recerca d'accelerants de la combustió: la recollida de mostres ha de seguir els protocols establerts per guies de prestigi reconegut i comporta la sol·licitud d'anàlisis a laboratoris o entitats especialitzades.
- Mostres per conèixer la combustibilitat i inflamabilitat dels materials: els resultats han d'anar acompanyats de reportatge fotogràfic o de vídeo dels estudis realitzats.
- Cadàvers o persones ferides: s'ha d'identificar sobretot l'estat i la ubicació de les cremades i el resultat forense.
- És fonamental efectuar un reportatge fotogràfic al més complet possible, on es pugui contemplar l'estat en què es va trobar l'escenari de l'incendi, així com totes les fases del desenrunament.
- S'ha d'efectuar una presa de dades exhaustiva per a l'elaboració de plànols i croquis sobre les circumstàncies del sinistre, processos productius i instal·lacions existents.

RECOLLIDA DE PROVES FÍSQUES

En determinades ocasions, durant el transcurs de la investigació de l'incendi, és necessari efectuar una recollida de diferents tipus de mostres i indícis (proves físiques) per al seu posterior estudi, anàlisi i/o assaig, amb la finalitat d'obtenir dades complementàries que puguin afegir informació sobre les circumstàncies del sinistre.

¹⁵ Capítol extret del monogràfic *Inspección ocular: pruebas y recogida de muestras* (Gavarró, 2007).

FIGURA 3.2. Un fusible al qual se li ha practicat el pont

DOCUMENTACIÓ DE LA RECOLLIDA DE PROVES FÍSQUES

Les proves físiques han de quedar perfectament documentades mitjançant notes, informes escrits, fotografies, plànols, croquis i diagrames amb mesures ajustades a la realitat. Les fotografies s'han de fer sempre abans que les proves físiques es moguin o s'alterin.

S'ha d'establir l'origen de les mostres, la seva posició, estat i relació amb la investigació. S'ha d'incloure també informació sobre la protecció jurídica de la prova (acta notarial, acta entre parts, acta policial, etc.).

Una vegada recollida la mostra, s'ha de sol·licitar un informe per escrit i firmat amb el resultat de les anàlisis i/o els assaigs.

En qualsevol cas s'ha de redactar una acta de recollida de mostres i depenent dels agents que hi intervinguin també cal:

- una acta notarial en el cas de la intervenció d'investigadors d'incendis legalment designats; o bé
- una acta administrativa en el cas de la intervenció d'investigadors d'incendis de l'Administració pública o per designació judicial.

RECOLLIDA DE PROVES PER A LA DETECCIÓ D'ACCELERANTS

Els accelerants líquids són fàcilment absorbits per la majoria dels elements estructurals, mobiliari, acabats interiors... per la qual cosa s'han d'investigar en detall les restes de l'incendi.

Per evitar la contaminació, l'investigador ha de portar guants de plàstic d'un sol ús quan vagi a recollir proves d'accelerants líquids o sòlids.

Un mètode alternatiu per limitar la contaminació durant la recollida és utilitzar com a eina el propi recipient.

S'han d'utilitzar eines noves per a la recollida d'accelerant líquid o sòlid, per evitar la contaminació, o bé assegurar-se d'una total netedat amb procediments adequats.

RECOLLIDA DE MOSTRES LÍQUIDES PER A ASSAIGS D'ACCELERANTS

En general els accelerants líquids floten en l'aigua i poden observar-se fins i tot reflectits a simple vista.

Si es pot, el líquid s'ha de recollir amb una xeringa, comptagotes, pipeta, amb el propi recipient o amb bastons de cotó estèril; seguidament cal guardar-lo en un contenidor hermètic i enviar-lo al laboratori per al seu examen i anàlisi.

RECOLLIDA DE PROVES LÍQUIDES ABSORBIDES PER MATÈRIES SÒLIDES

Els composts d'accelerants líquids tenen una gran capacitat de supervivència quan entren en contacte amb materials porosos com per exemple la fusta, els tèxtils, les juntes de rajoles, etc., perquè hi penetren.

Per a la recollida de matèries sòlides que han absorbit l'accelerant, es pot realitzar directament amb el recipient o tallant-les, serrant-les o raspant-les. Les vores, els extrems, forats, esquerdes, nusos i altres zones similars de la fusta, escaiola, pedra, rajoles, morter o fins i tot el formigó, són zones especialment bones per buscar-hi proves. L'accelerant líquid pot estar profundament absorbit. És convenient prendre mostres a la màxima profunditat.

RECOLLIDA DE MOSTRES GASOSES

Dos mètodes habituals per a detecció puntual de gasos són:

- Dispositius portàtils, els quals capten una mostra de l'atmosfera i la guarden en una cambra o l'absorbeixen a través d'un filtre de carbó o material absorbent. Es poden utilitzar tubs de mostra per captar hidrocarburs en l'aire, mitjançant una bomba de captació automàtica o manual, que estan especialment dissenyades per prendre tot tipus de mostres gasoses i que posteriorment s'analitza al laboratori.
- Hi ha opcions més eficaces, com són els cromatògrafs de lectura directa, però també són més cares.

RECOLLIDA DE MOSTRES D'EQUIPS I COMPONENTS ELÈCTRICS

S'ha de comprovar si estan desconnectades totes les línies de corrent i és obligatori seguir els procediments del pla de seguretat de prevenció de riscos.

Els equips i components elèctrics s'han de recollir com a proves físiques quan ajudin a saber si estaven o no relacionats amb la causa del foc.

Abans de recollir-los s'han de documentar, fent fotos i croquis. Els cables elèctrics es poden tallar i separar fàcilment. La prova pot consistir en un tros petit, amb un extrem seriosament afectat, o un tros molt més llarg sense cremar en què l'aïllant hagi quedat intacte. És convenient recollir un tros de cable al més llarg possible per poder examinar l'aïllant que hagués quedat. Es recomana marcar amb etiquetes el cable per poder identificar-lo.

Els components elèctrics poden haver quedat molt fràgils i es poden espatllar si no es manipulen amb compte.

Si fos possible, es recomana treure els quadres en els quals estaven instal·lats els esmentats equips, sense alterar els seus components interns.

FIGURA 3.3. Component d'un quadre elèctric malmès

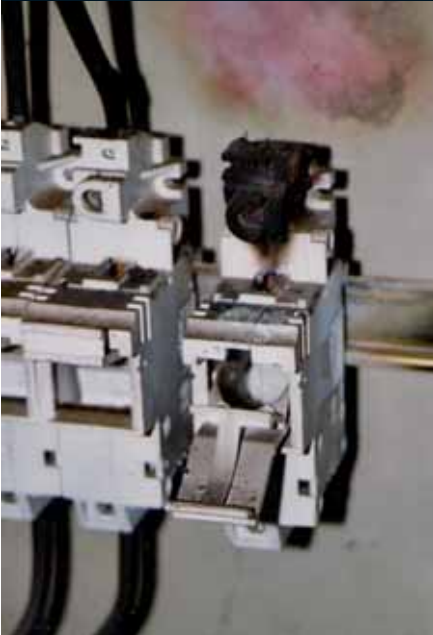


FIGURA 3.4. Exemple de recollida de material elèctric



FIGURA 3.5. Exemple de recollida de material elèctric



S'ha d'observar les zones no afectades o amb menor grau d'afectació, en la mesura del possible, per verificar la qualitat dels recobriments i tubs de protecció. Aquests solen quedar destruïts a la zona de l'incendi.

Si l'investigador no és competent tècnicament per avaluar equips elèctrics, ha de sol·licitar la intervenció d'un especialista elèctric.

FIGURA 3.6. A la part superior de la rentadora es pot apreciar la zona on el cable ha provocat el curtcircuit



FIGURA 3.7. Detall del cable en contacte amb la planxa de la rentadora



RECOLLIDA D'ELECTRODOMÈSTICS

Pot ser necessari l'estudi d'aparells, des dels més grans (forns, neveres, estufes, rentadores, assecadores) fins als més petits (torradores, cafeteres, ràdios, carregadors, planxes o làmpades).

Quan sigui possible, s'ha de recollir tot l'aparell o equip com a prova física, inclosos els seus cables (figura 3.6).

Si la mida o el mal estat de l'aparell o equip no ho permet, s'ha de desmuntar, separar i protegir els mecanismes relacionats amb la causa. Algunes vegades només es pot recollir un component o subconjunt d'un equip o aparell.

RECOLLIDA DE PROVES FÍSQUES EN CAS DE MORTS

Entre d'altres cal considerar les empremtes dactilars, líquids corporals (sang, semen, etc.), cabells, fibres, empremtes dels peus, marques d'eines, restes de terra i sorra, fusta i serradures, vidres, pintures, metalls, papers escrits i qualsevol tipus de resta de combustible.

S'ha d'informar el forense que examini o analitzi les proves físiques presents al cadàver, és recomanable assistir a la pròpia intervenció forense.

RECIPIENTS PER A PROVES

La mostra s'ha de col·locar i guardar en un recipient adequat. L'elecció del recipient depèn de l'estat, característiques físiques, fragilitat i volatilitat de la mostra.

Els recipients poden ser sobres, bosses de paper o de plàstic, pots de vidre o de metall, o estar específicament dissenyats per a la recollida de mostres. L'elecció ha de ser recomanada pels procediments del laboratori que hagi d'analitzar o assajar la mostra.

RECIPIENTS PER A LA RECOLLIDA DE PROVES D'ACCELERANTS LÍQUIDS I SÒLIDS

Hi ha bàsicament tres tipus de recipients per a la recollida d'accelerants:

- pots de vidre
- llaunes metàl·liques
- bosses especials per a proves

Els recipients nous i sense contaminar amb què es vulguin recollir les proves físiques s'han de guardar abans del seu ús i verificar el seu tancament immediatament després que s'hagin rebut del fabricant. Així s'han de mantenir durant el seu emmagatzematge i transport fins al lloc dels fets. Tan sols es recomana obrir el recipient per guardar les proves en el moment de recollir-les i, així mateix, una vegada finalitzada la recollida, tornar a tancar-lo.

S'ha d'evitar l'evaporació i contaminació de l'accelerant i, per a això, el recipient ha de ser totalment hermètic.

Pots de vidre

Per a la recollida de proves d'accelerants líquids i sòlids, les tapes no han de tenir juntes de goma, sobretot per als líquids. Sovint aquestes gomes d'enganxar contenen

dissolvents que poden contaminar. L'avantatge del vidre és que permet veure la prova sense obrir el pot. No s'han d'utilitzar en cap cas netejadors en sec que puguin contenir dissolvents volàtils.

Llaunes metàl·liques

En cas d'usar llaunes metàl·liques, han de ser noves i sense folrar. L'inconvenient és la impossibilitat de veure la prova sense obrir la llauna.

Bosses especials per a proves

Dissenyades específicament per recollir proves d'accelerants líquids i sòlids. No han de contenir productes químics que puguin contaminar la mostra.

IDENTIFICACIÓ DE PROVES FÍSQUES

Totes les proves s'han de marcar o etiquetar en el moment de recollir-les per a la seva identificació.

La identificació consisteix en el nom de l'investigador que ha recollit la prova física, la data i hora de la recollida, nom o número d'identificació, designació del sinistre, descripció de la prova física i lloc on ha estat recollida. Es pot fer directament al recipient o en una etiqueta que després s'enganxi o s'hi lligui.

El marcatge mínim que han d'incloure les etiquetes a les mostres o efectes recollits es pot observar a la figura 3.8.

FIGURA 3.8. Exemple d'etiqueta identificativa de les mostres

Informació de les mostres
Descripció de la mostra _____
Referència de la mostra/identificació _____
Adreça del sinistre _____
Responsable de la investigació _____
Hora / Data de recollida _____
Cadena de custòdia
Rebuda de _____
Entregada per _____
Hora / Data de recepció _____

De vegades, a part de la mostra objecte d'estudi, se n'han de recollir d'altres per comparar-les. És procedent aquesta actuació quan es tracta de materials que es cregui que puguin contenir accelerants líquids o sòlids.

TRANSPORT DE LES PROVES I SOL·LICITUD D'ANÀLISIS I ASSAIGS

El transport i emmagatzematge de les proves físiques es pot fer a través de tercers, però sempre que sigui possible és millor efectuar el trasllat i el lliurament personalment.

Pot ser necessari enviar les proves físiques a un laboratori o centre d'assaigs per al seu examen i anàlisi. En aquest cas, l'investigador de l'incendi ha de definir per escrit l'abast de l'anàlisi o assaig que sol·licita. Així mateix ha de sol·licitar un informe amb les conclusions, el qual s'haurà de presentar per escrit i firmat.

Es pot utilitzar una capsula de cartró de mida prou gran perquè càpiguen tots els recipients que continguin proves del mateix cas (mai no s'ha d'enviar a la mateixa capsula proves de diferents casos). La capsula s'ha de tancar amb un precinte adhesiu fort per evitar que persones no autoritzades la puguin obrir. En l'exterior de la capsula s'ha d'indicar amb claredat que conté proves físiques i en un sobre tancat unit a la capsula de cartró s'ha de col·locar una carta de petició o sol·licitud per escrit, on ha de constar el nom, adreça i número de telèfon de l'investigador, una llista detallada de les proves que es presenten per al seu assaig o anàlisi i qualsevol altra informació.

Abans de la tramesa s'ha de fotografiar el paquet obert i tancat. El paquet tancat es pot enviar per correu certificat o missatger.

RECEPCIÓ I EMMAGATZEMATGE DE PROVES

Les principals fonts de degradació de la majoria de les proves són el moviment, la calor, la llum del sol i la humitat. Cal guardar les proves en un lloc sec, fosc i al més fred possible. Si hi ha proves volàtils, cal refrigerar-les.

Cada laboratori té el seu propi procediment per a la recepció de mostres, però bàsicament la sol·licitud ha d'incorporar la informació de la figura 3.9.

FIGURA 3.9. Exemple de sol·licitud d'anàlisi de mostres

<p>Informació general</p> <p>Raó social del laboratori Departament Direcció</p>
<p>Escenari de l'incendi</p> <p>Escenari de l'incendi Adreça Efectes i mostres recollides Data del sinistre</p>
<p>Investigació</p> <p>Mostres Referències de les mostres Finalitat de la investigació, anàlisi o assaig Data de recepció en el laboratori</p>
<p>Responsable de la investigació</p> <p>Investigador Referència del sinistre Data de recollida d'efectes Testimonis presencials en l'escenari durant la recollida de les mostres</p>

FORMULACIÓ I VERIFICACIÓ D'HIPÒTESIS

Una vegada tinguem les dades del sinistre recollides durant la inspecció, s'arriba a una fase en la qual s'han d'analitzar totes les dades de forma empírica i objectiva.

L'anàlisi d'aquestes dades s'ha de fer sobre la base dels coneixements i l'experiència de cada investigador.

Hem d'observar les marques de desenvolupament de l'incendi per localitzar la zona d'origen i contrastar-ho amb la trajectòria seguida per l'incendi.

És possible haver d'esperar a conèixer el resultat dels assaigs o anàlisis de les proves físiques amb l'objectiu de disposar de totes les dades necessàries.

La finalitat és considerar la causa de l'incendi i, si no és possible, fer un plantejament d'hipòtesi d'explicació del sinistre.

PLANTEJAMENT I CONTRAST DE LES HIPÒTESIS

De l'anàlisi de les dades comentades anteriorment cal extreure una o diverses hipòtesis que puguin explicar l'origen i la causa de l'incendi o de l'explosió. Aquestes hipòtesis només poden estar basades en dades empíriques i objectives recollides per l'investigador.

S'han d'analitzar les diferents hipòtesis plantejades i contrastar-les amb tots els fets coneguts per poder descartar els orígens i les causes que poden ser raonables però que no donen resposta a aquests mateixos fets.

Hem de considerar com a hipòtesi contrastada la que, comparada amb tots els fets coneguts, pot establir, sense cap dubte, el lloc d'origen i la causa d'inici.

Si no és així, haurem de considerar una altra hipòtesi més adequada o classificar la causa de l'incendi com a desconeguda.

Per poder establir-ne la causa es tenen en compte els factors següents:

- punt d'origen
- categoria del sinistre
- causant
- font de calor
- propagació del foc
- senyals del foc (color de la flama i del fum)
- moment de la intervenció
- actuacions previstes després del sinistre

La categoria del sinistre pot ser:

- natural, en els casos que no hi ha intervenció humana directa en l'origen de l'incendi, com per exemple els incendis per llamps o volcans;
- accidental: l'origen de l'incendi no és conseqüència d'un acte humà deliberat, com ara certs errors en el sistema elèctric, soldadures, negligència humana, etc.;
- intencionat: en aquest cas l'inici de l'incendi és conseqüència directa d'un acte humà deliberat i amb la intenció d'originar-lo;
- desconeguda: quan s'ignoren les circumstàncies que han confluït en el seu origen. Si les investigacions continuen, aquestes podrien arribar a ser determinades posteriorment.

INFORMES D'INVESTIGACIÓ

Finalment, quan l'investigador de causes i orígens ha de trametre informació d'un sinistre ha de fer-ho d'acord amb els requeriments per als quals la investigació va ser sol·licitada. Per això, es poden generar diferents tipus d'informes:

- informe previ: on s'informa sobre unes impressions inicials, sobre l'estat de les investigacions i les actuacions previstes;
- documents d'actuacions realitzades durant el procés d'investigació o bé d'informació sol·licitada: actes, aspectes legals/activitats, procés de recollida de mostres davant notari, sol·licitud d'anàlisi i assajos, informes de bombers, actes o informes de la policia científica, informes meteorològics...
- dictamen tècnic definitiu.

Segons estableix l'article 335 de la LEC, quan siguin necessaris coneixements científics, artístics, tècnics o pràctics per valorar fets o circumstàncies rellevants en l'assumpte o adquirir-ne certesa, les parts poden aportar al procés el dictamen de pèrits que tinguin els coneixements corresponents o bé sol·licitar, en els casos previstos en la LEC, que emeti dictamen un pèrit designat pel tribunal.

Els dictàmens s'han d'elaborar per escrit, acompanyats, si escau, dels altres documents, instruments o materials adequats per exposar el parer de l'investigador sobre tot allò que hagi estat objecte de la perícia. Si no fos possible o convenient aportar aquests materials i instruments, l'escrit de dictamen hauria d'incloure'n les indicacions suficients. Poden, així mateix, acompanyar el dictamen els documents que s'estimin adequats per a l'esclariment dels fets.

A l'article 339 de la LEC s'estableix que el demandant o el demandat també pot sol·licitar que es designi judicialment un altre pèrit, si entén convenient o necessària l'emissió d'un informe pericial a través del jutjat. En aquest cas, el tribunal en designarà un, sempre que el jutge consideri útil el dictamen pericial sol·licitat. Aquest dictamen serà a costa de qui ho hagi demanat, sense perjudici del que pogués acordar-se en matèria de costos.

S'ha d'indicar que en algunes ocasions, els pèrits designats pels jutjats com a tècnics investigadors de causes podrien ser col·legiats amb una formació universitària de caràcter científic, però sense una especialització adequada en la investigació de causes d'incendis, si bé el fet d'aportar una visió tècnica al jutjat sempre acostuma a ser d'ajuda per a la comprensió dels dictàmens i documents i en la delimitació de responsabilitats en el judici.

CAPÍTOL 4

ANÀLISI DE CASOS

Aquest capítol es divideix en sis apartats. En els quatre primers es fa una anàlisi d'un cas real de quatre tipologies d'incendi significatives: habitatge/edifici, indústria petita i mitjana, locals i aparcaments. Cada cas ha estat investigat per algun dels agents que poden realitzar una investigació d'aquest tipus, tal com s'ha vist en el capítol 2.

Tot i el diferent enfocament de cada un d'aquests agents que ha fet la investigació, s'ha unificat el guió per a poder establir paral·lelismes o fer comparacions.

En el cinquè apartat s'exposen alguns dels casos més comuns d'incendi i el sisè tracta sobre els incendis intencionats.

HABITATGE/EDIFICI

Aquest cas va ser investigat pel Servei de Prevenció i Extinció d'Incendis i Salvament (SPEIS) dels Bombers de Barcelona. Cal fer notar que l'actuació de l'SPEIS es limita a la redacció dels informes d'intervenció i en tot cas, en funció de les característiques, emplaçament i evolució de l'incendi, efectua l'anàlisi del funcionament de les mesures preventives i de protecció associades a les instal·lacions de protecció contra incendis.

En el cas que ens ocupa l'informe d'intervenció es va complementar amb l'informe tècnic de prevenció.

LOCALITZACIÓ DEL SINISTRE

Incendi en un edifici de gran alçada, situat a la plaça Urquinaona, 6. L'edifici té vint plantes d'alçada. Les sis primeres plantes ocupen tota l'amplada del solar fins a les mitgeres dels edificis contigus a plaça Urquinaona i carrer Roger de Llúria. Les catorze plantes restants formen una torre exempta en tot el seu perímetre. L'entrada a l'edifici es fa per la plaça, fins a un vestíbul que dona accés a cinc ascensors (dos arriben a la 6a planta i els tres restants comuniquen totes les plantes). Tan sols hi ha una escala. Disposa de quatre soterranis destinats a aparcament, sense comunicació amb les plantes sobre rasant.

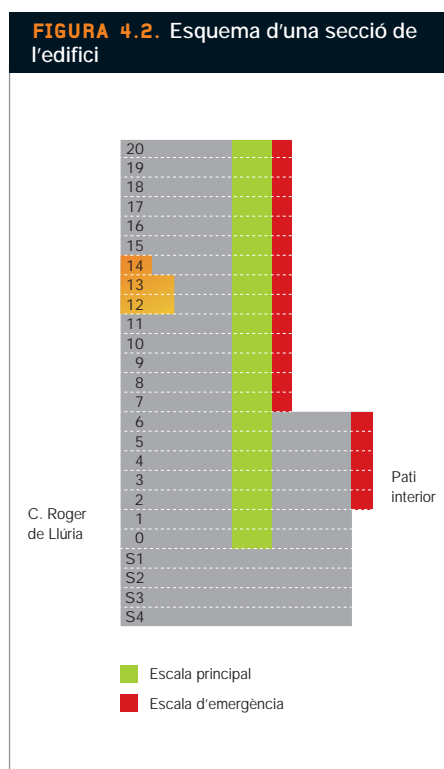
Les mesures de protecció contra incendis de l'edifici eren les següents:

- plantes sobre rasant: escala protegida adossada a l'escala d'incendis i recorregut des de la planta 20 fins a la coberta de la planta 6, boques d'incendi equipades de 45mm, connectades a un grup de pressió, un extintor i un detector d'incendis a cada replà, enllumenat d'emergència a tot el recorregut d'evacuació i quasi sense protecció passiva de l'estructura;

FIGURA 4.1. Vista exterior de l'edifici en el moment de l'extinció



- plantes sota rasant: boques d'incendi equipades, enllumenat d'emergència, extintors i protecció estructural.



DESCRIPCIÓ DE LA INVESTIGACIÓ

La investigació per deduir les possibles causes de l'incendi la va dur a terme la policia científica del Cos Nacional de Policia. La Divisió de Protecció Civil i Prevenció de Bombers de Barcelona es va encarregar de l'anàlisi de la influència de les mesures de protecció existents en el desenvolupament del sinistre i la comprovació del seu funcionament.

DESENVOLUPAMENT DEL SINISTRE

L'incendi es va iniciar a la planta 12 de l'edifici, en una de les tres oficines que ocupaven l'esmentada planta. La superfície total de la planta és d'uns 600 m², mentre que la superfície de l'oficina on es va iniciar l'incendi és de 90 m². La forma de la planta és irregular i l'oficina esta orientada al carrer.

La propagació de l'incendi es va produir per la façana, amb afectació greu per foc a l'oficina immediatament superior de la planta 13 i amb menys grau la de la planta 14. La configuració del tancament de façana va facilitar la propagació, tal com es pot veure a la figura 4.5.

Van haver-hi afectacions per fum a les oficines veïnes a la planta 12 i a les superiors fins a la planta 18.

A les plantes inferiors a la 12 van haver-hi danys derivats de les filtracions per l'aigua utilitzada a l'extinció de l'incendi, amb diferents graus d'afectació.

ORIGEN

Oficina de 90 m² situada a la planta 12 de l'edifici.

CAUSES

Les causes de l'incendi no es van poder determinar, atès el grau de destrucció i les afectacions derivades de les intenses tasques d'extinció de l'incendi. Això no obstant, els indicis van centrar la investigació de les causes en uns treballs de reforma que s'estaven portant a terme a l'esmentada planta, concretament la reposició de paviment.

CONCLUSIONS

Pel que fa a l'estat de l'escenari objecte d'investigació, cal tenir en compte que les tasques d'extinció i les posteriors van modificar sensiblement l'estat originari, fet que dificulta l'obtenció de possibles orígens.



En els edificis construïts amb anterioritat a la implantació de normativa d'àmbit estatal, de regulació de les condicions de protecció contra incendis als edificis, els riscos i les afectacions són molt importants. En aquest cas:

- es detecten dificultats per a l'evacuació de les persones i d'accés dels serveis de seguretat perquè hi ha una única escala. Tampoc no es disposava d'una escala d'ús exclusiu per a bombers;
- la propagació per la façana es va facilitar per la falta de franges resistents al foc entre sectors d'incendis diferents (figura 4.5);
- la manca de compartimentació entre els diferents establiments va facilitar la propagació del fum i va augmentar el risc d'incendi als establiments veïns;
- la manca de protecció de l'estructura metàl·lica a les plantes superiors va suposar deformacions molt importants amb risc de col·lapse.

INDÚSTRIA PETITA I MITJANA

La investigació de l'incendi que ens ocupa va ser realitzada per la policia científica del cos de Mossos d'Esquadra.

LOCALITZACIÓ DEL SINISTRE

Les edificacions afectades són dues naus industrials adjacents, comunicades interiorment per una obertura i que tenen uns 500 m² cada una de superfície. Ambdues naus tenen estructura metàl·lica.

Interiorment les dues naus no tenen tancaments, llevat d'un altell per a oficines a la nau de la dreta, a la cantonada, just al costat de la porta d'accés.

Les dues edificacions tenen cada una un accés a l'exterior per una porta basculant a la seva part frontal. També a la seva part frontal hi ha dues finestres a la part superior de la façana (figura 4.6).

FIGURA 4.6. Exterior de la nau sinistrada, part frontal



FIGURA 4.7. Exterior de la nau sinistrada, part posterior

A l'interior de la nau de la dreta hi havia dos vehicles, un de tipus furgoneta i un petit vehicle industrial, tots dos afectats per l'incendi. A la nau de l'esquerra hi havia un vehicle elevador (tipus toro) afectat només per sutje.

L'activitat industrial de l'empresa consistia a manipular i transformar diferents formats de fustes per fer petites peces que després eren pintades o envernissades per a la seva comercialització.

Concretament la manipulació i transformació de la fusta es feia a la nau de l'esquerra, on hi havia la maquinària corresponent. El pintat i l'envernissat es feia a la nau de la dreta.

Per fer aquest procés en aquesta nau, sota l'altell d'oficines, hi havia emmagatzemades una gran quantitat de pintures, vernissos i dissolvents.

El pintat i l'envernissat es feia al fons d'aquesta nau, al cantó oposat a l'entrada, on hi havia una cabina per a pintat. També en aquest indret de la nau hi havia un dipòsit de gasoil d'uns 500 litres de capacitat, el qual estava ple abans de l'incendi.

DESCRIPCIÓ DE LA INVESTIGACIÓ

Abans d'iniciar la investigació no es té cap indici de si es pot tractar d'un sinistre accidental o provocat. L'incendi es va originar a la nit, sense activitat a l'empresa, i l'època de l'any en què va succeir va ser al principi de l'estiu, amb temperatures diürnes elevades.

En primer lloc es va fer una inspecció ràpida i general de l'exterior i l'interior per establir quina línia d'investigació es seguiria. Amb la informació visual recollida es determina inicialment que l'incendi possiblement va anar des de l'interior de la nau de la dreta cap a l'exterior (figura 4.8).

Amb la finalitat d'esbrinar si hi ha indicis de criminalitat en la causa de l'incendi, s'inspeccionen els accessos de les naus des de l'exterior, tant a les portes com a les finestres. Es descarta que es forcessin aquests accessos i també que es trenquessin les finestres abans de l'inici de l'incendi.

Un cop descartada la manipulació dels accessos a les naus s'inicia una detallada inspecció interior de totes dues. Per les marques de foc observades a l'interior de les dues naus es situa l'origen de l'incendi a la nau de la dreta. A la figura 4.9 es pot apreciar que la nau de l'esquerra només té afectació pel fum i la calor i no té cap focus d'incendi.

FIGURA 4.8. Afectació de dins a fora de la nau

A l'interior de la nau de la dreta, com s'ha esmentat anteriorment, hi ha dos vehicles que estan parcialment carbonitzats. Aquests vehicles estan estacionats aproximadament al mig d'aquesta nau i és al seu davant on s'observa la major afectació per foc directe de tota la nau (figura 4.10).

L'estructura del sostre en aquesta zona ha col·lapsat per la calor acumulada per l'incendi i aquest col·lapse també ha afectat les parets que sustentaven l'estructura metàl·lica.

Just en aquesta zona de més afectació és on hi ha també la cabina de pintat i el dipòsit de gasoil, que és de plàstic, s'ha desfet parcialment i ha quedat només la meitat del gasoil al seu interior.

En els vehicles s'inspeccionen el compartiment del motor, les bateries, el dipòsit de combustible, la instal·lació elèctrica i les marques de foc que tenen i es descarta que siguin font de calor d'inici de l'incendi.

FIGURA 4.9. Interior de la nau de l'esquerra

FIGURA 4.10. Interior de la nau de la dreta on es poden veure els dos vehicles afectats per l'incendi



Ens centrem a trobar les fonts de calor que hi ha a la zona de la cabina de pintat i el seu voltant ja que les marques de foc ens indiquen que és el lloc d'origen.

Al costat de la cabina de pintat hi ha uns petits contenidors metàl·lics destapats a l'alçada del terra on es llençaven els draps de fils, impregnats de dissolvent i vernís, després de fer-los servir en el procés de pintat o envernissat.

Després de fer una inspecció detallada en aquesta zona, s'arriba a la conclusió que aquests petits contenidors són possiblement la font d'inici de l'incendi. Les condicions d'emmagatzematge dels draps, afavorides per les condicions ambientals que hi havia

FIGURA 4.11. Detall de la zona d'origen



amb temperatures altes durant el dia, van provocar una reacció exotèrmica per l'oxidació dels productes dissolvents i d'envernissat que, alhora, va originar un autoescalfament dels draps de fils amb el seu posterior incendi.

DESENVOLUPAMENT DEL SINISTRE

Des del contenidor on es va originar l'incendi es va propagar a la resta de dissolvents que hi havia emmagatzemats al costat dels contenidors de draps i a les fustes que hi havia acumulades a la zona de la cabina de pintat. La calor va desfer part del dipòsit de gasoil, que es va encendre i va aportar més càrrega de foc a l'incendi, que es va propagar cap als vehicles i la resta de la nau.

ORIGEN

L'origen de l'incendi, com s'ha esmentat anteriorment, es va situar al davant de la cabina de pintat a la nau de la dreta. En aquest sinistre no va presentar gaire complexitat trobar la zona d'origen, però en alguns incendis això pot arribar a ser impossible.

CAUSES

Després de dur a terme tota la investigació al lloc dels fets i d'obtenir la declaració de tots els testimonis i parts implicades, les causes en aquest sinistre es van determinar com a accidentals.

CONCLUSIONS

Una vegada localitzada la zona d'origen d'un incendi, el més complicat és trobar la font de calor que l'ha originat. Com hem vist en aquest cas, aquestes fonts de calor poden no ser les més típiques, com per exemple una cigarreta o un curtcircuit, i poden requerir una recerca més específica.

FIGURA 4.12. Zona d'origen de l'incendi



LOCALS

La investigació d'aquest incendi va ser realitzada pels Bombers de la Generalitat.

LOCALITZACIÓ DEL SINISTRE

Sinistre iniciat a la bugaderia (90 m² en planta semisubterrània) d'un immoble amb ús d'hotel de tres-cents llits (figura 4.13).

FIGURA 4.13. Edificació implicada



DESCRIPCIÓ DE LA INVESTIGACIÓ

La investigació del Cos de Bombers té per objecte recollir tota la informació possible sobre el desenvolupament del sinistre, les afectacions produïdes i la relació de causes contrastades.

DESENVOLUPAMENT DEL SINISTRE

L'edificació implicada és de construcció aïllada i consta de soterrani, planta baixa i quatre plantes d'alçada, construïda amb sistemes tradicionals, estructura de formigó armat, tancaments ceràmics i acabats d'obra no combustibles, com es pot apreciar a la figura 4.13.

L'alarma del sistema automàtic de detecció d'incendis es va activar a mitjanit d'un dimecres d'abril, poc després que el personal encarregat es retirés a descansar.

El tiratge natural que proporcionaven les obertures del passadís (figura 4.14), el conducte vertical de sortida al teulat (figura 4.15) i la finestra (figura 4.16) van generar un creixement ràpid de l'incendi per l'interior del local.

La calor despresa generalitza la destil·lació dels materials combustibles presents al local i l'alliberament dels gasos continguts en aerosols de neteja. A prop de l'assecadora es genera un segon focus d'ignició violenta (es pot observar a les marques deixades, figura 4.17)

Les pressions generades a l'interior del local incendiari s'alliberen per les obertures abans mencionades (figures 4.14, 4.15 i 4.16), per la finestreta superior de ventilació que comunica amb el passadís de servei de l'hotel, després de cremar la tapa de fusta que la tanca, i també puja fum a la planta quarta pel trencament estructural de les parets que conformen el pati de ventilació (figura 4.18).

FIGURA 4.14. Obertura interior



FIGURA 4.15. Conducte vertical de sortida a la teulada



FIGURA 4.16. Obertura del local en façana



FIGURA 4.17. Marques d'un focus d'ignició secundari i violent



FIGURA 4.18. Trencament de la paret en el recinte d'una escala de l'edifici



ORIGEN

El lloc d'origen de les primeres flames és sota la taula de triatge de roba, presumiblement entre la roba procedent d'habitacions.

El material cremat inicialment és roba diversa de residents de l'hotel; el tauler aglomerat del mobiliari i les prestatgeries de fusta; seguidament s'estén a la maquinària i els utensilis del local, arranjat per rentar, assecar i planxar roba d'hotel.

FIGURA 4.19. Coronament del conducte vertical per on van sortir els fums al costat de l'aspiració del climatitzador



CAUSES

No es van trobar rastres precisos per tal d'identificar l'energia que inicia la combustió. La hipòtesi més versemblant apunta a una incandescència entre la roba, que s'aviva amb el corrent d'aire de la zona.

El sinistre pren una magnitud severa així que els fums evacuats pel teulat són aspirats per la maquinària de renovació d'aire, al terrat, a pocs metres del coronament del conducte vertical (figura 4.19). La maquinària de climatització afectada (figura 4.20) distribueix el fum pel sector d'habitacions de l'establiment.

FIGURA 4.20. Conducte d'aspiració i climatitzador



La dilatació dels materials estructurals provoca esquerdes a les parets del conducte vertical de ventilació i aboca fums molt calents al recinte de l'escala d'evacuació per la planta superior.

L'actuació suposa l'evacuació completa de l'immoble (unes cent cinquanta persones) i la mobilització dels serveis d'emergència (bombers, policia, sanitat i protecció civil). No es van lamentar danys personals.

CONCLUSIONS

La investigació efectuada ha permès identificar les anomalies en el disseny i la utilització dels serveis de bugaderia de l'hotel objecte del sinistre i que han causat la major part dels danys a serveis externs al propi local d'origen.

APARCAMENTS

El sinistre que es descriu a continuació va ser investigat per pèrits investigadors tècnics de causes.

LOCALITZACIÓ

Incendi en un aparcament d'una planta, amb una superfície i una alçada aproximades de 1.300 m² i 2,30 m respectivament, situat al soterrani d'un bloc d'habitatges. Disposa d'un accés per a vehicles i de dos accessos per a persones des de l'interior de l'edifici.

L'incendi va afectar per flama directa una superfície d'uns 15 m², on hi havia tres vehicles estacionats.

Les parets i columnes del pàrquing són de formigó, així com les bigues del sostre. L'entrebigat és de blocs prefabricats de formigó. La naturalesa incombustible d'aquests elements constructius, així com la sectorització de l'edifici, han contribuït a evitar una major propagació de l'incendi.

DESCRIPCIÓ DE LA INVESTIGACIÓ

Durant la inspecció ocular realitzada a l'aparcament, es va observar que la zona que presenta més afectació és la delimitada per tres vehicles. Tan sols es va apreciar un focus d'incendi.

Aquests tres vehicles s'anomenen V1, V2 i V3 respectivament. A la taula 4.1 es descriu el grau d'afectació de l'incendi sobre aquests vehicles.

TAULA 4.1. Grau d'afectació dels vehicles implicats

Codi	Afectació de l'habitacle	Afectació radiador	Afectació motor	Afectació davantera	Afectació del darrere
V1	Moderada	Nul·la	Nul·la	Lleu	Moderada
V2	Intensa	Lleu	Lleu	Moderada	Intensa
V3	Intensa	Moderada	Moderada	Intensa	Intensa

En aquesta zona, a més dels tres vehicles, van resultar afectats el sostre i les parets, les instal·lacions elèctriques de lluminàries i de detecció d'incendis, així com les instal·lacions de telefonia i les canalitzacions d'aigua. Tot això indicava que el focus d'origen de l'incendi es trobava en aquesta zona de l'aparcament.

Segons les investigacions, l'incendi es propaga des de la part posterior dels vehicles V2 i V3 cap a la part davantera.

FIGURA 4.21. Zona més afectada per l'incendi



La instal·lació elèctrica de les lluminàries i de detecció d'incendis estava situada a uns 0,5 m del frontal dels vehicles. Es va descartar la seva influència en l'origen de l'incendi. La instal·lació elèctrica, a més, estava muntada sota un tub de protecció i quedava allunyada de la zona d'origen.

Un cop descartades les instal·lacions de la zona, es va centrar la investigació en la recerca de l'origen de l'incendi en un dels tres vehicles o bé la possible intencionalitat en la causa del sinistre. Es van observar, entre altres indicis, l'afectació general dels vehicles i més concretament les rodes, les parts frontals i posteriors, el bloc del motor, el sostre, les parets i el terra.

Observat l'estat que presentava la paret contigua a les parts posteriors dels vehicles es va veure que la zona més intensament afectada era la situada darrere dels vehicles V2 i V3. Un cop investigats els vehicles s'observa una propagació de l'incendi des del vehicle V2 cap al V3, és a dir, l'incendi procedeix inicialment del vehicle V2.

FIGURA 4.22. El cablejat de l'aforador presentava símptomes de curtcircuit



FIGURA 4.23. Detall del cablejat de l'aforador

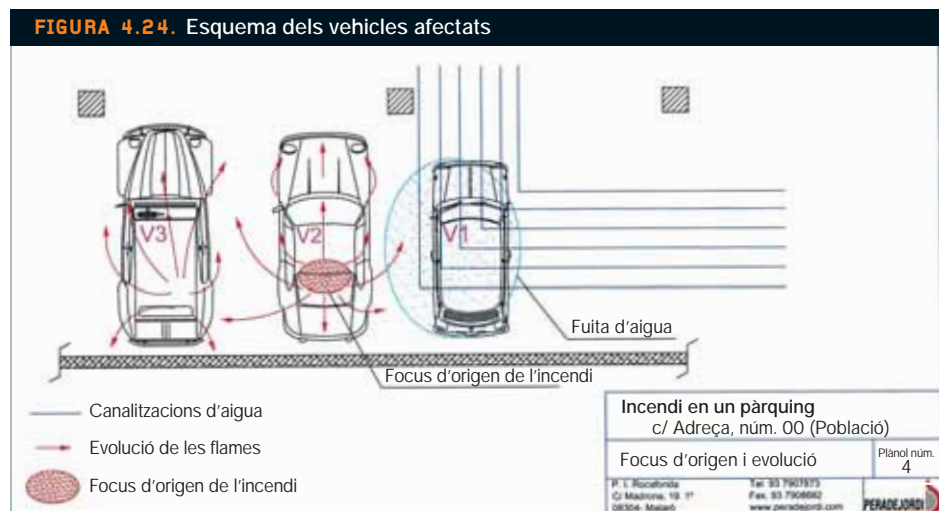


Durant la investigació del vehicle V2 s'observa que el cablejat elèctric corresponent a l'aforador del dipòsit de gasolina presenta símptomes de curtcircuit amb efectes evidents de fusió del conductor de coure (figura 4.22 i 4.23).

DESENVOLUPAMENT DEL SINISTRE

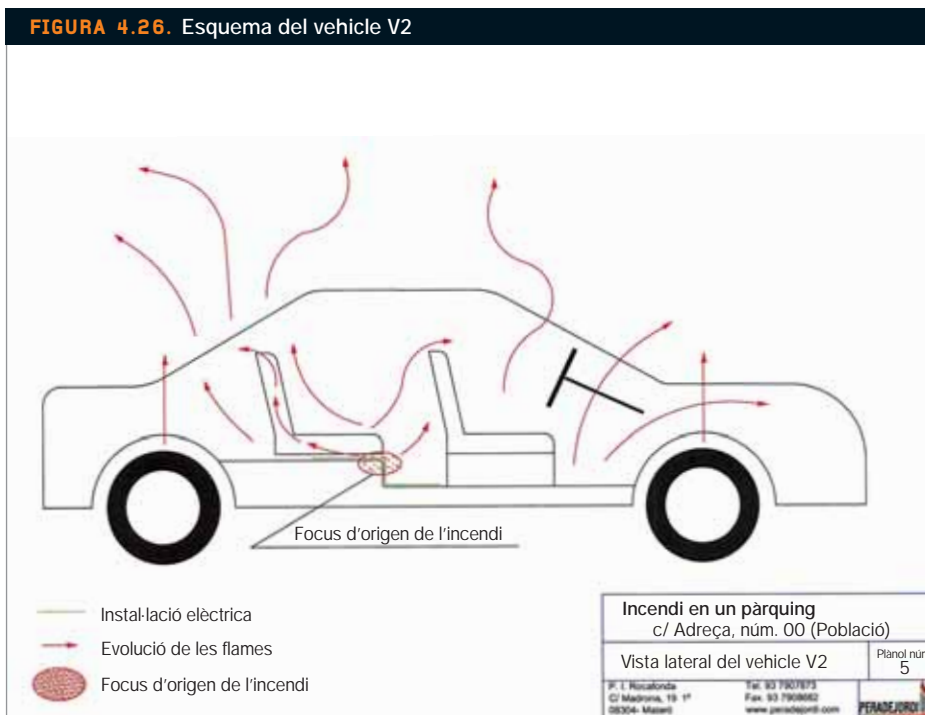
L'incendi, iniciat a l'aparcament del soterrani de l'edifici sinistrat, va afectar per flama directa dos dels vehicles estacionats a prop i el mateix aparcament. A més va afectar les instal·lacions i altres vehicles amb més o menys grau segons la proximitat al focus d'origen de l'incendi.

Durant l'incendi, les canonades d'aigua instal·lades sobre els vehicles V1 i V2 van rebentar i van donar lloc a una fuga a la zona, com es pot apreciar a les figures 4.24 i 4.25. És per això que els efectes de l'incendi van quedar minimitzats en els vehicles V1 i V2 ja que durant l'incendi va anar-hi caient aigua a sobre. En canvi, el vehicle V3 quedava fora del radi d'acció de la fuga d'aigua.



ORIGEN I CAUSES

L'incendi es va originar en el vehicle V2, concretament a la zona central de la base dels seients posteriors, per on passa el cablejat de l'aforador del dipòsit de combustible (figures 4.26 i 4.27).



La causa de l'incendi va ser un efecte de curtcircuit al cablejat elèctric de l'aforador del dipòsit de gasolina, instal·lat sota el seient i la moqueta i sense protecció contra efectes mecànics (cops o efectes de pressió).

A causa de la calor generada pel curtcircuit (a temperatures superiors als 2000 °C), els elements plàstics de la moqueta i l'escuma del seient del vehicle V2 van entrar en combustió i van provocar un incendi que es va propagar als dos vehicles situats just al costat.

CASOS TÍPICS

CASOS TÍPICS DE TIPUS ELÈCTRIC

Les xarxes de distribució elèctrica trifàsica tenen una oscil·lació del valor eficaç de la tensió en el temps, en funció de les càrregues connectades a la xarxa, que varia segons el punt de la xarxa on es mesuri, la distància als generadors i els sistemes de regulació de tensió i energia reactiva. És de l'ordre de +/- 5%, respecte al valor nominal de la tensió i sol complir la normativa. Els intervals temporals de màxima tensió solen correspondre als moments de mínim consum. Això explica els incendis nocturns de cap de setmana, iniciats per defecte dielèctric en un punt feble d'una instal·lació elèctrica.

Les instal·lacions de cogeneració en polígons industrials solen agreujar les oscil·lacions de tensió durant el cap de setmana. Les línies elèctriques inverteixen el sentit de circulació del corrent en deixar de consumir les indústries els dies festius, això afecta les caigudes de tensió i els sistemes per a compensar-les. Aquesta problemàtica és similar en moltes de les energies renovables i sistemes de generació distribuïda en general.

Les proteccions elèctriques dissenyades per a corrent altern de 50 Hz, fusibles, magnetotèrmics, diferencials i d'altres, no solen funcionar en corrent continu de valors similars. En especial el poder de ruptura de curtcircuits en fusibles és menor en corrent continu ja que l'arc no passa periòdicament per zero com en corrent altern.

Les neveres i els congeladors de compressor tenen un motor d'inducció en molts casos monofàsic que arrenca sovint i amb corrents superiors a set vegades el corrent nominal. Si la tensió de la xarxa baixa, el corrent consumit pel motor augmenta proporcionalment per mantenir la potència del motor, i castiga més la instal·lació.

Les neveres estan dissenyades per a una temperatura ambient no superior a 40 °C. Si l'habitacle on treballa la nevera supera de forma prolongada aquesta temperatura, es sobrecarrega el motor i la instal·lació elèctrica fins que provoca l'incendi. No és estrany trobar neveres en explotacions a la intempèrie, on el personal es canvia a la caseta del grup electrogen. En arribar l'estiu el risc es multiplica.

Les reactàncies de tubs fluorescents, balastos electrònics o fins i tot els transformadors per a làmpades halògenes, solen amagar-se al cel ras o darrere de fusta. Això dificulta el seu refredament i les converteix en focus d'escalfor potencialment incendiaris sense superar el seu corrent nominal. Algunes làmpades integrades en mobles són potencialment perilloses amb un ús continuat.

Quan una instal·lació de potència considerable alimenta una càrrega de petita potència allunyada, cal vigilar que les proteccions disparin correctament. Hi ha molt risc de produir un «curtcircuit llunyà» ja que el defecte a borns de la petita càrrega no fa pujar prou el corrent durant el defecte perquè disparin les proteccions, a causa de la resistència elevada del cable que alimenta la càrrega petita.

Els bastidors de motocicletes i vehicles fets amb fibres de carboni no són aïllants de l'electricitat. En cas de contacte de la instal·lació elèctrica amb aquest tipus de bastidors, el corrent no assoleix valors tan elevats com en els bastidors metàl·lics i augmenta el risc del curtcircuit llunyà, és a dir, que fa mal sense arribar a disparar les proteccions de sobrecorrent.

Els ordinadors o altres dispositius electrònics de producció massiva no estan obligats a complir tan estrictament la normativa dielèctrica al seu interior. El conductor que connecta el connector exterior a l'interruptor d'encesa i el propi interruptor són uns punts febles difícils de detectar en assaigs normals de recepció. S'han enregistrat episodis d'encesa espontània amb l'aparell desconnectat, en el moment de quedar exposat directament a la insolació de l'estiu, procedent d'una finestra.

Els corrents pel neutre d'una distribució trifàsica de baixa tensió s'anul·len únicament en el cas que les càrregues estiguin equilibrades i provoquin corrents senoidals. Ordinadors, lluminàries de descàrrega i molts electrodomèstics monofàsics consumeixen corrents no senoidals quan es connecten a tensions senoidals. Si una instal·lació té una quantitat important d'aquest tipus de càrregues provoca la circulació de corrents de 150 Hz pel conductor de neutre, que poden arribar a doblar el valor nominal de la intensitat de les fases. Aquesta problemàtica de circulació del tercer harmònic pel neutre origina molts sinistres, per no haver-ho previst en el projecte, instal·lant un conductor de neutre més gruixut que el de les fases.

En els dissenys de motocicletes amb pila de combustible a base d'hidrogen, el casc del pilot i l'allotjament per a guardar-lo s'han de foradar per la part superior per a evitar la possible acumulació d'hidrogen en cas de fuga (Hernández, 2009).

CONCLUSIONS ELÈCTRIQUES

Proteccions

Analitzar les proteccions elèctriques pot ser determinant en alguns casos.

Sobre plànol es pot esbrinar la idoneïtat del disseny de seccions de conductor i corbes de dispar corrent-temps d'actuació.

Identificar i dur al laboratori permet verificar les corbes de dispar de magnetotèrmics i diferencials.

Si s'analitzen adientment els fusibles fosos es pot esbrinar el corrent i el temps de fusió:

- si la làmina conductora té una fusió única i les zones encunyades resten intactes o amb estriccions de la làmina, es tracta d'una sobrecàrrega;
- si la làmina conductora té diverses zones fosos i es veu intacta una zona amb aparença estanyada per una banda, es tracta d'un curtcircuit;
- la magnitud del corrent es pot deduir pel grau de fusió de la sorra que embolica el conductor i que, en fondre's, absorbeix el líquid per capil·laritat i forma l'eruga o fulgurita.

Un trencament de la continuïtat d'un conductor, per afluirament d'una connexió per exemple, pot provocar un arc en sèrie amb la càrrega. No és gaire habitual, però té efectes greus, ja que la generació puntual de molta escalfor localitzada en un punt de la instal·lació no la detecta cap de les proteccions habituals de la instal·lació elèctrica.

No sempre s'instal·len sensors directes d'escalfament als electrodomèstics o instal·lacions elèctriques, ja que és més habitual deduir l'escalfament a través del corrent que circula. En cas de curtcircuit o sobrecàrrega permet la desconexió abans d'assolir temperatures perilloses.

En el cas d'obstrucció dels sistemes de refredament o circulació d'escalfor dels aparells elèctrics, poden patir escalfaments perillosos sense superar el corrent nominal. Molts criteris estètics dificulten el refredament necessari dels electrodomèstics, o acosten materials combustibles de forma innecessària a fonts d'escalfor.

Llamps

Els conductors de rètols lluminosos en façanes afectats per un llamp solen tenir unes esqueixades dels dielèctrics molt característiques, a la corba d'entrada del conductor dins el mur, per a buscar la instal·lació elèctrica interior. Cal tallar el conductor abans i després de la corba, per analitzar-lo elèctricament com a mostra. Es pot mesurar la desaparició de l'aïllament entre conductors amb un megaòhmímetre o Megger,¹⁶ fet que demostra l'afectació per llamp. És un dels pocs casos en què queda rastre de la sobretensió, perquè el normal és que quedi destruït el conductor per la circulació del corrent de defecte a 50 Hz, posterior a la destrucció dielèctrica pel llamp.

Les sobretensions de llamp en les instal·lacions de baixa tensió poden travessar interruptors oberts, transformadors d'aïllament galvànic i saltar d'una instal·lació a una altra si tenen un tram paral·lel o pròxim, a causa de les capacitats paràsites entre el material. Cal mirar el llamp com una alta freqüència que s'acobla capacitivament amb tot el que queda proper. Només amb el coneixement de l'expert es poden establir els límits d'influència.

El corrent elèctric de descàrrega del llamp, en el seu camí cap a terra, tendeix a seguir la línia recta que és menys inductiva, fins i tot seguint per materials aparentment menys conductors. És típica la circulació per la saba de l'escorça dels arbres: l'efecte

16. Aparell per a mesurar resistències d'un valor molt elevat [n. de l'ed.].

pel·licular de l'alta freqüència fa que circuli per la perifèria del tronc i es concentra habitualment entre una branca i una arrel.

La humitat que impregna materials porosos sol patir una evaporació instantània al pas del corrent del llamp. Provoca un augment sobtat de la pressió de forma localitzada que destrueix el lloc de pas del corrent. És típic el seu efecte en arbres i en murs de morter de calç. Alguns materials poden patir també piròlisi al pas del corrent del llamp, que forma gasos combustibles susceptibles d'explotar tot seguit.

Bateries

La seva càrrega, en ser un procés llarg i sense supervisió humana, suposa un factor de risc, ja que defectes no previstos a la bateria, als cables o al carregador, poden originar incendis.

Quan una bateria es desconnecta del seu carregador, és millor desconnectar també de la xarxa el carregador.

La vibració associada als vehicles durant el seu moviment provoca desgast en els aïllants elèctrics, sobretot en els passos de cable a través de forats d'elements metàl·lics sense la protecció aïllant adient. Aquest desgast pot originar fallades dielèctriques fins i tot amb el vehicle aturat.

Les bateries de plom àcid desprenen hidrogen durant la seva càrrega, procedent de la hidròlisi de l'aigua de l'electròlit que envolta les plaques internes. El despreniment és màxim quan la bateria ja està carregada i continua connectada al seu carregador, sobretot si aquest és de baixa qualitat.

L'hidrogen forma atmosferes explosives amb relativa facilitat. Carregar bateries en llocs poc ventilats o amb geometries que permetin espais en forma de cubeta invertida és una situació de risc, perquè qualsevol guspira elèctrica pot inflamar la barreja de gasos, considerada explosiva en un ampli marge de proporcions combustible/comburent.

Atmosferes explosives

Una guspira de l'ordre de 0,3 mJ d'energia sol ser suficient per a inflamar la barreja de gasos en moltes ocasions.

Aquesta energia la supera fàcilment qualsevol espurna de soldadura per arc, la majoria d'arcs d'interruptor elèctric no antideflagrant i moltes de les guspises electrostàtiques originades per fricció triboelèctrica.

CASOS TÍPICS EN HABITATGE

Alguns dels casos més comuns d'incendi en habitatge són:

- incendi estructural d'un domicili originat en un matalàs d'un llit per una burilla encesa (figura 4.28 i 4.29);
- incendi originat possiblement per una burilla encesa a l'interior d'una paperera, que contenia càrrega de foc i que va provocar una propagació del foc a la resta d'estances (figura 4.30);
- incendi estructural en un domicili originat pel contacte directe de cortines amb una estufa encesa. L'estufa tan sols presenta afectació exteriorment (figura 4.31).

FIGURA 4.28. Incendi provocat per una burilla encesa



FIGURA 4.29. Detall del forat provocat per una burilla en el farcit d'un matalàs



FIGURA 4.30. Incendi iniciat en una paperera



FIGURA 4.31. Incendi provocat per contacte directe entre una cortina i una estufa



INCENDIARI,¹⁷ PIRÒMAN I ARSON¹⁸

L'*arsonisme* o *arson* és una de les principals causes de foc i de morts per foc als Estats Units, i representen aproximadament 3,6 bilions de dòlars les pèrdues directes per *arson* (Madrzykowski, 2002).

Tot i que hi ha un perfil d'incendiari fet per l'FBI (home, blanc, jove...), no ens resol gairebé res des d'un punt de vista psicopatològic; és més pràctic distingir entre incendiari i piròman.

Un piròman és una persona que no pot resistir els impulsos que el porten a fer focs, de forma intencional i deliberada en més d'una ocasió. Acostuma a experimentar activació o tensió emocional abans de l'acte incendiari. Té fascinació, interès i atracció pel foc i el que l'envolta (inclosos els bombers), experimenta benestar i gratificació en presència del foc o quan participa de les seves conseqüències.

No es pot considerar piròmana la persona que:

- tingui cap interès o benefici econòmic o ideològic en les repercussions de tot tipus que resultin de l'incendi;
- cal també que no hagi provocat el foc a fi d'amagar una activitat criminal, per expressar còlera o venjança o per millorar les pròpies condicions de vida;
- si el foc s'ha encès en resposta a deliris o al·lucinacions, o com a resultat d'una alteració del judici, o bé pateix un trastorn dissociat, un episodi maníac o un trastorn antisocial de la personalitat.

Es considera que només entre un 2,8% i un 4% del total dels incendiariis patològics¹⁹ serien classificables amb aquest diagnòstic de piromania.

El gruix dels incendiariis el trobem en persones que tenen algun tipus de patologia primària i que secundàriament fan focs. És a dir, gent amb algun trastorn mèdic o psicològic que entre la seva simptomatologia o les conductes que en deriven hi ha l'activitat incendiària.

17. Aquell que provoca incendis ja sigui accidentalment o intencionadament (Lorente, 1996).

18. Vocable anglès per referir-se al delicte d'incendi predeterminat. El català no disposa d'una paraula que descriu aquest cas concret.

19. Terme referit tant a piròmans com a subjectes que provoquen incendis de forma secundària a un trastorn primari (Lorente, 1996).

Aquesta confusió de la part (els piròmans) amb el tot (els incendiariis) fa que s'arribi a la conclusió que no val la pena intervenir en els incendiariis patològics, i això és un error greu, ja que una part difícil de quantificar però, sens dubte, important dels incendis que es produeixen al nostre país, pot ser atribuïda sense cap mena de dubte als incendiariis patològics.

Tres grups inclouen prop del 90% dels incendiariis, la resta es reparteix entre piròmans i diferents patologies (bastant comuns) no psíquiques i que en aquest llibre no es tracten.

- **Grup dels trastorns de conducta (dissocial).** Es calcula que a l'Estat espanyol hi ha uns quatre-cents mil menors de divuit anys afectats amb aquest trastorn; es considera també que aproximadament un 4,5% d'aquests tindrien conductes incendiàries en més d'una ocasió. Es tracta doncs d'un trastorn bastant comú i que presenta diferents graus de severitat. Els menors d'aquest grup que provoquen incendis acostumen a ser els més greus, és a dir, abans de fer focs ja han manifestat un seguit de conductes antisocials, com ara robatoris, fugides de casa, problemes amb els seus mestres, etc. Aquest incendiariisme infantil i juvenil no s'ha de confondre amb el joc amb foc, que forma part de les conductes exploratòries pròpies d'infància i que en principi no és patològic. Molts dels focs en solars, contenidors i papereres, així com els de vegetació a l'entorn dels nuclis urbans, poden atribuir-se a aquest grup.
- **Grup dels trastorns de personalitat.** Especialment el trastorn antisocial (dissocial) i el trastorn límit de la personalitat. En el trastorn antisocial de vegades el foc té un ús instrumental, és a dir s'utilitza el foc per encobrir un altre delictes, per exemple robar un cotxe i cremar-lo per no deixar rastres, o bé calar foc a la propietat d'algú com a venjança. Encara que aquests trastorns estan clarament definits com a patològics no són cap eximent davant de la justícia i de fet es calcula que aproximadament un 16% dels interns en els centres penitenciaris responen a aquest diagnòstic. Són el que col·loquialment s'anomenen psicòpates, encara que aquest terme es presta a moltes confusions, a causa en gran mesura de l'ús i l'abús que se n'ha fet en els mitjans de comunicació, novel·les i pel·lícules.
- **Grup de les psicosis.** En aquest s'inclouen els adults afectats per patologies del grup de les esquizofrènies i els trastorns bipolars. Els primers acostumen a fer els focs en resposta a estats delirants i al·lucinacions generalment auditives, poden «sentir veus» que els ordenen entre altres coses fer focs, o bé per «protegir-se» de persecucions que només estan al seu pensament. Pel que fa al trastorn bipolar, els focs que s'inicien en la fase maníaca poden deure's a accidents o imprudències derivats de la conducta eufòrica que els caracteritza, o bé respondre a intencions megalomàniques de «passar a la posteritat fent-ne una de grossa»; això els porta a incendiar objectius emblemàtics com ara edificis amb un gran valor simbòlic (la història n'és plena de casos d'aquest tipus). Si el foc s'inicia en la fase depressiva, solen estar relacionats amb intents de suïcidi: és molt corrent l'ús del gas domèstic que pot acabar en greus conseqüències per al suïcida i el seu veïnat.

Arribat aquest punt és obligada la pregunta de quines són les causes que patologies diverses, en determinats casos resultin en una mateixa conducta. Hi ha diferents hipòtesis, sovint vinculades als diferents paradigmes psicològics: potser la més coneguda sigui la interpretació psicoanalítica, que vincula l'incendiariisme a la sexualitat. Tot i que s'han informat casos d'incendiariis masturbant-se davant les flames, sembla, per les dades que es tenen actualment, que aquesta vinculació seria només aplicable a una part dels incendiariis diagnosticats com a piròmans purs.

Des de paradigmes més positivistes (conductuals i cognitius), la major part de la conducta incendiària es vincularia més aviat amb la necessitat de control de l'entorn. Així, els incendiaris que com a característica comuna tenen unes habilitats socials baixes i molta por de la confrontació interpersonal (són poc donats a la violència física), exerceixen la seva alta agressivitat vers els objectes i no, almenys directament, contra les persones, d'aquesta manera aconsegueixen una percepció de control de l'entorn. Dit d'una altra manera: persones amb una història de fracassos personals de tot tipus es senten molt alleugerits i reforçats veient l'empenta de les flames, l'esglai de la gent, sentint el soroll de les sirenes i tot el moviment i agitació que es relaciona amb els incendis, perquè ells, iniciant el foc, han desencadenat tots aquells esdeveniments. Sovint s'afegeix a tot això la venjança com a motivació inicial.

Ha estat també teoritzada la intenció comunicativa dels incendis, que s'atribueix principalment a psicòtics que, una vegada donats d'alta d'un centre psiquiàtric, fan focs per reclamar indirectament el seu reingrés, ja que la complexitat de la vida fora del centre, els fa desitjar l'ambient controlat i segur de la institució psiquiàtrica.

De fet sembla que una certa intenció comunicativa sigui present en tots els incendiaris que acostumen a fer trucades a les centrals de bombers (i en són molts), sigui per donar falses alarmes, per adjudicar-se incendis o fins i tot per anunciar les seves properes activitats, encara que la major part de les trucades que fan siguin només disruptives.

CAPÍTOL 5

SIMULACIÓ I EXPERIMENTS ELÈCTRICS DE LABORATORI

SIMULACIÓ COMPUTACIONAL D'INCENDIS

Els avenços en la ciència del foc han permès el desenvolupament dels models d'incendi, que donen la possibilitat de definir les característiques i el comportament d'aquest fenomen. L'objectiu d'aquests models és descriure els processos que comporta l'incendi mitjançant expressions matemàtiques, normalment força complicades i basades en la mecànica del medi continu i la fisicoquímica.

La complexitat i la diversitat d'aquests processos fa que, d'una banda, tots els models tinguin limitacions: la utilitat d'un model dependrà dels objectius finals de l'estudi. D'altra banda, aquesta complexitat i diversitat també té com a conseqüència que la modelització sigui complexa. Hi ha modelitzacions simplificades amb formulació i solució analítica, però quan es busca una solució rigorosa cal emprar models que s'han de resoldre amb mètodes numèrics, i per això es requereix l'ús de l'ordinador. Cal entrar en el camp de la simulació computacional.

La simulació d'un incendi consisteix a definir amb criteri les dades d'entrada del model d'incendi, executar en un ordinador el programa informàtic que l'implementa i, finalment, verificar i analitzar els resultats obtinguts.

Entre les diferents aplicacions de la simulació hi ha la d'analitzar les causes, l'evolució, les actuacions i les conseqüències d'un incendi (Alvear *et al.*, 2007). Per aquesta raó pot ser útil en el camp de la investigació d'incendis en l'edificació. Dóna eines per provar hipòtesis en relació amb l'origen i la causa del foc i en relació amb la causa dels desperfectes produïts en l'edifici o les lesions produïdes sobre les persones.

La simulació també es pot aplicar per predir les conseqüències d'un incendi en un escenari determinat, o bé com a eina de disseny per avaluar l'efectivitat de les mesures contra incendi. En aquest sentit, és una eina d'avantatges remarcables perquè es pot emprar de forma reiterada variant els paràmetres d'entrada del model, i perquè és relativament econòmica, si es compara amb els costos d'un assaig experimental.

En general, els principals desavantatges de la simulació són: el requeriment de personal molt qualificat per a la seva realització; el seu aprenentatge complex; la necessitat de molta experiència per obtenir i avaluar els resultats correctes de forma eficient, i el cost computacional, ja que els temps de càlcul poden ser molt elevats.

No obstant això, amb motiu del gran valor d'aquesta eina, organitzacions tècniques internacionals que treballen en el camp de la investigació d'incendis, com ara la NFPA, recomanen que es conegui la simulació computacional, estudiar-la, entendre-la i fer-la servir.

MÈTODES DE SIMULACIÓ D'INCENDIS EN RECINTES TANCATS

Les diferents tècniques de simulació s'han desenvolupat per resoldre les equacions de govern d'un incendi. Les equacions fonamentals són l'equació de conservació de la massa, l'equació de conservació de les espècies, l'equació de conservació de la quantitat de moviment i l'equació de conservació de l'energia (Alvear *et al.*, 2007).

Ja dins el camp de la simulació, cal esmentar l'existència dels models de zona i dels models de camp, que varen començar a desenvolupar-se a finals de la dècada dels setanta i principis dels vuitanta, respectivament. Actualment, els fonaments teòrics d'aquestes tècniques de simulació, i els programes d'ordinador que les implementen, han arribat a un grau de maduresa suficient com per poder utilitzar-les de forma eficient; de fet són els dos models més aplicats avui en dia. El model de camp és el més potent i el que, amb el pas dels anys, segurament acabarà imposant-se. El model de zona i el model de camp pertanyen al grup de models anomenats deterministes (Alvear *et al.*, 2007). Els dos propers subapartats inclouen una descripció sobre quines són les seves prestacions i limitacions.

Hi ha un segon grup principal de models d'incendi, el dels estocàstics. Alguns d'aquests models estocàstics consideren l'incendi com una sèrie de successos amb una probabilitat donada d'ocurrència. No fan servir els models matemàtics de l'incendi sinó que es basen en dades estadístiques d'incendis reals o simulats per definir la probabilitat estadística dels successos. Serveixen per donar una probabilitat dels desperfectes en un edifici. Hi ha d'altres models estocàstics que es caracteritzen per aplicar les equacions matemàtiques de govern de l'incendi, considerant que alguna de les variables d'entrada té un caràcter aleatori.

MODELS DE ZONA

En els models de zona, el recinte on es simula l'incendi es divideix en dues capes:

- la capa superior calenta, on s'acumulen els gasos producte del foc, i
- la capa inferior freda, on els gasos són més freds i es troba l'aire per la combustió.

Sobre el punt d'inici de l'incendi es considera el tercer element del model, el plomall de foc. El foc es tracta com un plomall amb origen a la capa freda que tramet els productes calents de la combustió a la capa superior. A mesura que calor i massa són impulsats cap amunt, aquesta darrera capa augmenta de volum, fet que provoca el descens de la interfície entre zones. En alguns programes, quan s'entra a la fase d'incendi completament desenvolupat es passa del model de dues zones a un model d'una sola zona (Marimon *et al.*, 2008).

Els models de zona admeten la possibilitat de simular la pèrdua d'energia que es produeix en el compartiment de l'incendi. Poden reproduir la transmissió de calor entre les capes i les superfícies que les limiten (parets, sostre i terra). També es preveu la possibilitat d'intercanvi de massa i calor amb l'exterior a través d'obertures com ara portes i finestres.

La majoria de models de zona fan servir onze variables físiques diferents que es dedueixen de les equacions de conservació que governen l'escenari de l'incendi, les equacions constitutives dels gasos i les condicions de contorn. Algunes de les variables són:

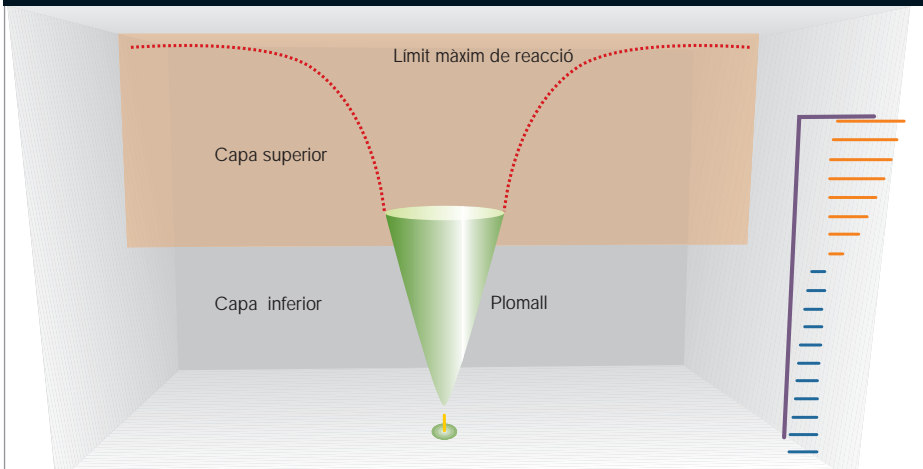
- la densitat
- l'energia interna
- el volum
- la massa de gas

- la temperatura de les capes calenta i freda
- la pressió absoluta del compartiment.

La principal simplificació dels models de zona és la consideració que aquestes propietats són constants a tot l'interior de les capes. Per exemple, cada una té una temperatura i concentració de gasos uniforme. Això és admissible perquè la diferència dels valors d'aquestes propietats entre cada capa és molt més gran que les diferències que hi ha a dintre de cada una d'elles. Es tracta d'una simplificació important que fa que els resultats del model no siguin precisos en determinades circumstàncies, com per exemple en les últimes fases d'un incendi (Rein *et al.*, 2004). Cal apuntar, però, que precisament aquesta hipòtesi simplificada permet desenvolupar algorismes d'anàlisi d'execució molt ràpida, amb temps de càlcul baixos. Aquest és un dels principals avantatges dels models de zona.

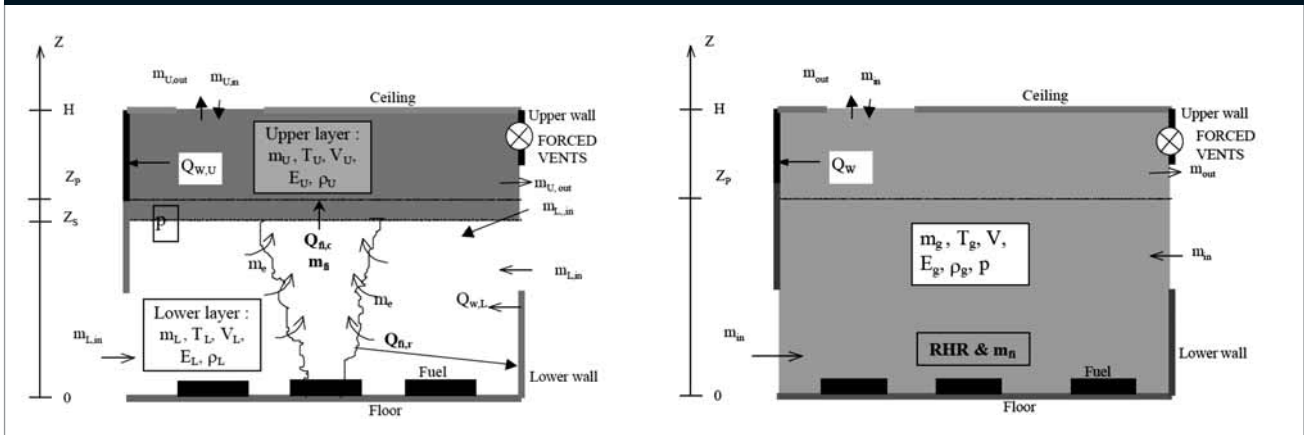
Hi ha una gran quantitat de programes informàtics que implementen aquest tipus de model. Es caracteritzen per ser relativament senzills d'utilitzar i d'interpretar-ne els resultats.²⁰ A continuació es mostren les prestacions i limitacions que donen aquests programes a partir d'una descripció sobre les seves dades d'entrada bàsiques i els resultats que acostumen a produir. No tots els programes permeten fer tot el que s'apunta en els apartats següents.

FIGURA 5.1. Model de zona d'un compartiment amb una porta (Peacock, Jones, Reneke, Forney, 2008)



²⁰ A Alvear *et al.* (2007) es pot trobar una llista d'uns vint programes diferents, alguns dels quals, com ara l'OZONE (Cadorin, Pintea, Franssen, 2001) i CFAST (Peacock, Jones, Reneke, Forney, 2008), són de lliure distribució.

FIGURA 5.2. Transició de la simulació des de dues zones a una zona (Cadorin, Pintea, Franssen, 2001)



DADES D'ENTRADA EN MODELS DE ZONA

Una de les dades inicials bàsiques és la forma i les dimensions del compartiment on es produeix l'incendi. Alguns programes presenten limitacions en aquest sentit, perquè només permeten l'anàlisi de compartiments molt regulars, tipus rectangular. D'altres ofereixen més possibilitats, com ara compartiments de geometria qualsevol en planta i amb tipologies específiques en alçat, com per exemple sostre pla, a una aigua o a dues aigües. No obstant això, en general no es pot introduir una geometria qualsevol i difícilment es poden simular geometries complexes amb precisió.

Les característiques dels materials de les superfícies que limiten el compartiment (parets, sostre i terra) és una altra dada inicial. Se n'ha de definir el gruix, la densitat, la conductivitat, la calor específica i l'emissivitat. A les parets també es poden incloure obertures, tipus porta o finestra, i per tant tenir en compte els efectes de ventilació. A més, les obertures poden ser en funció de la temperatura del compartiment o del temps. Això permet simular, per exemple, l'efecte del trencament d'una finestra a 300 °C. Alguns programes donen la possibilitat de tenir en compte els exutoris i aparells de ventilació forçada, i d'altres la simulació de més d'un compartiment i el bescanvi de matèria i calor que es produeix entre ells.

El següent punt a definir és l'incendi. Les dades a introduir en aquest cas són la seva posició en planta i en alçada, la seva àrea i la corba de velocitat de cessió de calor. Hi ha programes que permeten considerar més d'un punt d'incendi, amb la possibilitat que la ignició comenci en diferents instants de la simulació en funció de la temperatura o del flux de calor.

Alguns altres programes implementen l'opció de tenir en compte sistemes de detecció (detecció de calor i fum) i extinció d'incendis (ruixadors). En aquest cas caldrà introduir la posició d'aquests dispositius.

Finalment, cal introduir la temperatura i la pressió inicials, i el temps de simulació.

RESULTATS DELS MODELS DE ZONA

Els resultats dels models de zona permeten conèixer de forma acceptable les condicions en què es troba el compartiment durant el procés de l'incendi. Les dades bàsiques de sortida dels programes que els implementen són les temperatures de la capa freda i calenta i l'alçada de la interfície entre capes. El fum es considera contingut en la capa calenta, per aquesta raó s'assimila l'alçada de la interfície com l'alçada de la capa de fums. Aquestes dades s'acostumen a expressar en forma de gràfiques amb funció del temps.

A banda d'aquestes dades principals, els programes també acostumen a donar: la corba de velocitat de cessió de calor computada, l'àrea de l'incendi, la pressió, les temperatures en parets, sostre i terra, l'evolució de l'oxigen, el fum visible i les concentracions de cada una de les espècies de gas.

Altres resultats possibles, en funció del grau de sofisticació del programa utilitzat, són els temps d'activació dels aparells de detecció i extinció d'incendis (CFAST) o la verificació resistent de l'estructura metàl·lica (OZONE).

MODELS DE CAMP

Avui en dia els programes informàtics que implementen els models de camp són els que duen a terme les anàlisis de l'escenari de l'incendi amb més precisió. Com en el cas dels models de zona, també hi ha un bon nombre de programes que els fan servir. L'explicació que s'inclou a continuació es centra en un dels programes més utilitzats, el Simulador de Dinàmica d'Incendis (FDS)²¹ de l'Institut Nacional de Tecnologia i Normalització dels Estats Units (NIST).²² És un programa de distribució gratuïta, del

21. Sigla de la seva denominació original en anglès, Fire Dynamic Simulation.

22. National Institute of Standards and Technology.

qual fàcilment es troba informació sobre el seus fonaments teòrics i funcionament pràctic (McGrattan, Hostikka, Floyd, 2009).

La simulació d'incendis ha estat molt lligada a la dinàmica de fluids computacional, ja que van ser els avenços en aquesta disciplina els que van permetre l'aplicació pràctica dels models de camp. Per aquesta raó, la simulació computacional d'incendis s'acostuma a associar a la simulació computacional de fluids.²³ Per a la simulació d'incendis n'hi ha prou treballar amb una versió simplificada de les equacions de la dinàmica de fluids.²⁴

El model de camp de l'FDS, a banda de les cinc equacions esmentades, també inclou:

- un model de combustió, del qual resulta la corba de cessió de calor de l'incendi;
- un model per tractar el flux turbulent dels gasos, que ha estat un dels problemes més difícils de resoldre de la dinàmica de fluids computacional aplicada a incendis;
- i un model per tractar el transport per radiació.

Pel que fa a la transmissió de calor entre els gasos i els contorns, a més de la radiació, també es té en compte la convecció. Val la pena apuntar que aquests contorns (parets, objectes...) es poden escalfar i també cremar.

La solució de les equacions diferencials simplifiades es porta a terme aplicant el mètode de les diferències finites per aproximar les derivades en l'espai; i les variables de flux es computen en el temps fent servir un algoritme explícit tipus predictor-corrector. L'aplicació d'aquest mètode comporta dividir els recintes a analitzar en una malla que conté un gran nombre de cel·les. Aquesta malla és ortogonal i molt regular, a causa de les limitacions intrínseques del mètode de les diferències finites quant a la discretització del domini. Com més cel·les s'hi col·loquen, més precisos són els resultats, però els temps de càlcul també són més llargs. En realitat, els elevats temps de càlcul que comporta la solució dels models de camp és un dels seus principals desavantatges. És habitual que els càlculs d'una anàlisi s'executin en diversos ordinadors treballant en paral·lel.

Tot seguit es fa una petita explicació sobre les dades d'entrada i sortida del programa FDS per tal de donar una idea de les seves prestacions. Cal apuntar que aquest programa és molt complet i que ofereix moltes possibilitats tant de dades inicials com de resultats. Per aquesta raó, només es mostra un resum de les que s'han considerat més rellevants.

DADES D'ENTRADA EN MODELS DE CAMP

El primer que es defineix és el domini de simulació que conté tots els compartiments a analitzar. El domini està constituït pel conjunt de cel·les necessari per poder resoldre les equacions de govern de l'incendi. El nombre de cel·les és molt gran, ja que cal que les seves dimensions siguin prou petites com per reproduir correctament tots els elements que es col·loquen a l'interior del domini. Les parets, les obertures, els objectes... que s'inclouen a la simulació marquen la mida mínima d'aquestes cel·les. Hi ha la possibilitat de refinar la malla de les cel·les en determinades zones, per fer servir cel·les més petites allí on la geometria sigui més complexa o on es vulgui més precisió. També es pot subdividir el domini en diferents submalles de tal manera que es pugui definir un temps de pas de solució de les equacions diferent a cada una. En les zones on hi ha poc moviment aquest pas pot ser més gran i d'aquesta manera es pot minimitzar el temps de càlcul.

L'entrada directa de la geometria a l'FDS és força feixuga, pràcticament per teclat i amb una sintaxi específica. Per aquesta raó, podem trobar al mercat una oferta de programari orientat a l'entrada de la geometria a l'FDS mitjançant eines potents de modelat i la conversió de fitxers tipus dwg o similars.

Tal com s'ha apuntat anteriorment, un dels principals problemes dels models de camp és el seu alt cost computacional, que és una conseqüència directa de la gran quantitat de cel·les definides en el domini. Per reduir al màxim els temps de simula-

23. Designada sovint amb l'acrònim CFD de l'anglès Computational Fluid Dynamics.

24. A Alvear *et al.* (2007) es pot trobar una explicació completa sobre les simplificacions considerades en les equacions bàsiques del model: les equacions de conservació de la massa, conservació de les espècies, conservació de la quantitat de moviment, conservació de l'energia i l'equació d'estat. La principal conseqüència de les hipòtesis simplificatives és que la seva aplicació només és vàlida per simular el moviment de gasos de baixa velocitat. No es pot fer servir en aplicacions on les velocitats són properes a la velocitat del so, com és el cas de les explosions i les detonacions.

ció, sense perdre precisió, es recomana fer sempre una anàlisi de sensibilitat dels resultats respecte a la mida de cel·la.²⁵ Cal apuntar que hi ha una sèrie de paràmetres per avaluar si la malla es prou precisa, com per exemple l'índex de resolució o el diàmetre característic (Alvear *et al.*, 2007).

El pas següent és introduir els elements de l'interior del domini computacional, com ara parets i mobles, a partir de les seves coordenades. A les parets es defineixen obertures que es poden obrir i tancar durant el procés d'anàlisi. En aquesta fase també es posiciona la superfície de l'incendi. Un foc es modela generant un element sòlid i especificant en una de les seves superfícies les característiques tèrmiques i de combustió.

Pel que fa a la combustió, el programa dóna l'opció de definir-ne els paràmetres, que es poden agafar d'una base de dades existent, o bé els pot especificar l'usuari. Els paràmetres de la combustió són aquells relacionats amb la reacció en fase gas entre el combustible i l'oxigen. Quan són definits per l'usuari, hi ha la possibilitat de fixar els valors següents: coeficients estequiomètrics, pes molecular del combustible, fracció de massa d'oxigen a l'ambient, fracció de massa de combustible en el flux de combustible, fracció de massa combustible convertida en partícules de fum, fracció de massa de combustible convertida en monòxid de carboni, energia per unitat de massa d'oxigen i la fracció d'energia cedida des de la flama com a radiació tèrmica.

El darrer conjunt de dades bàsiques d'entrada són les que el programa anomena condicions de contorn, que classifica en quatre tipus: tèrmiques, de velocitat, dependents del temps i dependents de la temperatura. Les característiques de l'incendi també són considerades com a condicions de contorn de la superfície on es produeix. En aquest cas es pot introduir, entre d'altres paràmetres, la velocitat de cessió de calor per unitat d'àrea, temperatura en què el material comença a cremar, etc.

Les condicions de contorn de tipus tèrmic engloben les propietats del material de les parets: conductivitat tèrmica, densitat, calor específica i emissivitat. També sobre les parets val la pena apuntar que hi ha la possibilitat que en la cara oposada al compartiment es pugui considerar l'existència d'aire a temperatura ambient, aïllant (per tant, sense pèrdua de calor) o un compartiment adjacent. Les condicions de contorn dependents de la velocitat permeten simular l'efecte de ventiladors o d'extractors d'aire. Entre les condicions dependents del temps hi ha la velocitat de cessió de calor i, finalment, les dependents de la temperatura permeten fer que paràmetres tèrmics, com ara la calor específica d'un sòlid o la seva conductivitat tèrmica, siguin funció d'aquesta variable.

Per acabar aquesta breu repassada sobre les dades d'entrada principals, es fa esment que el programa pot preveure dispositius d'extinció i detecció d'incendis. Es poden simular ruixadors, tot definint la seva orientació, el temps de resposta, temperatura d'activació, pressió d'operació, velocitat inicial de les gotes, flux de massa d'aigua, etc., així com detectors de calor i fum, tenint en compte el seu índex de resposta i temperatura d'activació. En algun cas són els dispositius comercials existents al mercat.

RESULTATS DELS MODELS DE CAMP

L'FDS ofereix la possibilitat de treure resultats numèrics de l'anàlisi per veure l'evolució temporal de variables de diferents tipus, per exemple la temperatura en un punt, el flux de massa a través d'una obertura o la cessió de calor total dintre d'un volum a l'interior del domini.²⁶

El programa té una sortida gràfica força completa amb un visualitzador, també gràtic, anomenat Smokeview. Les principals variables que s'obtenen de l'anàlisi es poden representar en el domini de diferents formes: en una secció, tal com mostren les figures dels perfils de temperatura de l'exemple que s'inclou al final d'aquest capítol; en les superfícies dels elements sòlids, per exemple la temperatura a les parets; o es poden dibuixar isosuperfícies, com ara superfícies d'igual temperatura de gas.

25. Vegeu, per exemple, l'anàlisi feta per Marimon *et al.* (2008).

26. A Shen, Huang, Chien (2008) hi ha una llista de totes les possibles variables de sortida. Destacar, a banda de les ja esmentades, la densitat, velocitat del fluid (components vectorials), pressió, concentració d'espècies, concentració de partícules de fum, visibilitat i la temperatura de les parets.

APLICACIÓ EN EL CAMP DE LA INVESTIGACIÓ D'INCENDIS

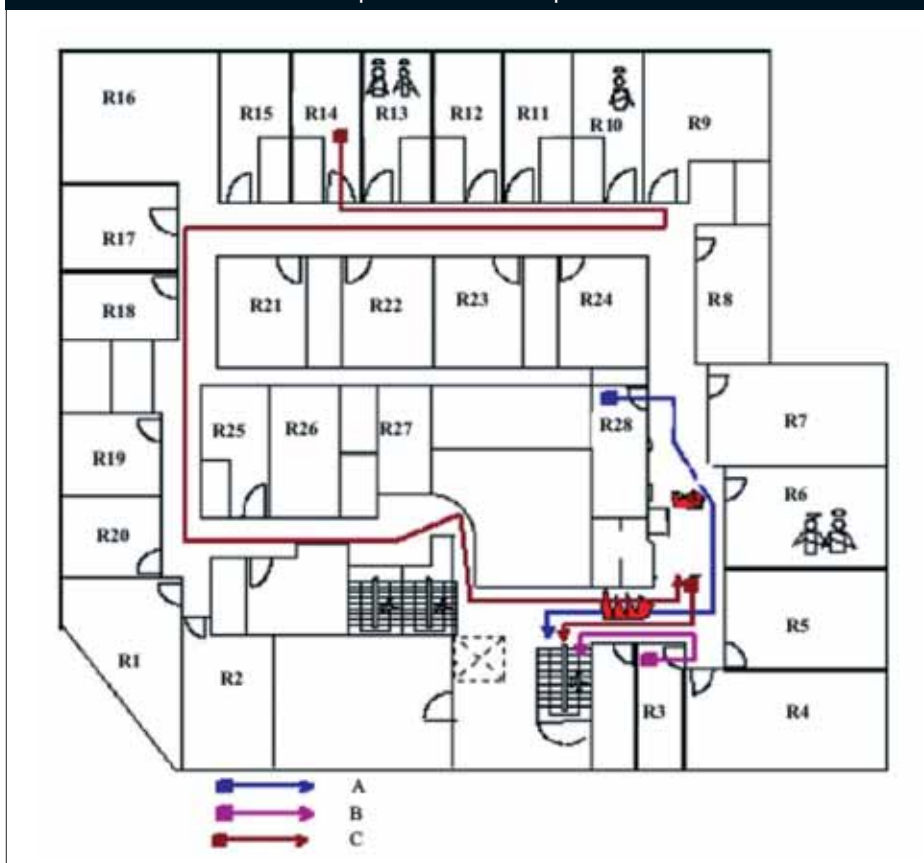
El resultat de la investigació d'un incendi no només és una referència per a ajustar les polítiques de seguretat contra el foc, sinó que també representa un ajut professional important a les autoritats judicials per a identificar responsabilitats civils i criminals. Amb el desenvolupament de la ciència del foc, als jutjats s'està optant per fer servir mètodes científics per a demostrar evidències de l'escenari de l'incendi. Com a conseqüència, la simulació d'incendis passa a ser una eina important en la investigació.

Els resultats de les simulacions (temps de combustió, temperatura, alçada de flama i de capa de fum, propagació, etc.), comparats amb la situació real de l'escenari de l'incendi, poden servir de guia a la investigació. Poden ser útils per a estimar la seqüència de combustió dels materials inflamables, contribuir a seguir la pista de la direcció de combustió per a emmarcar l'àrea de l'origen d'un incendi i, a partir d'aquí, buscar la seva causa precisa de forma racional.

SIMULACIÓ D'INCENDI ARSON A UN HOTEL DE TAIWAN²⁷

L'incendi de l'hotel va tenir lloc a la ciutat de Taoyuan, Taiwan, a les 8.25 d'un matí del mes de novembre de 2003. L'edifici té deu plantes i està dedicat a diverses activitats, incloent-hi bars, bodegues, discoteques, residències, una associació de persones discapacitades, i l'hotel. L'hotel estava a les plantes sisena i setena, les dues amb la mateixa distribució. Les dades de la planta on es va iniciar l'incendi es recullen a la taula 5.1 i a la figura 5.3.

FIGURA 5.3. Distribució de la 7a planta i rutes d'escapament



27. Aquest és un exemple d'aplicació de la simulació computacional per a reconstruir l'escenari d'un incendi arson en un hotel. El contingut de l'apartat és un resum de l'article «Using fire simulation (FDS) to reconstruct an arson fire scene» (Shen, Huang, Chien, 2008). Es manté pràcticament la mateixa estructura i continguts de l'article original. Traducció de Miquel Casafont.

TAULA 5.1. Dades de la planta 7a.

Característiques	Valor
Dimensions totals de l'espai	46 m x 31 m x 3 m
Alçada	2,8 m
Àrea	45 m x 30 m = 1.350 m ²
Alçada sota sostre	2,2 m
Temperatura inicial	20 °C
Habitacions a la planta	(mostrador del servei, magatzem 1, magatzem 2, despatx, lavabo públic) x 1, Vint-i-vuit habitacions (vegeu el plànol de la figura 5.3)
Material de les parets	Paret exterior: formigó Paret interior: plafons de guix (gruix de 0,15 m)
Ventilació	Pati interior 6 m x 6 m = 36 m ² , alçada del vestibul 5,8 m, finestra tancada

El foc inicial va ser al mostrador del servei de la setena planta, on també van haver-hi els desperfectes més grans. L'incendi va ser *arson*, causat per l'abocament de gasolina sobre la catifa del vestibul. El foc va començar ràpidament i el fum es va expandir prou de pressa com per impedir que alguns ocupants es poguessin escapar: va causar cinc persones mortes a la planta on es va originar i deu de ferides a les altres plantes.

La taula 5.2 conté una relació dels materials que es van cremar. Cal tenir en compte les dades d'aquesta taula a l'hora de generar el model de la simulació.

TAULA 5.2. Llista de materials cremats

Ítems	Material combustible	Mida/quantitat
Dos carrets per a servei d'habitacions	Tovallola, llençol, bossa d'escombraries	Tovallola, llençol: (0,7 m x 1 m x 0,25 m) x 4 Plàstic: (0,7 m x 1 m x 0,04 m) x 4 Bossa d'escombraries: (0,7 m x 0,7 m x 0,15 m) x 1
Mostrador del servei	Tovallola, llençol, roba, coixinera, cobrellit, cadira de despatx	Tovallola, llençol, roba: (2 m x 0,25 m x 0,2 m) x 6 Coixinera, cobrellit: (2 m x 0,25 m x 0,2 m) x 2 Cadeira de despatx (0,5 m x 0,5 m x 0,15 m) x 2
Magatzem	Material de suport com vasos de paper, roba, caps de paper	Tovallola, llençol, roba: (2 m x 1 m x 0,2 m) x 6 Puf: (2 m x 1,0 m x 0,2 m) x 2
Catifa	10 mm de gruix	A la solera sense combustió estesa
Xapes de fusta	Mostrador del servei, magatzem 1, magatzem 2, totes xapes de fusta que hi ha col·locades	Prestatgeria: (1 m x 1 m x 2,2 m) x 1 (0,02 m de gruix) Mostrador del servei, magatzem 1, magatzem 2: (1-2 m x 1-2 m x 1-2,2 m) x 10 (0,02 m de gruix)
Vestibul	Decorat amb xapa de fusta	(1-2 m x 1-2 m x 1-2,2 m) x 4 (0,02 m de gruix)
Accelerant	Gasolina	(0,8 x 0,8)m ² posició 1 (0,6 x 1)m ² posició 2
Humitat: normal 60-70%		

La taula 5.3 descriu el comportament dels supervivents de l'incendi i es fa servir per verificar si la simulació dóna resultats coherents.

TAULA 5.3. Accions dels supervivents durant l'incendi

Ocupant	Situació en planta	Anàlisi de temps
A	Ocupant de l'habitació 28, el primer a descobrir l'incendi	Va olorar el fum provinent del vestíbul, va trucar al mostrador del servei E i després va veure que el foc arribava al sostre a la zona del carret del servei d'habitacions, va escapar-se a la 6a planta (havien passat aproximadament 20 s), va agafar l'ascensor cap a la 1a planta (havien passat aproximadament 100 s)
B	Ocupant de l'habitació 3, el primer client que va rebre l'alarma de foc del mostrador del servei	Va fugir immediatament de l'habitació sense tancar la porta. Quan va passar pel costat del magatzem, no hi havia foc (havien passat aproximadament 25 s)
C	El director de l'hotel, la primera persona que va rebre l'alarma del mostrador del servei	Va anar de l'habitació 14 a la cantonada de l'habitació 9 i va veure que el foc creixia ràpidament (havien passat aproximadament 30 s), va córrer en direcció contrària travessant el vestíbul cap al passadís de les habitacions 6, 28 i 7 i va extingir el foc al davant del mostrador del servei. No hi havia foc al magatzem en aquell moment (havien passat aproximadament 60 s)
D	Encarregat del servei a la 7a planta	Menjava a la 6a planta, va rebre el missatge de foc de l'encarregat del servei de la 6a planta (E) i va anar a la 7a, on va trobar el vestíbul del mostrador del servei ple de fum (havien passat aproximadament 30 s)
E	Encarregat del mostrador del servei de la 6a planta	Va rebre el missatge de l'ocupant A, va notificar-ho immediatament a C i D, i al client B perquè s'escapés, després va trucar per telèfon a l'habitació 6 però ningú va respondre i aviat el telèfon es va tallar (havien passat 60 s), l'alarma es va activar (havien passat aproximadament 90 s), falla el subministrament d'electricitat (havien passat aproximadament 100 s).
F	Ocupants de l'habitació 26 Tres ocupants	Van olorar el fum i van preguntar al mostrador del servei sobre la situació (havien passat aproximadament 30 s), van demanar a l'encarregat del servei que activés l'alarma, i aquesta va funcionar (havien passat aproximadament 90 s). En aquell moment, el foc creixia ràpidament. El temps transcorregut total era inferior als tres minuts.
G	Ocupant de l'habitació 4	Va acabar de sopar a la 6a planta i va pujar a peu a la 7a, va trobar el vestíbul ple de fum sense llum. En aquell moment, l'encarregat estava avisant els altres ocupants (havien passat aproximadament 15 s). L'encarregat va trucar a l'ambulància i aleshores l'ocupant A va córrer avall per les escales (havien passat aproximadament 20 s).

Simulació de l'incendi fent servir l'FDS i anàlisi dels resultats

• Foc de càlcul

El foc de l'hotel és un acte incendiari causat per l'abocament i la ignició de gasolina en una catifa. Després d'una detallada investigació de l'escenari del foc a la zona cremada, i conegut el gruix de la catifa (10 mm), la quantitat de líquid inflamable es pot predir de forma raonable. Tot seguit es presenta aquesta estimació conjuntament amb altres paràmetres necessaris per a l'anàlisi:

- a) La primera zona cremada contenia gasolina sobre $0,8\text{ m} \times 0,8\text{ m} = 0,64\text{ m}^2$, gairebé 6 o 7 litres; la densitat de la gasolina és de $0,74\text{ kg/l}$, la massa de la gasolina és d'uns $4,8\text{ kg}$.
- b) La segona zona cremada contenia gasolina en $1,5\text{ m} \times 0,6\text{ m} = 0,9\text{ m}^2$, gairebé 9 l; uns $6,66\text{ kg}$.
La quantitat total de gasolina va ser gairebé de 15 l , que és un valor raonable considerant els inconvenients de portar-la a l'escenari de l'incendi.
- c) Càlcul del coeficient de cessió de calor (HRR-*heat release ratio*) de la gasolina
 $Q = \text{ràtio de combustió (kg/m}^2\text{s)} \times \text{calor de combustió (MJ/kg)} = 0,036\text{ kg/m}^2 \times 43,7\text{ MJ/kg} = 1573\text{ kW/m}^2$.
- d) Temps de combustió: $T = \text{pes de la gasolina/ràtio de combustió (m/s)} = \text{àrea (A)} \times \text{gruix} \times \text{densitat} / \text{ràtio de combustió (m/s)} = 0,8\text{ m} \times 0,8\text{ m} \times 0,01\text{ m} \times 0,74\text{ (kg/l)} / 0,8\text{ m} \times 0,8\text{ m} \times 0,036\text{ (kg/m}^2\text{ s)} = 205\text{ s}$. Prenent 210 s , si assumim una eficiència de combustió de $0,8$, el temps total de combustió és aproximadament 260 s .
- e) Alçada de la flama: HRR: $Q = 0,036\text{ kg/m}^2 \times 43,7\text{ MJ/kg} \times (0,8\text{ m} \times 0,8\text{ m}) = 1006\text{ kW}$. Aquest HRR està dintre dels límits de la correlació de Heskestad: $0,12 < Q < 1,2 \times 10^{10}\text{ (kW)}$. Alçada de flama: $L_f = 0,23Q^{2/5} - 1,02D = 0,23(1006\text{ kW})^{2/5} - 1,02(0,8\text{ m}) = 2,83\text{ m}$. El valor de $Q^{2/5}/D$ està dintre del rang de validesa: $7 < Q^{2/5}/D = 19,81 < 700\text{ (kW}^{2/5}/\text{m)}$. El valor és suficientment alt com per arribar a l'alçada del sostre de $2,2\text{ m}$, i està d'acord amb les afirmacions dels testimonis.

• Simulació

L'espaiat dels punts de la malla és de $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$. Segons el mètode d'avaluació de la precisió del diàmetre característic, aquest espaiat de la malla és adequat per al cas estudiat. L'àrea analitzada està dividida en $4,4$ milions de cel·les. El total de la malla es distribueix en divuit ordinadors per portar a terme el processament paral·lel, i s'utilitza un servidor per recollir les dades de cada ordinador. La CPU de cada ordinador és de $2,8\text{ GHz}$ i la memòria de 768 MB . Els càlculs de la simulació triguen noranta hores.

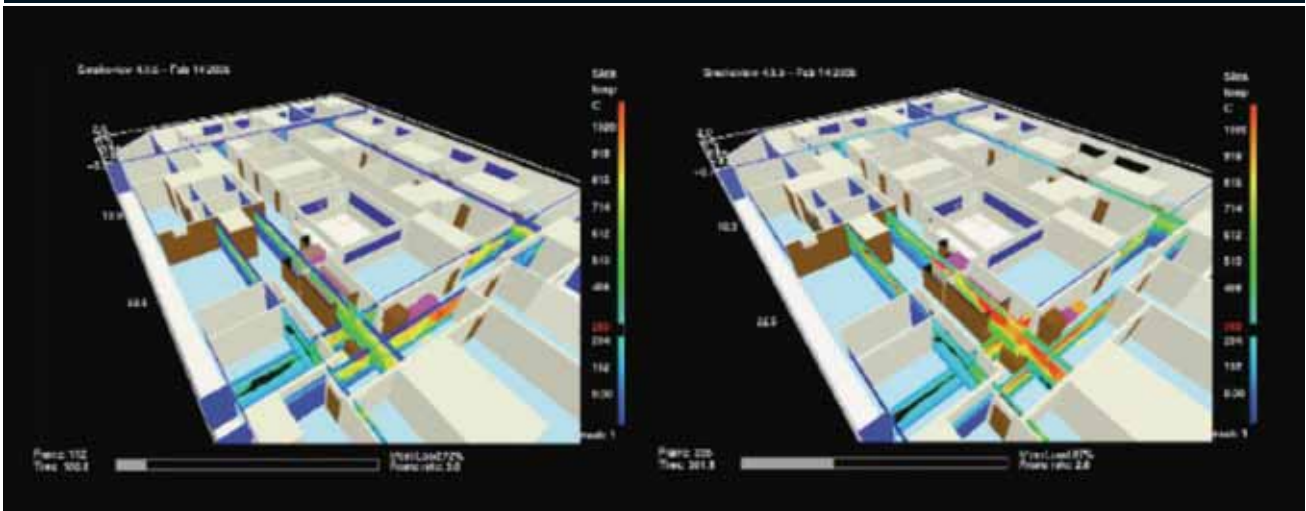
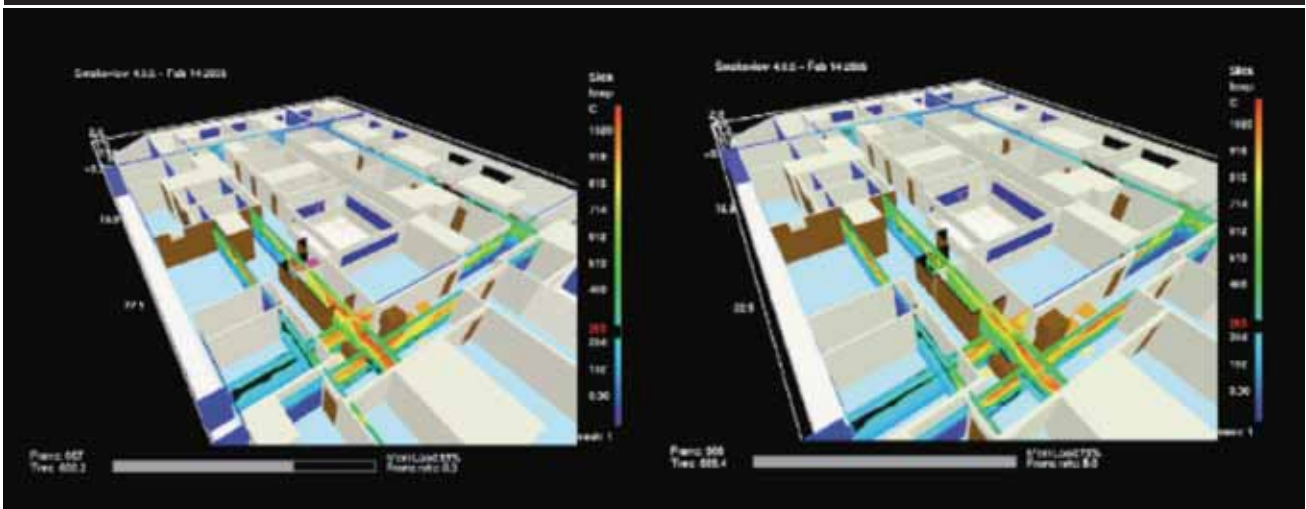
En executar el processament paral·lel és important considerar el problema del canvi de dades a la interfície de les malles. Quan l'espaiat de les malles és diferent també poden sortir resultats inestables, que en determinades ocasions no tenen cap explicació. Per tal d'aconseguir estabilitat en el càlcul, en aquesta investigació es van adoptar malles del mateix espaiat per a simular el desenvolupament de l'incendi.

La mida de la malla influencia el resultat de la simulació. La màxima temperatura de la simulació corresponent a un espaiat de 15 cm es 670°C . En canvi, la màxima temperatura per a un espaiat de 10 cm és 1020°C . Aquesta darrera predicció és més raonable i es correspon amb la temperatura del foc de càlcul.

• Temperatures de les simulacions

Els perfils de les temperatures a l'escenari de l'incendi s'inclouen a les figures 5.4 i 5.5. Les zones vermelles mostren la predicció numèrica de la temperatura a prop del mostrador de servei, 1.020°C . La temperatura de combustió de la gasolina és de 1.026°C , similar a la temperatura de la simulació.

A la vista dels perfils de temperatures assolides es pot afirmar que es tracta d'un foc completament desenvolupat. Aquests perfils indiquen que la temperatura al voltant del vestibul a l'origen de l'incendi va assolir els 500°C als 20 s . D'acord amb aquests resultats, totes les persones que no van descobrir l'incendi en la seva fase inicial i van fugir immediatament, van quedar atrapades a les habitacions. Els resultats són coherents amb la descripció de les actuacions dels supervivents.

FIGURA 5.4. Perfil de temperatures (100 s i 300 s) (Shen, Huang, Chien, 2008)**FIGURA 5.5.** Perfil de temperatures (600 s i 870 s) (Shen, Huang, Chien, 2008)

• *La propagació del fum a les simulacions*

Els perfils de la propagació del fum de l'escenari de l'incendi també estan en consonància amb els temps d'escapament de les persones. Es mostren a les següents figures per a 20, 100, 300, 600 i 870 s.

El vestíbul llarg i estret, de 2,2 m d'amplada i 1,8 m d'alçada, va quedar cobert ràpidament per un fum pesat a la fase inicial de l'incendi. Va ser impossible moure's pel vestíbul als 100 s. El fum va continuar envaint les habitacions adjacents al vestíbul a través dels tubs de ventilació. El fum va fluir cap a l'habitació 6, on es van trobar dues de les víctimes mortals, per la seva proximitat a l'origen de l'incendi. Les habitacions 10 i 13, tot i ser allunyades de l'origen del foc, també van patir una important invasió de fum: als 300 s, l'ambient de les dues habitacions es va convertir en massa perillós i va causar la mort dels seus ocupants.

FIGURA 5.6. Perfil de propagació del fum (20 s i 100 s) (Shen, Huang, Chien, 2008)

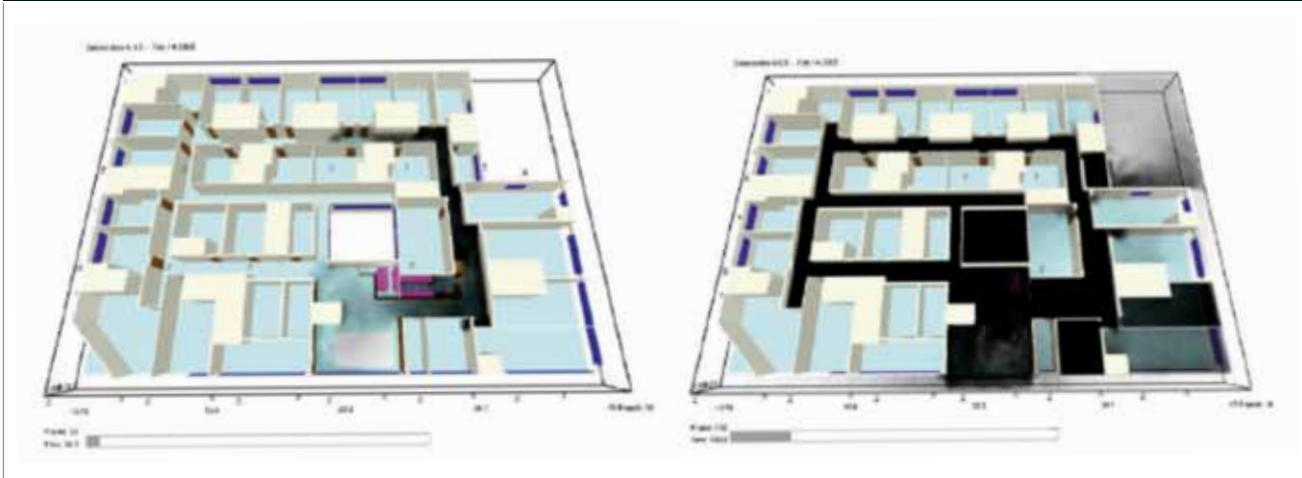


FIGURA 5.7. Perfil de propagació del fum (300 s) (Shen, Huang, Chien, 2008)

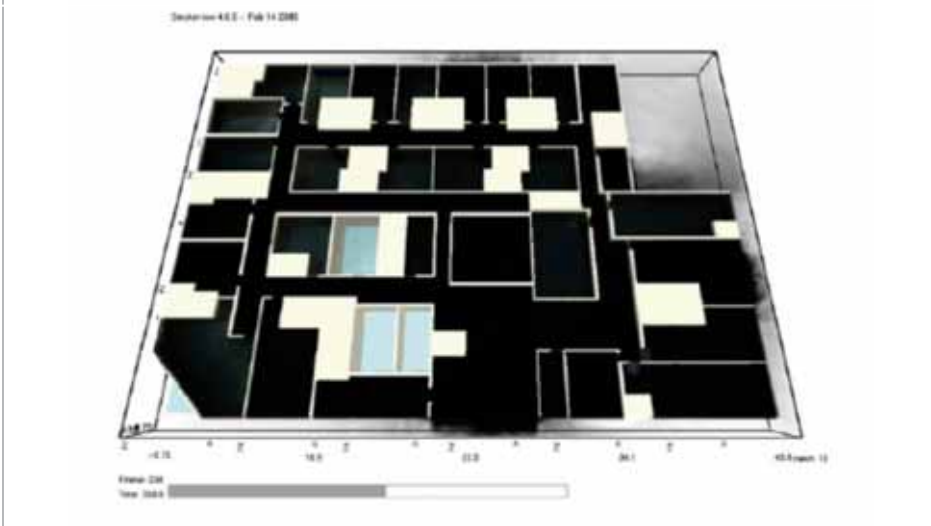


FIGURA 5.8. Perfil de propagació del fum a l'origen de l'incendi (20 s i 100 s) (Shen, Huang, Chien, 2008)

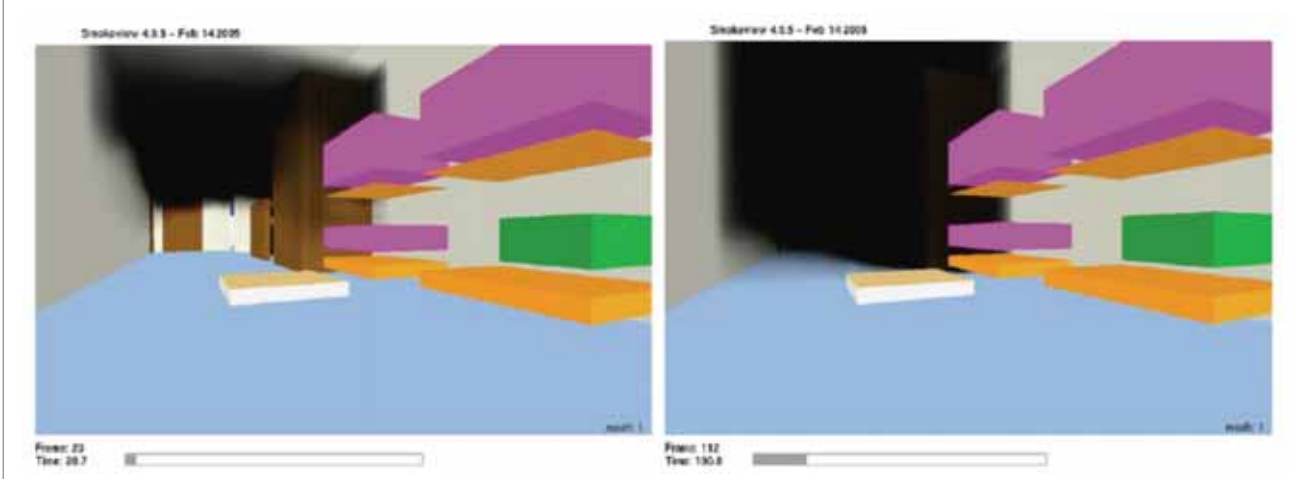


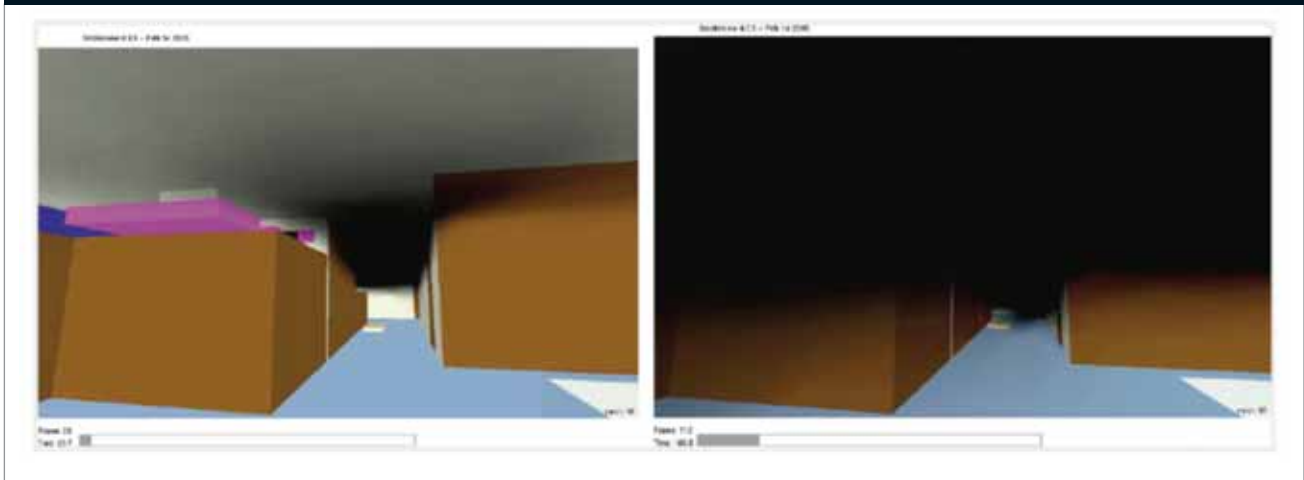
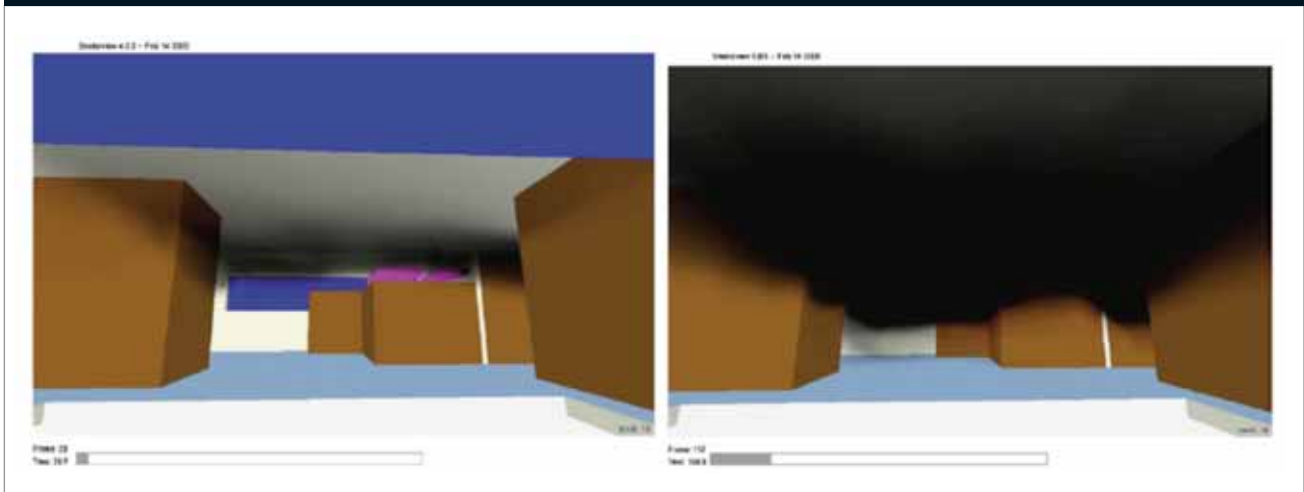
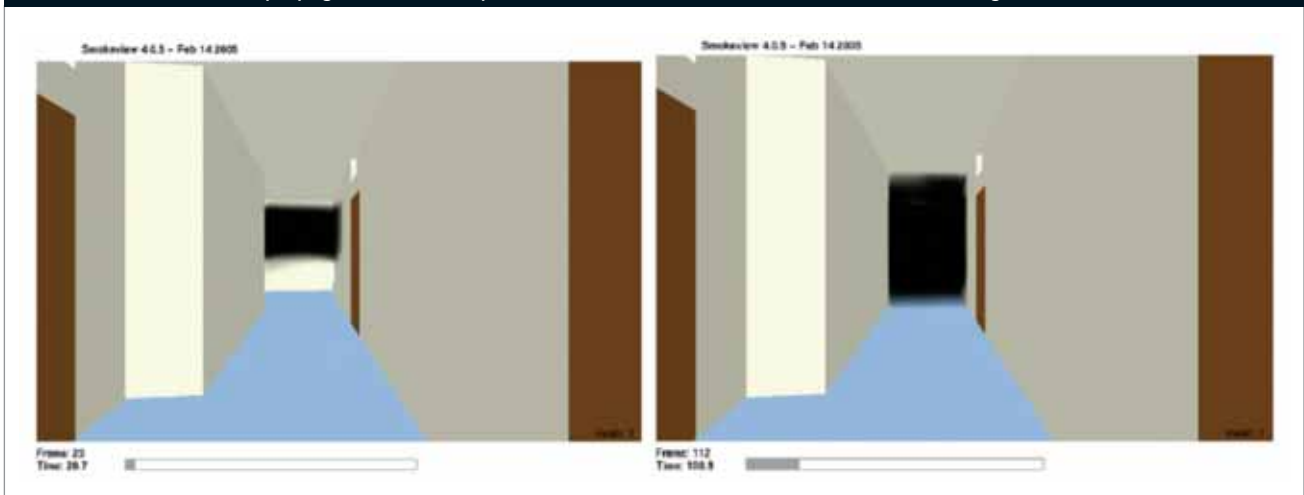
FIGURA 5.9. Perfil de propagació del fum al mostrador de servei (20 s i 100 s) (Shen, Huang, Chien, 2008)**FIGURA 5.10.** Perfil de propagació del fum al vestíbul i magatzem (20 s i 100 s) (Shen, Huang, Chien, 2008).**FIGURA 5.11.** Perfil de propagació del fum al passadís de l'habitació 10 (20 s i 100 s) (Shen, Huang, Chien, 2008)

FIGURA 5.12. Perfil de propagació del fum al passadís de l'habitació 18 (20 s i 100 s) (Shen, Huang, Chien, 2008)



Conclusions

Clarament la causa d'aquest incendi d'hotel va ser la ignició d'un agent accelerant. La quantitat de gasolina abocada en els dos punts de l'hotel va ser estimada en 15 l. Prenent en consideració la ruta a l'escenari de l'incendi i la possibilitat pràctica de poder portar un dipòsit, es confirma la possibilitat de l'incendi *arson*. Actualment, aquest descobriment pot ser considerat suficient en una investigació d'incendis a Taiwan. No obstant això, també és important descobrir com es va estendre el foc, com van ocórrer les morts i com les persones van resultar ferides. Això és el que permet fer la simulació. A partir dels resultats de l'FDS es verifica que la causa de l'expansió del foc al mostrador del servei i als altres espais és que el coeficient de cessió de calor de l'origen del foc va ser prou alt com per encendre el carret, els vestits i les bosses del vestíbul. Si la velocitat d'extensió de l'incendi no hagués estat tan ràpida, a causa de l'agent accelerant, la producció de calor i fum no hauria estat suficient per bloquejar la ruta d'escapament en tan poc temps.

SIMULACIÓ DE LA DINÀMICA DEL FOC EN UN HABITATGE²⁸

Aquest informe descriu els resultats dels càlculs realitzats amb el programa FDS del NIST, els quals proporcionen una idea de les condicions tèrmiques que es van donar a l'incendi de Cherry Road 3146, de la ciutat de Washington, el maig de 1999. L'entrada de dades al model informàtic es va efectuar a partir de tres fonts: els Bombers del Districte de Colúmbia, els Serveis Mèdics d'Emergència i el Comitè de Reconstrucció del Departament; juntament amb les fotografies i les mesures preses durant la investigació i les característiques dels materials, que són a la base de dades de l'FDS.

La descripció del que va succeir a l'incendi es basa en la informació proporcionada al NIST pel Comitè de Reconstrucció. Poc després de mitjanit, els ocupants de la casa s'adonen d'una alarma de fum que s'havia activat a la residència. Els ocupants del primer pis baixen, troben molt de fum calent i surten de la casa per la porta principal, que la deixen oberta. A les 00.17h es rep la primera trucada al telèfon d'emergències. El primer vehicle arriba a l'escena de l'incendi en uns sis minuts. A les 00.24h aproximadament, els bombers comencen a entrar al primer pis per la porta principal. Les condicions que descriuen són de «fum pesat» al primer pis, amb fum negre gruixut que ve de l'entrada. En dos minuts, els bombers treuen el front de la finestra del primer pis per proporcionar ventilació. La finestra es treu des de l'interior, a causa de les obs-

²⁸ Resum de l'informe *Simulation of the Dynamics of the Fire at 3146 Cherry Road NE, Washington D. C., May 30, 1999* (Madrzykoeski, Vettori, 2000). Traducció de Miquel Rejat.

truccions amb els barrots de seguretat de l'exterior. Els bombers també obren les altres finestres del segon pis. Els ocupants havien deixat obertes les finestres del darrere de la segona planta de la casa.

Els bombers posicionats a la porta de vidrieres lliscants del nivell de soterrani comuniquen que el soterrani era ple de fum i que a l'arribada apareixien flames breument. Les vidrieres de la porta es treuen en dues fases. En primer lloc la part de la dreta; la meitat era fora aproximadament a les 00.26h. El del costat esquerre es treu aproximadament 20 segons més tard, a causa d'obstruccions per les barres de seguretat. Després que es treu la porta vidriera, els bombers penetren al soterrani per iniciar la recerca. Informen que hi ha un cert nombre de focs petits a la planta soterrani, i que començava a augmentar en dimensions després d'obrir la porta vidriera. Com que el foc creixia ràpidament els bombers ordenen sortir del soterrani. Els bombers informen de l'itinerari ple de fum i surten a l'exterior, moments abans de la generalització de les flames. Dos minuts després d'entrar al soterrani, les flames es van estendre cap al pis superior. Segons més tard s'informa que un bomber era a baix. Els bombers que estaven treballant en el primer pis comuniquen una deflagració seguida de calor intensa abans de sortir de l'edifici. Dos dels bombers que treballen al primer pis resulten morts amb lesions provocades pel foc, un prop de la porta oberta a l'escala del soterrani i l'altre prop del sofà a la paret del darrere de la casa. Un tercer bomber, situat entre els dos bombers que morien, sobreviu al foc, però amb lesions importants per cremades.

La investigació encarregada de l'incendi determina que el foc va començar prop d'una connexió elèctrica al sostre del soterrani. El soterrani tenia importants danys d'incendi pertot arreu, que indica una encesa generalitzada després del *flashover*. L'escala del soterrani al primer pis també mostrava senyals de flames al sostre i les parets. La porta de la part alta de l'escala del soterrani era oberta durant l'incendi i estava parcialment cremada per fora. L'escala del soterrani obria a la sala del primer pis. La sala d'estar tenia dipòsits significatius de sutge pertot arreu, amb poc dany tèrmic. Gran part de l'empaperat sobre l'enguixat de parets i sostres és intacte i els sofàs de la sala només mostren senyals de piròlisi o enceses limitades a les parts superiors dels coixins del darrere i a la superfície dels coixins del seient. Àrees de la sala d'estar allunyades de la porta que obre al soterrani tenen menys dany tèrmic.

Entrades de l'FDS

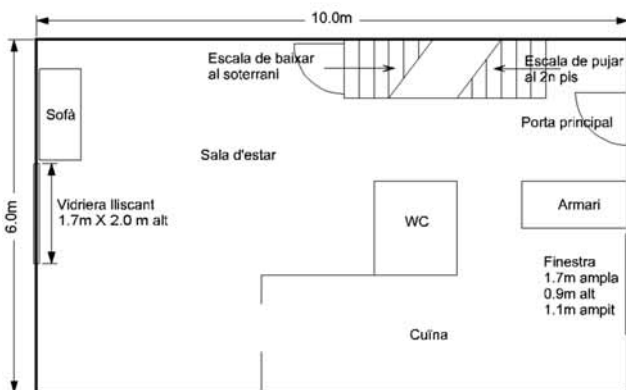
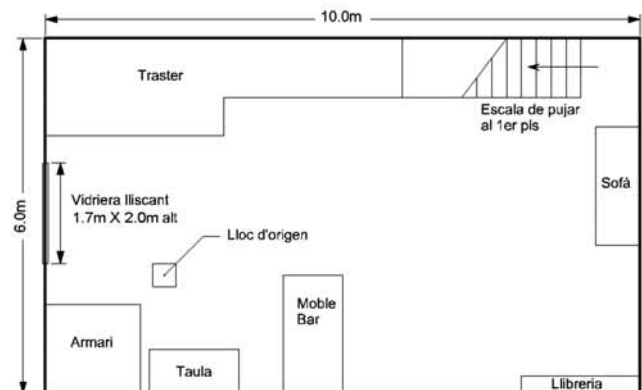
L'FDS requereix entrar, amb la geometria dels compartiments a modelitzar de l'edifici, la mida de les cel·les computacionals, la localització de la font d'ignició, la font d'ignició, les propietats tèrmiques de parets i mobles, i la mida, localització i temps de ventilació amb les obertures a l'exterior que hagin influït críticament en el creixement i l'extensió de l'incendi. El temps de les obertures (taula 5.5) utilitzades en la simulació està basat en un detall de situacions aproximades a partir de les accions d'extinció que es descriuen a la taula 5.4.

• Geometria

Els plànols de planta del soterrani i del primer pis de la casa es mostren a les figures 5.13 i 5.14. El dos nivells de la casa s'han modelat amb un volum rectangular de 10 m x 6 m x 5,1m d'alt. Per a la simulació de l'FDS aquest volum es divideix en 76.500 cel·les computacionals. Cada cel·la té unes dimensions de 0,2 m x 0,2 m x 0,1 m. La distribució i les mides de les parets interiors, entrades i finestres s'agafen dels plànols de planta dibuixats a escala pel personal del Departament de Bombers. L'FDS ajusta les dimensions a la cel·la computacional més pròxima. Per fer això la mida de les cel·les s'ha de correspondre amb el menor detall dels respiradors, obertures, mobiliaris o les parets del model. La mida de les cel·les es selecciona per a obtenir la millor aproximació a la geometria real de la casa.

TAULA 5.4. Aproximació als fets facilitada pel Comitè de Reconstrucció

Sinistre Horari (hh:mm:ss)	Accions	Simulació Temps (s)
00:17:00	Primera trucada que informa de l'incendi.	
00:18:40	Segona trucada – «foc al soterrani»	
00:23:00	Unitat 26 a l'escena – «s'observa fum pesat»	
00:24:00	Unitat 26 i Unitat 10 de bombers entren per la porta principal. Unitat 17 disponible.	0
00:24:50	Comandament 1 mana emplaçar Unitat 4.	50
00:26:00	Finestra del davant al primer pis treta.	120
00:26:20	La meitat de la porta vidriera del soterrani fora.	140
00:26:30	Els Bombers de la Brigada de Rescat 1 i Unitat 4 entren al soterrani.	150
00:26:40	Porta vidriera del soterrani completament fora.	160
00:26:50	Unitat 17 de bombers a darrere, «petit foc al soterrani»	170
00:27:20	Els Bombers de la Brigada de Rescat 1 i Unitat 4 surten del soterrani. «soterrani gairebé encès completament»	200
00:28:00	En poc temps els bombers de les Unitats 26 i 10 tindran l'incendi al primer pis	240
00:28:40	Unitat 17 del darrere, «el foc s'estén al primer pis»	280
00:29:00	(Final del temps de simulació)	300

FIGURA 5.13. Vista en planta del primer pis**FIGURA 5.14.** Vista en planta del soterrani

• Ventilació

El soterrani ventila a l'exterior per una porta vidriera lliscant d'1,7 m x 2 m d'alt. Per a la simulació, l'obertura de la porta es divideix en dues parts. A la simulació, la meitat de la dreta s'obre als 140 segons i la meitat de l'esquerra als 160 segons.

El soterrani era obert al primer pis per una porta, a la part de dalt de l'escala, de 0,8 m d'amplada x 2 m d'alt. Com a l'incendi, aquesta porta era del tot oberta durant la simulació. La porta principal al primer pis era completament oberta durant l'incendi i també a la simulació. La porta era de 0,9 m d'amplada i de 2 m d'alt. La finestra del davant al primer pis era d'1,7 m d'amplada per 0,9 m d'alt i a 0,9 m del terra. A la simulació aquesta finestra s'obre als 120 segons. L'altra obertura a l'exterior pel primer pis és una porta vidriera lliscant al darrere de la casa, situada per sobre de la porta vidriera del soterrani. Aquesta porta roman tancada i intacta durant tota la simulació.

L'obertura de l'escala del primer pis al segon pis era de 0,9 m d'ample per 3,4 m de profunditat. Aquest respirador va romandre obert durant tota la simulació a causa que les finestres del davant i del darrere del segon pis eren també obertes. La posició exacta de l'obertura dels finestrals posteriors en el segon pis no se sap; per això l'obertura de l'escala s'utilitza per representar l'àrea d'obertura de les finestres del segon pis. Els detalls del segon pis no es modelaren en aquesta simulació.

En el moment de l'incendi no feia vent, per això per a la simulació es pressuposa que l'exterior de les obertures estaven a pressió ambient.

TAULA 5.5. Situacions de ventilació a la simulació FDS

	Temps i detall de la situació			
	Condicció inicial	120 s	140 s	160 s
Respirador	Oberta	Oberta	Oberta	Oberta
Porta principal	Tancada	Oberta	Oberta	Oberta
Finestra del davant	Tancada	Oberta	Oberta	Oberta
Primer full de la porta vidriera del soterrani	Tancada	Tancada	Oberta	Oberta
Segon full de la porta vidriera del soterrani	Tancada	Tancada	Tancada	Oberta
Porta d'escala entre soterrani i primer pis	Oberta	Oberta	Oberta	Oberta
Obertura d'escala entre primer i segon pis	Oberta	Oberta	Oberta	Oberta

• Característiques dels materials

El sostre del soterrani era de peces de fibra de fusta encadellades fins a les planxes de la paret, que eren de fusta clavada; el terra era de fusta natural. Tenint en compte les diferents superfícies del sostre, s'han utilitzat unes quantes aproximacions diferents per a la temperatura d'ignició (de 320 °C a 390 °C) i de l'índex d'emissió de calor per unitat de superfície (de 200 kW/m² a 400 kW/m²). Les hipòtesis utilitzades per als materials del sostre del soterrani es mostren a la taula 5.6.

Les parets de la casa eren enguixades i pintades, amb 12 mm de gruix. El subsòl del terra era de fusta contraplacada i la sala d'estar estava emmoquetada. El sostre del primer pis també era enguixat i pintat. S'inclouen a l'escenari uns quants mobles grans; una llibreria, moble bar, escriptori i sofà al soterrani, així com una porta i un sofà al primer pis. Les característiques de cada element utilitzat són a la taula 5.6 i la mida dels mobles a la taula 5.7.

TAULA 5.6. Dades de propietats tèrmiques

Material	Espessor (m)	Temperatura d'ignició (°C)	Índex de calor emesa (kW/m ²)	Conductivitat tèrmica (W/m·K)	Difusivitat tèrmica (m ² /s)
Sostre del soterrani	0,025	330	300	0,14	8,3 x 10-8
Enguixat	0,013	400	100	0,48	4,1 x 10-7
Fusta de pi	0,013	390	200	0,14	8,3 x 10-8
Coixins entapissats	0,10	370	700	0,20	1,2 x 10-6

TAULA 5.7. Mobiliari, material i mides

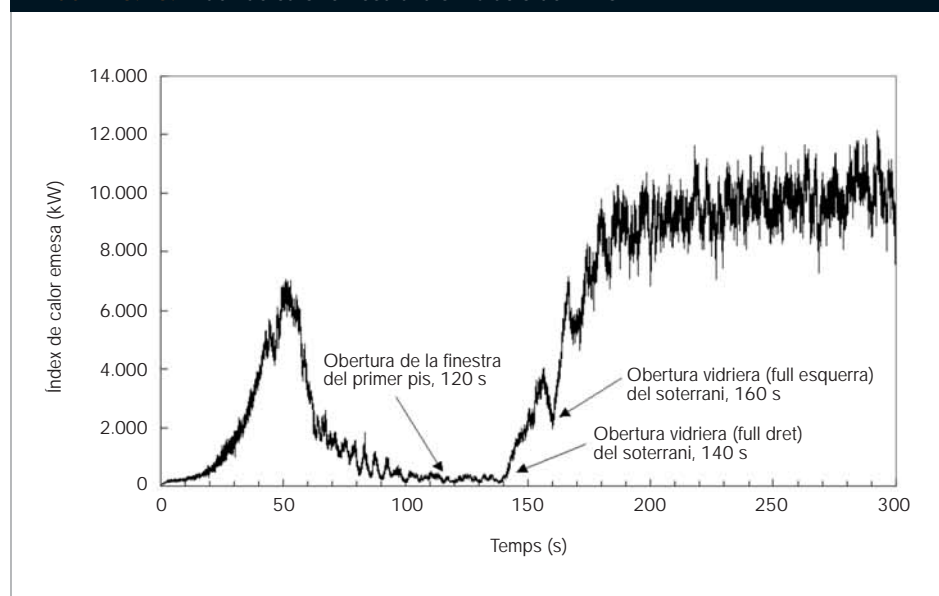
Element	Material	Mides
Llibreria	Pi	2 m ample, 0,3 m fons, 2,4 m alt
Moble bar	Pi	2 m ample, 1 m fons, 1,2 m alt
Escriptori	Pi	1,5 m ample, 0,75 m fons, 0,75 m alt
Sofà	Coixí entapissat	2 m ample, 0,75 m fons, 0,9 m alt
Primera porta del pis al soterrani	Pi	0,85 m ample, 0,05 m gruix, 2,05 m alt

Resultats del model

Calor emesa per l'incendi

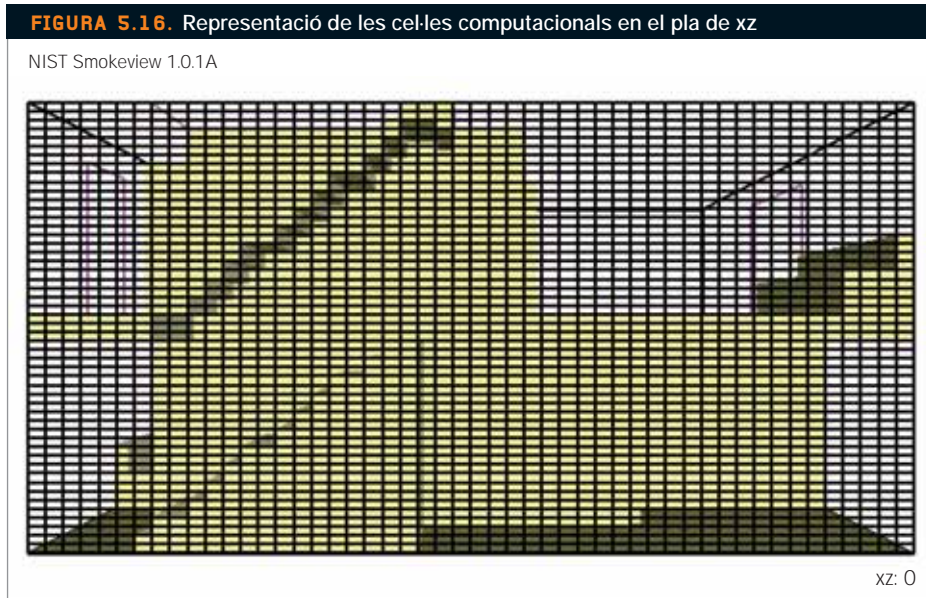
Per a la simulació de l'FDS, s'utilitza un petit foc amb un índex de calor emesa suficient per provocar el creixement de l'incendi. En aquest cas s'inicia amb una font de 30kW, en un quadrat de 0,2 m, situat 0,1 m per sota del sostre del soterrani. Comença la simulació amb aquesta ignició per desenvolupar el model en un temps computacional raonable. El foc real pot haver necessitat unes quantes hores per desenvolupar-se fins a la fase d'encesa. La font d'ignició s'estén primer pel sostre i després a altres elements del soterrani; es desenvolupa de pressa, però esgota el subministrament d'oxigen per a la combustió. Això disminueix ràpidament l'índex de calor emesa o energia que està alimentant l'incendi. Així es produeix un empobriment de l'oxigen preescalfat, condició similar al que descriuen els bombers a la seva arribada.

La figura 5.15 mostra l'índex de calor emesa per l'incendi en el temps, pronosticat per l'FDS. Cal subratllar les anotacions en el diagrama de les actuacions de ventilació i l'impacte que causa en el desenvolupament de l'incendi. Com mostra el gràfic, la ventilació del soterrani ocasiona un augment de la calor emesa en més de 10.000 kW o 10 MW en un minut aproximadament.

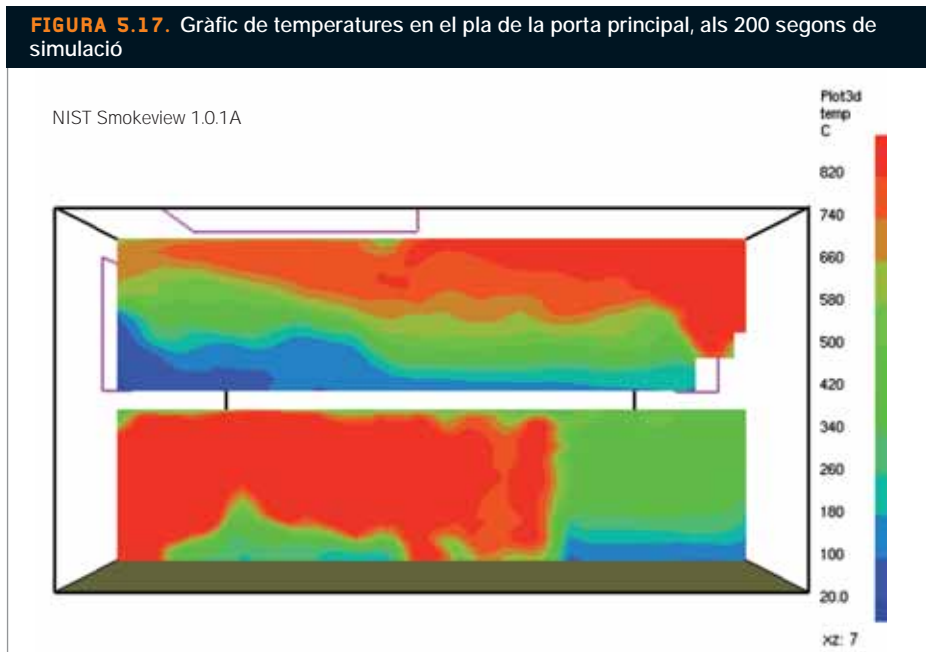
FIGURA 5.15. Índex de calor emesa a la simulació de l'FDS

Simulació 1 - Evolució de l'incendi - Prediccions de temperatura i velocitats

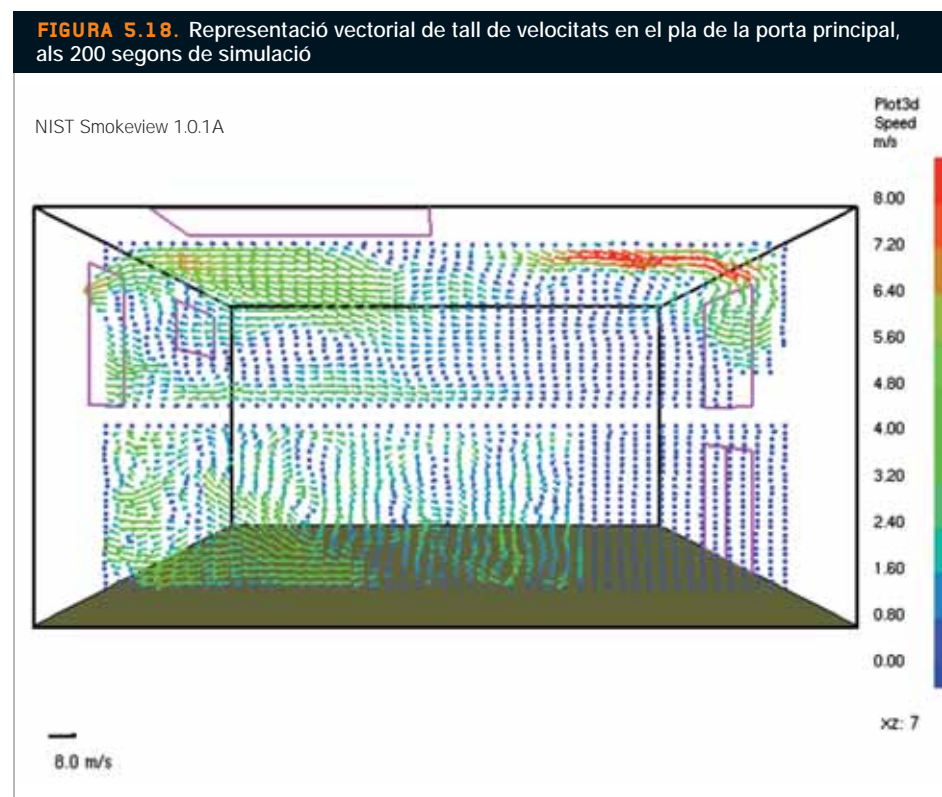
La figura 5.16 mostra el reixat que descriu la mida de les cel·les computacionals.



En els resultats de la simulació s'eliminen les parets i altres obstacles a fi d'oferir una visió més clara, la franja horitzontal blanca és el forjat entre el soterrani i el primer nivell de pis. Els resultats es mostren com un pla vertical amb un acoloriment que representa la quantitat numèrica corresponent. Els resultats presentats són als 200 segons de la simulació, moment en què la calor emesa i les condicions tèrmiques han arribat a un estat quasi estacionari. Aquests diagrames mostren una instantània de les condicions ambientals d'incendi a què els bombers poden haver estat exposats, aproximadament, a les 00:27:20.

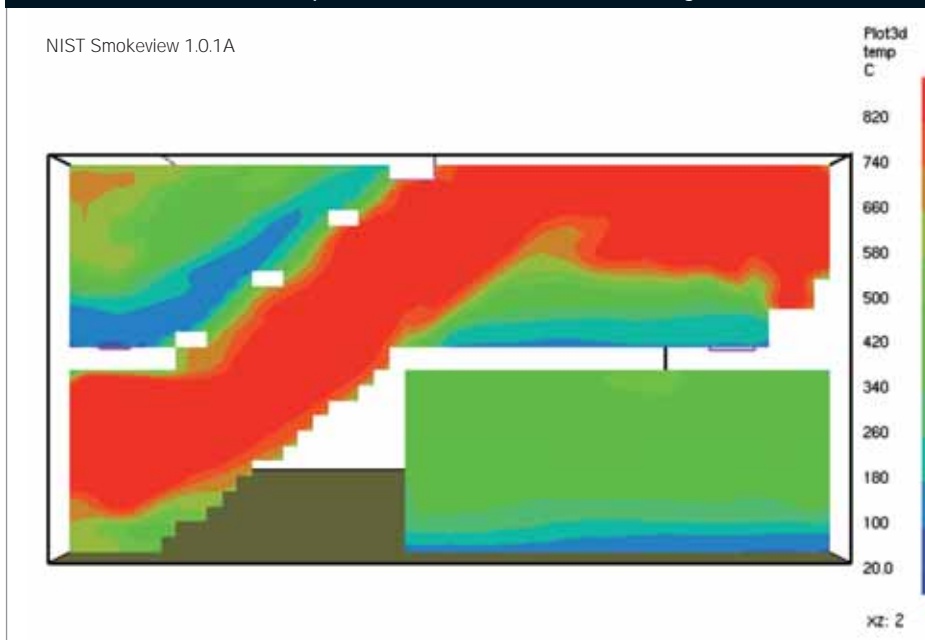


Les figures 5.17 i 5.18 mostren el pla de temperatures i velocitats al centre de la porta principal i passadís, a 1,4 m del fons de la casa, en els diagrames. Les meitats superiors dels diagrames representen el passadís i les àrees de la sala d'estar i les meitats inferiors, a l'esquerra l'àrea oberta al soterrani i a la dreta un espai d'emmagatzematge (temperatures més fresques). Les temperatures pronosticades en l'àrea oberta del soterrani estan per sobre de 820 °C en algunes àrees del sostre de la planta. Al primer pis, els gasos calents es poden veure al llarg del sostre, la ventilació mou els fums des del darrere fins a la façana de la casa. Es pot veure entrar l'aire exterior, a 20 °C aproximadament, per la porta principal, a l'esquerra. Aquest moviment d'entrada, per la porta principal i al llarg del terra, fa pujar els gasos de 180 °C a 260 °C abans d'arribar al darrere de la casa (part dreta del diagrama).

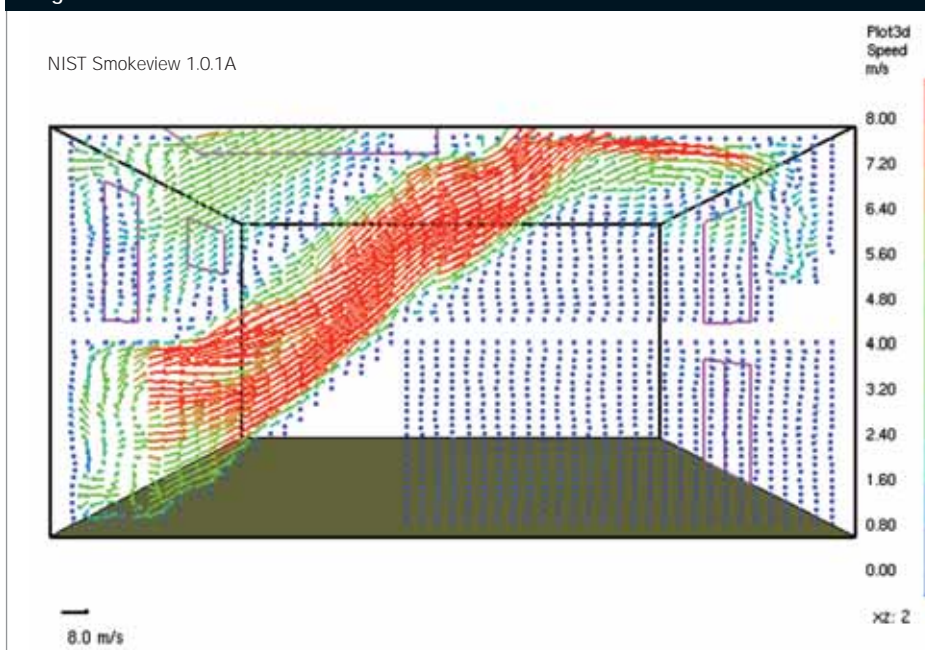


La direcció del flux de gasos es pot veure a la figura 5.18. Al primer pis està entrant aire de fora per la part baixa de la porta oberta del davant en la franja de 4 m/s a 5,6 m/s. Per la part alta de la mateixa porta estan sortint fums calents amb velocitats màximes de l'ordre de 5,6 m/s a 6,4 m/s. Cap al darrere de la casa, al primer pis, puguen gasos calents del soterrani per sobre de 8 m/s.

Les figures 5.19 i 5.20 mostren el pla de temperatures i velocitats referides al centre de l'escala del soterrani, a 0,4 m del fons de la casa en els diagrames. La gràfica de temperatures mostra gasos calents per sobre de 820 °C que omplen l'escala i la sala, a tot el sostre de la sala d'estar i baixen per la paret del darrere. L'àrea retallada del costat dret és el contorn del sofà. Entre l'entrada al soterrani i el sofà, les temperatures, a uns 0,5 m del terra, són de 180 °C a 260 °C. Les àrees properes al terra amb les temperatures més altes són a l'accés de l'escala i prop del sofà, a la paret del darrere. Aquestes localitzacions corresponen a les àrees on es considera que va ocórrer la mort dels dos bombers.

FIGURA 5.19. Gràfic de temperatures a l'eix de l'escala, als 200 segons de simulació

La figura 5.20 mostra l'efecte de l'escala canalitzant els gasos calents fins al primer pis. La velocitat amb què pugen els fums per l'escala a través del sostre de la primera planta supera els 8 m/s. A aquestes velocitats, el temps de desplaçament dels gasos des del frontal del soterrani (costat esquerre del diagrama) fins al darrere del primer pis (costat dret del diagrama) és inferior a 2 s. Entre la porta al soterrani i el sofà, a uns 0,5 m sobre el terra, les velocitats estan entre 0 i 1,6 m/s. El costat dret del soterrani en el diagrama és l'espai de magatzem de sota l'escala.

FIGURA 5.20. Representació vectorial de velocitats al llarg de l'eix de l'escala, als 200 segons de simulació

L'FDS mostra també les concentracions d'oxigen: tot i que els gràfics anteriors indiquen temperatures que són coherents amb les condicions d'autoinflamació, això no succeeix per la manca d'oxigen.

Els diagrames 14 i 15 mostren els esquemes del flux de velocitat prop del sostre del primer pis i a uns 1,6 m del terra, respectivament. Les velocitats davant la porta del soterrani són en la gamma dels 8 m/s. El diagrama 15 mostra la circulació de gasos a partir de la porta del soterrani, per la paret del darrere de la casa i cap a fora per la finestra del davant. En aquest nivell, les velocitats que flueixen en forma de U, a través de la casa, oscil·len de 0,80 m/s a 4,8 m/s. Aquestes velocitats juntament amb les altes temperatures dels gasos incrementen l'índex de transferència de calor per convecció a les persones i els objectes presents a la zona.

Simulació 2 - Obertura de la vidriera del primer pis abans que la porta vidriera del soterrani - Prediccions de temperatura i de velocitat

A petició del Comitè de Reconstrucció, es realitza una segona simulació de l'incendi. Totes les dades a la segona simulació seran les mateixes que la primera, amb una excepció: la porta vidriera de la sala d'estar del primer pis de la casa s'obre als 120 s de la simulació. En el soterrani, els resultats de la segona simulació eren similars a la primera. Al primer pis els gasos calents estaven més confinats que a la primera simulació i resulten temperatures més fresques prop del terra.

La figura 5.21 mostra el pla de temperatures respecte al centre de l'escala del soterrani, 0,4 m per davant de la paret de la casa en el diagrama. El gràfic de temperatures mostra gasos calents per sobre de 820 °C que omplen l'ull d'escala, surten a la sala d'estar, a l'altre costat del sostre de la sala, i davallen per la paret del darrere. L'àrea retallada al costat dret és el contorn d'un sofà. Aquest feix de gasos calents pel sostre és similar a les condicions dels gasos calents vistos a la figura 5.19. La diferència significativa és a la vora de terra. Entre l'entrada al soterrani i el sofà, a uns 0,6 m per sobre del pis, les temperatures són entre 20 °C i 100 °C. Això és com a mínim uns 80 °C menys en aquesta àrea del primer pis que té la vidriera oberta.

FIGURA 5.21. Gràfic de temperatures a l'eix de l'escala amb la vidriera del primer pis oberta, als 200 segons de simulació

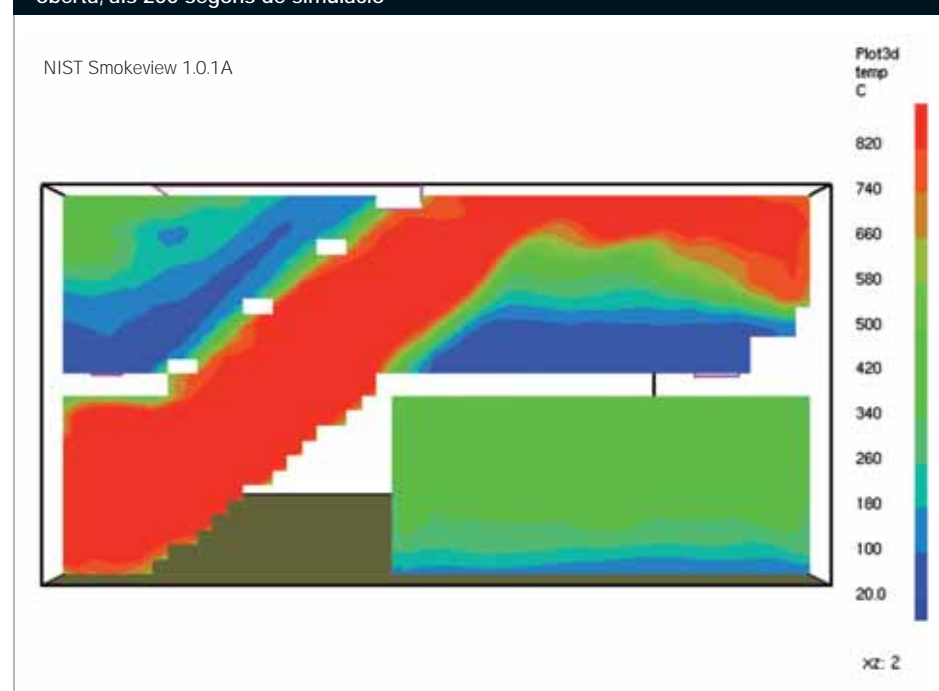
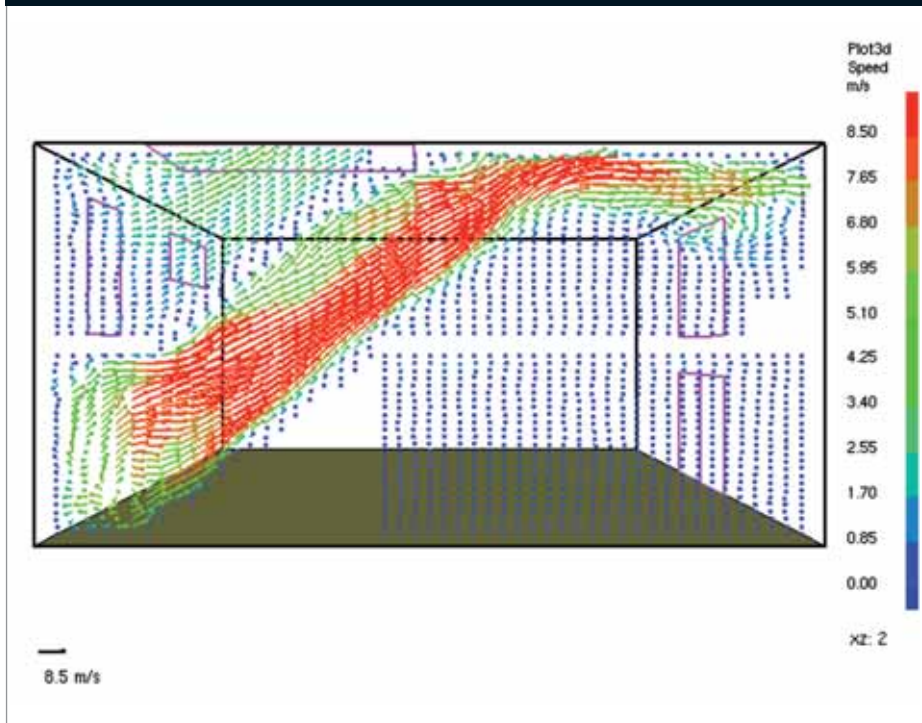


FIGURA 5.22. Representació vectorial de velocitats al sostre del primer pis amb la vidriera oberta, als 200 segons de simulació



La figura 5.22 mostra el camp de velocitats al sostre del primer pis. El flux al sostre és més gran a la segona simulació perquè una part del corrent està sortint per la vidriera oberta.

La diferència més significativa en les prediccions és a la vora del terra de la sala d'estar, uns 80°C per sota, amb la vidriera del primer pis oberta respecte de la primera simulació amb la vidriera tancada.

EXPERIMENTACIÓ DE LABORATORI ELÈCTRIC

L'electricitat és una forma de transportar i aplicar energia en formats diversos, eficient, polivalent, ampliable i amb molta tecnologia disponible de control, mesura i proteccions. La seva utilització en massa caracteritza l'activitat humana del darrer segle i mig.

El material elèctric és en essència complex i pluridisciplinari, malgrat la seva aparent simplicitat i economia, que amb el contacte quotidià acaba per donar una aparença gairebé vulgar.

Analitzem la complexitat d'un simple refrigerador domèstic, en deu aspectes, com a potencialment incendiari:

- Els seus dielèctrics han de suportar la casuística d'estar connectats a 230 V.
- Els seus conductors han de permetre el pas del corrent permanent i dels transitoris.
- El motor té un circuit electromagnètic per transmetre parell al seu rotor.
- El motor mecànicament ha de tenir resolta la suspensió del rotor i l'arbre de sortida.

- Els diversos escalfaments interns han d'ésser assumibles en els règims isotèrmics (treball normal a temperatura ambient) i en els adiabàtics (breus arrencades i frenades). Molts efectes escalfen: joule, pel·licular, histèresi, Foucault, pèrdues dielèctriques...
- El compressor afegeix la problemàtica del fluid refrigerant, que banya el motor.
- La compatibilitat química entre els diversos materials tampoc és trivial.
- Els bescanviadors de calor són els qui fan fred a partir d'escalfar l'ambient extern.
- Els elements de control de la temperatura requereixen una temperatura ambient dins de marges.
- Les proteccions han d'evitar els danys «previsibles».

La dificultat de simulació de totes les influències creuades ha dut a una praxi normativa, de molta tradició dins de l'enginyeria elèctrica, que cobreix la major part dels aspectes tecnològics necessaris. Es sotmet doncs a assaig cadascun dels components d'una instal·lació elèctrica, com a element final del seu procés constructiu.

Rarament es pot assajar tota la instal·lació elèctrica, però el nivell de seguretat assolible per a l'assaig dels seus components és notable i acceptat de mutu acord per fabricants, usuaris, asseguradores i Administració.

Com que sovint es tracta de material construït en sèrie, de vegades és assumible l'assaig destructiu d'alguns prototipus, per avaluar el comportament límit.

Les instal·lacions per a realitzar els assaigs normalitzats intenten reproduir al laboratori les diferents situacions d'operació dels materials i explorar-ne els límits tecnològics. Els diferents aspectes a tenir en compte, es tracten per separat i s'analitzen les influències creuades, com un compromís de renúncies tècniques de cara a superar els assaigs.

A continuació es descriuen alguns dels assaigs tipus i les instal·lacions per a fer-los, al Departament d'Enginyeria Elèctrica de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (ETSEIB), de la Universitat Politècnica de Catalunya.

FREQÜÈNCIA INDUSTRIAL 50 HZ

L'equip per a realitzar els experiments que es descriuen a continuació va ser donat a l'ETSEIB per la fàbrica de Pirelli de Vilanova i la Geltrú a l'any 1970.

És l'equip per a la verificació dielèctrica per excel·lència. Permet demostrar l'adequació dels aspectes dielèctrics o aïllants d'un dispositiu, en corrent altern de freqüència industrial, de 50 Hz.

El conjunt està format per un transformador elevador, de tensió regulable a voluntat de l'operador, fins a 300 kV. Té prou potència (75 kVA) perquè la tensió no baixi al primer defecte i manifesti la possible destrucció de l'objecte a assajar, a la qual cosa contribueix una baixa reactància interna, $e^{cc}=4,8\%$. Aquesta instal·lació disposa d'una resistència afegida, limitadora del corrent de curtcircuit, del transformador, que evita el dispar de les seves proteccions i permet visualitzar a ull nu els arcs voltaics originats, en demostracions docents o de recerca.

Un exemple típic seria l'assaig dels aïlladors de suport d'una línia aèria de distribució, que a Catalunya solen ser de 25 kV nominals. L'assaig consisteix a connectar l'aïllador al transformador i sotmetre'l durant un minut a una sobretensió normalitzada de 70 kV en sec. En determinats casos són exigibles altres temps, tensions o l'assaig en les pitjors condicions de treball de l'aïllador, com poden ser les de pluja, contaminació o gel.

En alguns dissenys dels aïlladors es pot aconseguir que el trencament dielèctric sigui reversible, és a dir que la descàrrega límit salti per l'aire i no per l'aïllador, perquè el malmetria. Aquests límits tecnològics s'exploren amb l'ajut d'aquest equipament.

FIGURA 5.23. Transformador monofàsic d'assaig

ARCS ELÈCTRICS PER EMISSIÓ TERMOIÒNICA

Amb aquest muntatge es poden visualitzar, a ull nu, experiments amb arcs estables d'uns 50 mil·liamperes i desenes de centímetres, per analitzar el seu comportament a freqüència industrial.

La forma de banyes visualitza l'efecte electrodinàmic buscat en aquesta geometria. L'espira que descriuen els cables de connexió fa bellugar l'arc en circular corrent. Aquest no resta quiet sobre un punt, ja que tendeix a allunyar-se de la font i no arriba a tallar les varetes per fusió, malgrat la seva temperatura. Aquesta disposició fa desplaçar l'arc sobre les varetes, que s'allarguen cada cop més, fins a la seva extinció per manca de tensió d'alimentació, per mantenir ionitzada una vena tan llarga. Dispositius similars s'empren com a element descarregador de l'energia de les sobretensions de maniobra o atmosfèriques a catenàries ferroviàries i similars.

L'emissió termoiónica es caracteritza per un pas de corrent que va fonent microscòpicament el metall, en les zones on neix i mor l'arc elèctric; per això l'arc segueix el mateix camí, encara que ho faci amb petits salts a cadascuna de les taques catòdiques i anòdiques, quan canvien amb la polaritat de cada semiperíode del corrent elèctric. Bàsicament és un fenomen continu, malgrat passar per zero a cada centèsima de segon. Té alt poder destructor, ja que aprofita tota la potència de curtcircuit de la font d'energia elèctrica.

Explosor de banyes

En aquest experiment, hom pot observar com l'arc es ceba a uns 45 kV de valor eficaç.

Els punts on l'arc neix i mor estan incandescents, ja que el metall s'està fonent. L'arc «s'arqueja» per l'efecte de repulsió electrodinàmica i té tendència a allunyar-se de la font d'energia elèctrica. En el moment del defecte, és molt important per al peritatge conèixer d'on venia el corrent elèctric, per determinar el desplaçament i cercar en el sentit correcte les marques fosques de les taques anòdiques i catòdiques.

El color de l'arc és blavós, però contaminat de vermell i groc (partícules dels metalls de les banyes o elèctrodes). Als punts en què neix i mor, el metall està fos molt puntualment, són les taques catòdica i anòdica. L'arc és de poc corrent en aquesta demostració, al voltant de 100 A/m, per aquesta raó es pot mirar a ull nu.

Una persona que solda peces de ferro per arc utilitza corrents de l'ordre de 150 A, per això li cal la careta de soldadura i el filtre inactínic, per a protegir la vista dels raigs ultraviolats.

Els curtcircuits poden provocar corrents de l'ordre de desenes de quiloampers en mitjana i alta tensió, amb forta emissió de radiació i partícules de metalls incandescents procedents dels elèctrodes. El centre de l'arc origina temperatures entre 6.000 °C i 20.000 °C. Per aquest risc es recomana casc i pantalles protectores de la cara al personal en determinades maniobres d'alta tensió.

La taca catòdica dura un semiperíode, l'esforç dinàmic pot fer que salti quan el corrent passa per zero, per tant es veu com salten perquè és corrent altern 50 Hz. Si l'arc es desplaça deixa un rastre de traus de fusió que indiquen el camí i la velocitat del desplaçament, ja que a cada semiperíode passa dos cops per zero.

La velocitat de desplaçament de l'arc és pot mesurar per la distància entre les mossegades de les taques catòdiques, tenint en compte que cadascuna dura una centèsima de segon corresponent al semiperíode de 50 Hz.

En algunes circumstàncies l'arc arriba a fer un soroll semblant a una motoserra de benzina, ja que les ones acústiques generades pels passos per zero del corrent semblen petites explosions, que a una centèsima de segon correspondrien a un motor monocilíndric girant a 3.000 rpm.

Efecte espelma

Aquest experiment demostra les propietats conductores d'una flama i està dissenyat per analitzar la casuística d'un sinistre real.

Entre els elèctrodes de l'experiment anterior, situem una espelma encesa.

- A 10 kV ja es genera un vent electrostàtic, visible per la deformació de la flama induïda pel camp elèctric. La flama estava paral·lela als elèctrodes i s'aixafa en pujar la tensió per anar a buscar-los. Sense flama, les partícules d'aire són repel·lides en agafar el potencial de l'elèctrode, però amb una flama, en estar incandescents i moltes d'elles no ser neutres, l'efecte és més visible.

- A 15 kV ja s'encén l'arc. És groc i vermell, color característic dels compostos amb carboni, perquè es nodreix de les partícules orgàniques de la cera, que estaven en procés de combustió. Això demostra que flames i arcs voltaics són de la mateixa natura física: el plasma o quart estat de la matèria, format per molècules senceres i trencades, és a dir per partícules positives i negatives en la mateixa proporció que bescanvien energia. Segons el grau d'ionització o trencament, poden estar barrejats amb les molècules que originen o de les que parteixen.
- A 45 kV, és a dir la tensió que utilitzàvem en l'experiment anterior sense l'espelma, l'arc puja a la mateixa alçada i el color torna a ser blavós, que correspon a l'aire ionitzat.

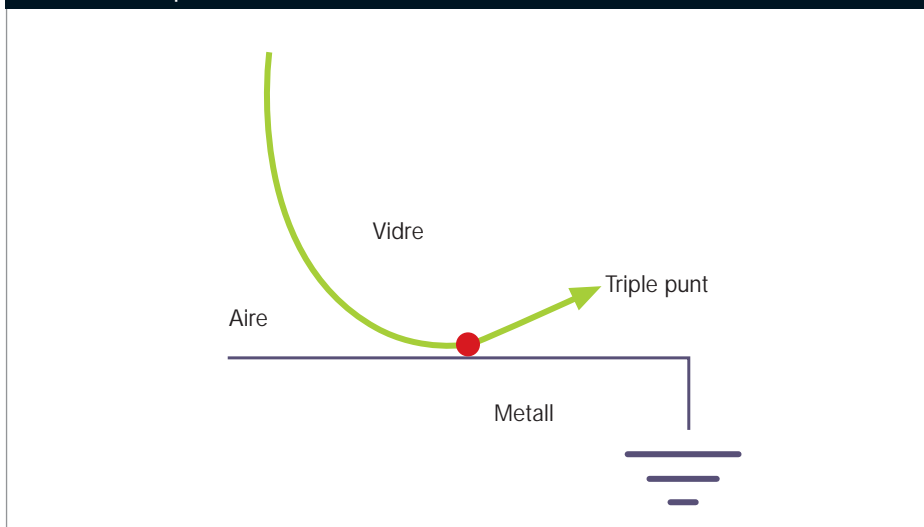
L'arc ionitza tot l'aire que necessita, per tant té una característica de resistència inversa, és a dir a mesura que el corrent creix, la resistència elèctrica aparent de la vena ionitzada d'aire baixa. Una vegada encebat l'arc a una distància determinada cal un mínim de quatre vegades més distància per desencebar-lo, si l'aire és fresc i net, d'aquí la forma geomètrica de les banyes.

IONITZACIÓ PER CAMP ELÈCTRIC

És un fenomen molt ràpid i efímer, on les capacitats i descàrregues parcials, als llocs de concentració de camp elèctric, són les protagonistes. Implica corrents de desplaçament, per tant són fenòmens físicament diferents dels corrents de conducció observats en els experiments anteriors, per això els veurem ramificar-se i travessar aparentment el vidre.

Formarem un condensador elèctric amb una ampolla de cava mig plena d'aigua, col·locada sobre una superfície plana de ferro, connectada a terra. Amb un filferro entrant pel broc, connectarem l'alta tensió a l'aigua. L'ampolla evidencia fenòmens capacitius, ja des dels primers estudis sobre electricitat a la Universitat de Leiden.²⁹

FIGURA 5.24. Detall del punt triple que es forma en el punt on l'ampolla toca la superfície de metall on reposa



El punt triple sol ser el lloc més conflictiu en el disseny dielèctric, és un punt on hi ha dos dielèctrics i un metall implicats. L'ideal és que la frontera entre els dos dielèctrics sigui perpendicular al conductor, per repartir correctament el camp elèctric.

²⁹ En uns experiments inventats de manera independent per Ewald Georg von Kleist (1745) i Pieter van Musschenbroek (1746), alemany i holandès respectivament.

En el nostre cas la frontera és gairebé paral·lela al metall conductor, és a dir, tot al contrari de l'ideal. La disposició usada pretén castigar l'aïllant més feble, l'aire, amb una concentració geomètrica de camp elèctric que el dugui al límit a menor tensió.

Qualsevol impuresa superficial, per petita que sigui, en un material dielèctric, en la zona de contacte amb el conductor, pot originar un punt triple, d'efectes devastadors a llarg termini, per la degradació que poden originar en aïllants orgànics.

Efluvis

La ionització de l'aire, que comença en els punts triples en forma d'efluvis, pot originar ozó (O_3), en el nostre cas d'aire-vidre. L'ozó és molt oxidant, però els efluvis també provoquen altres mecanismes de degradació dielèctrica que actuen sobre els aïllants orgànics, com els corcs a la fusta.

Els efluvis actuen elèctricament com a descàrregues parcials dels petits condensadors que conformen un aïllant real. Quan un d'aquests petits condensadors rep una concentració de càrrega superior al que pot suportar, es curtcircuita i provoca una petita descàrrega (parcial), que allibera l'estrès dielèctric en aquella zona sense elèctrode conductor aparent, per tant sembla que es difumina a través del propi dielèctric. La font veu un petit impuls elèctric i prou, que sols es detecta amb instruments de mesura molt precisos.

En els semiperíodes posteriors a una descàrrega, les següents descàrregues saltaran per un lloc físicament diferent, és a dir un altre dels petits condensadors, que fa que visualment sembli que els efluvis emboliquen l'ampolla de petites descàrregues de color blau. El color blau intens evidencia que només hi ha nitrogen i oxigen ionitzats, que no estan contaminats per partícules dels elèctrodes.

Quan puja la tensió la seqüència comença amb la descàrrega audible (soroll de niu d'abella) i es comencen a veure els efluvis com a efecte corona, caracteritzat per una llum blavosa a prop dels punts de concentració de camp, a la base de l'ampolla en contacte amb el conductor de suport. Formen com una anella lluminosa, corresponent als punts triples de contacte metall-vidre-aire.

Centelles

Aquests efluvis es van allargant a mesura que s'apuja la tensió i s'observen les petites centelles o descàrregues superficials en l'aire que toca el vidre, que es van ramificant sense passar el nivell de l'aigua.

S'evidencia una conducció capacitiva a través del vidre de l'ampolla. Té una forma i un comportament similar als llamps atmosfèrics, malgrat que recordem que la font és de corrent altern 50 Hz.

TAULA 5.8. Seqüència d'ionització per camp elèctric, corresponents a descàrregues parcials observables en una ampolla de cava mig plena, en aplicar alta tensió a freqüència industrial

A 48 kV	▶ Audible
A 58 kV	▶ Primers efluvis visibles
A 60 kV	▶ Centelles que no passen del nivell de l'aigua
A 70 kV	▶ Centelles que sobrepassen l'aigua, tremolor de la cadena conductora per efecte dinàmic
A 83 kV	▶ Centelles que contornegen
A 95 kV	▶ Guspises i centella llarga, soroll de traca

Si es continua apujant la tensió, les centelles s'allarguen formant una guspira efímera que abasta els dos elèctrodes metàl·lics, és a dir contorneja sobre l'aire que envolta l'ampolla. Continua sent un fenomen blavós de màxima virulència acústica i elèctrica provocada per l'efecte de càrrega i descàrrega del condensador format per l'ampolla, al pas pels màxims valors de tensió corresponents als semiperíodes.

Tot el fenomen sembla embolicar l'ampolla, perquè els petits condensadors estarien distribuïts per tota la seva superfície d'interfase aire/vidre.

L'ampolla no es trenca ni està calenta, només té una mica d'escalfor superficial. Una ampolla amb un camí de fuga més llarg o amb un vidre més prim es perfora i destrueix el vidre, abans de contornejar.

En línies aèries, els aïllants poden coordinar-se per contornejar abans de perforar-se; en els soterrats és impossible i s'han de posar altres dispositius per evitar la perforació (parallamps o autovàlvules en els extrems dels cables).

FIGURA 5.25. Aïllador de campana de vidre trempat, per a línia aèria de transport en alta tensió



Efectes de sal i aigua dipositada

La part superior té forma de paraigua i la inferior té uns anells que allarguen el camí de fuga o distància superficial a recórrer pel vidre per connectar les dues parts de metall.

L'aïllador de campana és el que suporta les línies aèries, pot ser de ceràmica o de vidre. Les gotes fan regalims que cal reconduir fins a la vora i allargar la línia de fuga per sota en la zona aixoplugada.

FIGURA 5.26. Un conjunt de centelles contorneja varis aïlladors de suport per a material elèctric a tensions de distribució



Assaig dielèctric dels aïlladors

En sec, si estan ben coordinats, la descàrrega límit contorneja abans de perforar; per tant és reversible.

Amb pluja o mullats els aïlladors han d'ésser fiables i cal assajar-los. L'aigua provoca unes condicions superficials que cal verificar, perquè les partícules d'aigua són conductores, es belluguen i s'evaporen al pas del corrent elèctric, amb un comportament poc modelitzable analíticament.

La contaminació salina amb aigua fa ionitzar abans i la descàrrega elèctrica pren un color taronja gràcies al clorur sòdic. També és un fenomen reversible.

Les línies del costat del mar pateixen pel dipòsit superficial de la sal, que pot originar descàrregues intempestives. L'aerosol format per la humitat amb les sals pot formar dipòsits. Això provoca pèrdues de rendiment sense perill d'incendi, però com que també hi ha degradació s'ha de tenir precaució i més cura del manteniment.

La sal pot generar camins de fuga pels llocs dels regalims, és a dir camins amb acumulació per dipòsits salins que provoquen disbars nocturns de proteccions quan la humitat és alta.

Poden presentar-se fenòmens semblants per altres tipus de contaminació, com sutge de fums o insecticides. Són habituals en els aïlladors propers a carreteres transitades, determinades indústries i camps de conreu d'arbres fruiters. Els aïlladors, per raó del camp elèctric, actuen com a precipitadors electrostàtics de partícules. Una gota d'aigua «bruta», en ser atreta a la superfície de l'aïllador, evapora l'aigua i la «brutícia» s'acumula a la superfície.

FIGURA 5.27. Aïllador polimèric de silicona, per a línies aèries de distribució



Els aïlladors polimèrics de silicona són aïlladors de polímers sintètics. Les gotes dipositades a la superfície no s'uneixen i per tant no generen camins de fuga.

No formen tants regalims. Són considerats anticontaminació, perquè la brutícia forma cercles i costa més de fer «camins» de descàrrega.

El comportament al foc d'aquests aïlladors és diferent:

- els de campana resisteixen millor el pas d'incendis forestals per sota;
- els sintètics cal substituir-los, perquè són més delicats i poden ser destruïts pel foc més fàcilment.

CORRENTS FORTS A 50 HZ

Construït amb material donat per Seat, soldadura per punts, banys galvànics (1985).

És l'equip per a verificar el correcte funcionament dels elements conductors en equips o instal·lacions elèctriques.

Permet assajar els efectes de la circulació del corrent o intensitat, de forma «químicament pura», és a dir gairebé sense tensió, ja que està limitada a 15 V. Això proporciona molta seguretat en l'estudi dels efectes dinàmics i tèrmics dels grans curtcircuits, amb corrents de 40 kA o superiors.

En un transformador electromagnètic, baixar la tensió de sortida al secundari permet augmentar de forma equivalent el corrent disponible. Això és molt emprat en soldadura

industrial per punts, perquè s'aconsegueixen fusions controlades, per conducció directa i sense l'arc que caracteritzava la instal·lació anterior d'assaig dielèctric.

En aquesta instal·lació es busca que no es formi arc durant els assaigs. La fórmula d'Airton ens ho garanteix, ja que calen 30 V per establir un arc amb elèctrodes de coure en l'aire.

La instal·lació disposa de tres transformadors monofàsics de soldadura per punts de 80 kVA, 400/15 V, 8 kA, amb els quals es poden fer moltes combinacions de connexions. Es poden mantenir 25 kA en mode permanent, perquè els transformadors admeten el refredament amb aigua.

Aquesta instal·lació es complementa amb una dinamo per generar corrent continu de 4000 A, 60 V, amb l'objectiu d'estudiar el comportament límit d'alguns materials superconductors. Donada per Fabricación Nacional de Colorantes, Barcelona (1988). Hi ha tres modes d'assaig amb aquest equip, tipificats per la normativa elèctrica:

Assaig d'escalfament

Consisteix a fer circular per l'equip que s'assaja el seu corrent nominal o de sobrecàrrega, fins que assoleix la seva temperatura de treball, en equilibri isotèrmic amb l'ambient. Assolir aquest equilibri pot trigar unes quantes hores, durant les quals cal controlar la temperatura en tots els punts, per no arribar a la perillosa per als materials del dispositiu que s'assaja. En cabines de ferro per mitjana tensió, evidencia errors de disseny, on no s'hagi tingut en compte el camp magnètic dels conductors sobre la cabina, que pot originar escalfaments perillosos. Les càmeres termogràfiques actualment són un gran ajut per a aquests assaigs.

Assaig de resistència tèrmica

Consisteix a fer circular un fort corrent durant un temps d'un segon, per verificar la integritat del dispositiu en cas de corrents de curtcircuit. Aquest règim es considera adiabàtic amb el símil termodinàmic, ja que l'escalfor generada per l'efecte Joule i d'altres no té temps de dissipar-se cap a l'ambient i s'inverteix en escalfament intern, sols limitat per la inèrcia tèrmica de l'equip que s'assaja. En general es considera que les proteccions d'una instal·lació elèctrica han d'haver desconnectat en un segon i aquesta ha de resistir aquest temps sense destruir-se. Sovint hom no entén que determinades instal·lacions o trams curts a les escomeses, aigües amunt dels interruptors automàtics, siguin tan gruixudes, els cal augmentar la inèrcia tèrmica, per resistir aquest segon, mentre dispara la protecció de capçalera.

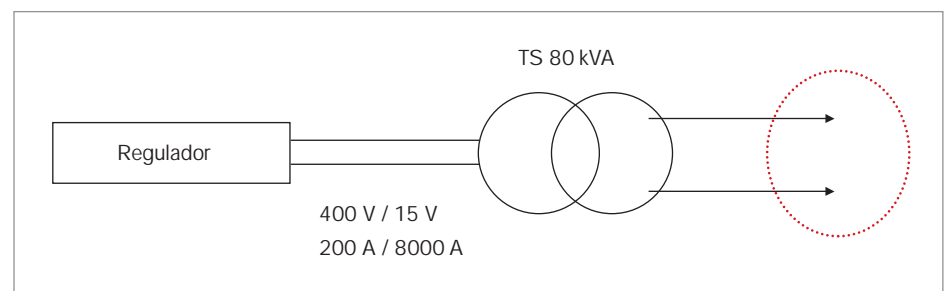
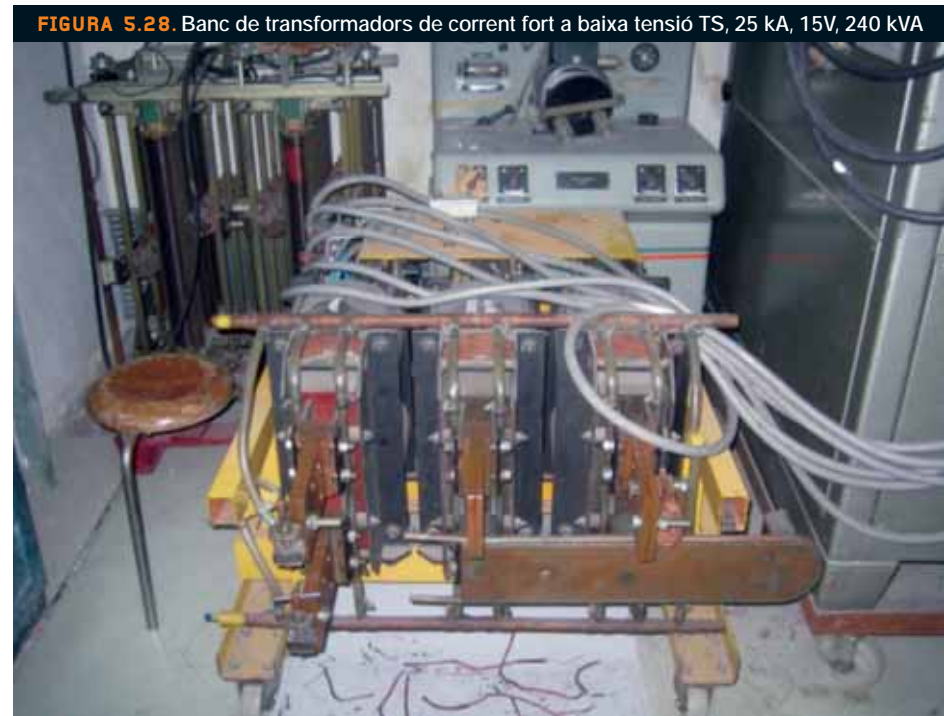
Assaig de resistència dinàmica

Permet verificar la integritat mecànica durant el pas dels corrents de curtcircuit. Els esforços dinàmics entre conductors depenen del quadrat del corrent que hi circula, és a dir que poden originar trencaments o ressonàncies mecàniques, al pas dels curtcircuits.

Entre dos conductors paral·lels, l'esforç és d'atracció si el corrent que hi circula és en el mateix sentit, però de repulsió si són de sentit contrari. Per això l'arc té tendència a allunyar-se de la font d'electricitat, ja que en els conductors que l'alimenten, el corrent hi circula en sentit contrari i l'arc no deixa d'ésser un vena conductora.

Aquest assaig sol durar un sol semiperíode en l'ona de corrent a 50 Hz, és a dir 10 mil·lisegons; en aquest temps el conductor no s'arriba a escalfar gaire, ja que l'escalfament depèn del quadrat del corrent que circula, multiplicat pel temps que ho fa I^2t .

La possibilitat d'analitzar experimentalment de forma separada la casuística de comportament extrem del material elèctric, ha contribuït a la difusió d'aquest mètode d'emprar energia.



TRANSFORMADOR DE POTÈNCIA O DE SOLDADURA PER ARC

A diferència de l'apartat anterior, en aquest cas s'utilitzarà una font d'energia elèctrica que superi els 30 V que, segons la fórmula d'Airton, calen per a formar un arc estable entre dos elèctrodes de coure a l'aire.

L'arc s'empra per a la soldadura del ferro. De fet, el seu ús és molt estès en la indústria siderúrgica i en els tallers de manteniment en general. Qualsevol d'aquests equips de soldadura pot servir per a repetir el que s'explica en aquest apartat.

L'equip de soldadura sol estar connectat a una taula de ferro, on es situa la peça a soldar. L'altre fase o pol de la font elèctrica es connecta a una pinça amb mànec aïllant, que agafa l'elèctrode que conté el material d'aportació per a la soldadura.

La font d'electricitat, que admet curtcircuits d'alguns segons, sol tenir una tensió de buit de 60 V a 150 V i un corrent de curtcircuit de 150 A a 300 A. Aquests valors són fàcilment verificables amb una simple pinça amperimètrica.

Es proposa un experiment de tipus qualitatiu, que consisteix a desplaçar l'elèctrode dels diversos materials, fent contacte per la taula, a una velocitat aproximada d'un metre per segon. Cal protegir la zona de contacte amb una pantalla, que pot ser de cartó mateix, justa per a no veure l'arc, però prou petita per visualitzar les espurnes que es desprenen.

És una forma d'analitzar què pot passar amb els perdigons que es formaven en l'apartat anterior, en presència de l'arc elèctric.

El ferro a l'elèctrode fa espurnes amb forma d'esfera, que arriben incandescentes a terra. La seva forma és fàcilment verificable quan són fredes, perquè són fàcils de recollir d'un terra net. Amb una mica d'ampliació òptica hom pot veure que les esferes solen tenir un o varis plans, procedents de l'impacte del perdigó amb el terra, quan encara era prou tou com per a deformar-se.

El ferro es fon a 1.536 °C i hom pot assumir que és una temperatura similar a la inicial en la trajectòria cap a terra. L'arc, per la seva natura, pot elevar perfectament la temperatura de la partícula fins a aquests valors, en molt poc temps.

L'emissió lluminosa de la partícula permet determinar-ne la trajectòria i la temperatura al laboratori. Com més petita és la partícula més fàcilment es refreda, perquè vola més lenta i la superfície de bescanvi tèrmic és proporcionalment més gran.

El coure a l'elèctrode també fa espurnes de forma esfèrica. Fon a 1.083 °C, això pot explicar el fet que semblen arribar a terra amb més dificultat que en el cas del ferro.

L'alumini no fa boles sinó volves, que cauen més lentament i no solen arribar a terra en aquest experiment perquè es redueixen a pols pel camí. Fon a 660 °C i es vaporitza a 2.450 °C. Si l'arc supera els 3.000 °C a l'alumini, s'inicia la reacció aluminotèrmica de combustió espontània, formant òxid alumínic o alúmina (Al_2O_3), que es desprèn com a polsim. La volva d'alumini baixa incandescent i es consumeix ràpidament a temperatures d'uns 3.000 °C.

CORRENT CONTINU

El corrent continu, sovint procedent de bateries, sol ser utilitzat a 12 V o 24 V, perquè si hom supera els 30 V tots els interruptors de control i proteccions es compliquen i encareixen en ser molt estables els arcs de ruptura del circuit.

La dificultat d'extinció d'un arc de corrent continu, per sobre de 30 V, rau en el fet que el corrent no passa mai per zero, com en el cas de corrent altern que ho fa cada centèsima de segon, i cal sofisticar els contactes i sistemes d'extinció dels arcs de desconexió o d'eliminació de defectes.

ELECTROSTÀTICA

Els fenòmens electrostàtics van lligats a les capacitats paràsites dels objectes i poden assolir potencials considerables.

La humitat ambient té un paper decisiu perquè com més baixa és més grans són els efectes electrostàtics. Una humitat elevada descarrega superficialment els corrents originats per fricció electrostàtica, cosa que evita que pugui la tensió.

Dos factors principals originen els fenòmens electrostàtics: la fricció i la variació de capacitat.

La fricció triboelèctrica es dona sempre que freguen dos materials aïllants de diferent permitivitat. Els electrons dels àtoms superficials dels materials s'arrenquen mecànicament i provoquen un desequilibri elèctric que origina la càrrega electrostàtica.

Com més lluny estiguin els dos materials que freguen a la taula triboelèctrica, més gran és llur diferència electrostàtica i més es carreguen a igualtat de fregadís.

TAULA 5.9. La taula triboelèctrica permet determinar els potencials electrostàtics que prenen els diferents materials aïllants en fregar entre si

Positiu (+)
Aire
Mans humanes
Asbest
Pell de conill
Vidre
Cabell humà
Mica
Niló
Llana
Plom
Pell de gat
Seda
Alumini
Paper
Cotó
Acer
Fusta
Lacre
Àmbar
Poliestirè
Polietilè
Goma dura
Niquel, coure
Bronze, plata
Or, platí
Acetat, raïó
Polièster
Cel·luloide
Silicona
Tefló
Negatiu (-)

Amb el generador Van de Graaf, molt popular als museus de la Ciència, s'aconsegueix una important càrrega per fricció i hom pot observar com els cabells o el paper de cel·lulosa s'aixequen. Aquestes petites forces de repulsió entre cabells es deuen a la repulsió entre càrregues del mateix signe.

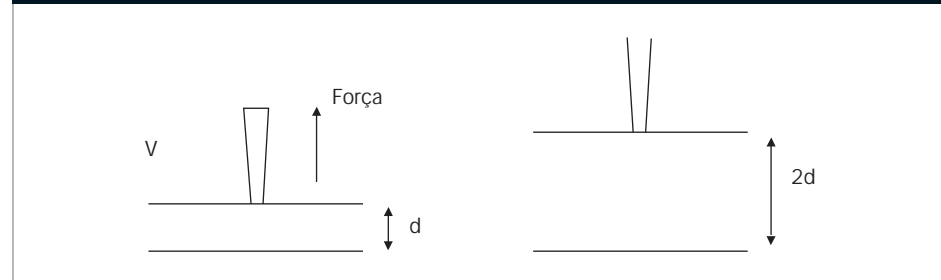
Com més separats a la taula es troben, més es carreguen.

Variació de capacitat

L'electròfor és un altre experiment típic de laboratori, que va posar a punt el físic italià Alessandro Volta. Consisteix en un condensador amb mànec aïllat que, un cop carregat, es pot desplaçar un dels elèctrodes manualment, allunyant-lo de l'altre.

Entre les plaques d'un condensador carregat hi ha una feble força d'atracció entre elles, perquè les càrregues elèctriques són de signe contrari. Separar les plaques obliga a vèncer aquesta força, amb el resultat d'un important increment de la tensió elèctrica, que pot ser proporcional a l'augment de la distància.

FIGURA 5.29. Experiment de l'electròfor



En separar les plaques d'un condensador carregat, s'ha de vèncer la força d'atracció electrostàtica entre les seves plaques. Aquest treball origina una pujada de tensió que, en el cas de la figura, podria doblar tensió inicial.

La càrrega elèctrica es manté i el desplaçament d'elèctrodes incrementa la tensió, perquè com que la força d'atracció electrostàtica entre les plaques és d'atracció, estem introduint energia mecànica. El pes dels elements sol emascarar aquestes febles forces.

IMPULSOS ELÈCTRICS

TENSIÓ TIPUS LLAMP

Amb un equip d'assaig cedit per l'empresa Laboratorio Electrotécnico SCCL de Cornellà (1989), es pot verificar el correcte funcionament dels dielèctrics, en cas de sobretensions de tipus llamp atmosfèric, on les distàncies entre conductors i masses són decisives.

El llamp és un fenomen molt ràpid, que posa en joc grans quantitats d'energia.

Té associats uns fenòmens molt particulars que cal validar en la instal·lació que es presenta. Com s'ha dit, es pot associar en electricitat a la detonació en combustibles.

La plataforma d'assaig de tensió de xoc reproduïx la tensió que provoca un llamp de fins a 1000 kV de tensió, amb una energia de 10 kJ, en un temps d'1,2/50 microsegons, provocat per la descàrrega d'uns grans condensadors, que imiten el comportament del núvol.

Es forma un impuls normalitzat que puja al valor màxim de tensió en 1,2 microsegons i baixa al 50% de la tensió en 50 microsegons. Aquesta forma és molt semblant a la que viatja per les línies elèctriques, després de rebre l'impacte directe d'un llamp i que castiga dielèctricament tots els elements connectats a la línia, mentre no s'aconsegueix esmorteir-la.

L'objecte assajat, que es situa en paral·lel al generador, ha de suportar el pic de sobretensió sense destruir-se.

Tot l'aparellatge elèctric que es pugui alimentar amb línies elèctriques d'intempèrie ha de superar aquest assaig, de severitat diferent segons el nivell de tensió nominal de la xarxa.

És com un cop de martell elèctric i fa un espetec sec, amb el soroll d'un cop de fuet. La descàrrega sol seguir una línia recta, que forada com un fibló.

CORRENT TIPUS LLAMP

Equip d'assaig cedit per l'empresa Aismalibar de Montcada i Reixac (1995), el qual permet verificar el correcte funcionament dels conductors, parallamps i autovàlvules, enfront de les sobrentensitats conduïdes de tipus llamp.

FIGURA 5.30. Plataforma d'assaig de tensió d'impuls tipus llamp



FIGURA 5.31. Plataforma d'assaig de corrent d'impuls tipus llamp



La plataforma d'assaig reproduïx el corrent de descàrrega directa a terra, associada a la caiguda d'un llamp.

L'impuls de corrent pot assolir 100 kA, amb 80 kJ d'energia associada, seguint la forma de 8/20 microsegons. És un impuls més lent que el de tensió, ja que puja al valor nominal de corrent en 8 microsegons i baixa al 50% en 20 microsegons.

L'objecte a assajar es connecta en sèrie i ha de resistir el pas del corrent a través seu. És típic de conductors, parallamps, autovàlvules i tots els elements que han de resistir el pas del corrent conduit.

Al laboratori es verifica que no es trenquin per efectes dinàmics o tèrmics al pas del corrent, que també és assimilable a una detonació de caire elèctric.

Provoca una ona acústica important, que correspon al soroll del tro. També pot induir deformacions hiperplàstiques en materials conductors i provocar esqueixats molt característics en els aïllants.

Ales d'avió, determinats elements estructurals i pales d'aerogenerador, són objecte d'assaig en instal·lacions similars.

CONCLUSIONS

En aquest apartat es presenten les consideracions i propostes que els membres del Grup de recerca sobre investigacions d'incendis i explosions (GRIE) han posat en comú després de la feina conjunta, amb la intenció que siguin útils a les institucions públiques i a les entitats privades que treballen en els àmbits de la prevenció, la protecció, la investigació i la lluita davant d'aquest tipus de sinistres i accidents.

Al llarg d'aquestes pàgines s'han tractat les situacions i els exemples més paradigmàtics que afronten els diversos responsables, tant públics com privats, de les investigacions d'incendis i explosions. La descripció d'aquestes situacions i les experiències aportades pels membres del GRIE són la base utilitzada per arribar a unes propostes i conclusions que esperem que ajudin a millorar el funcionament del sistema que analitzem.

D'aquesta manera es presenten, en forma d'enunciats, les conclusions a què el Grup de recerca ha arribat conjuntament:

- La investigació d'incendis i explosions és una política pública de seguretat, l'aplicació de la qual és responsabilitat compartida entre el sector públic i privat.
- La investigació d'incendis i explosions accidentals és, a la vegada, una matèria multidisciplinària i, com a tal, la millora de la col·laboració i coordinació entre els diferents agents del sistema és un element clau. En aquest sentit, hi ha una coincidència generalitzada que els eixos bàsics on s'han de concentrar els esforços giren entorn de la informació, la cooperació, el coneixement mutu i la formació.
- La missió i els objectius estratègics de les diferents organitzacions que interveuen en les investigacions d'incendis i explosions poden desvirtuar i dificultar, en ocasions, l'obtenció de resultats i conclusions. Tal com s'ha expressat al llarg dels diversos capítols del llibre, cadascun dels col·lectius professionals que hi interveuen tenen funcions i motivacions diferents a l'hora de resoldre les investigacions. En resum, la policia intervé quan hi ha indicis que l'explosió o l'incendi és producte d'un acte il·lícit, ja sigui per iniciativa pròpia o en el marc d'una investigació judicial. La intervenció dels bombers i l'anàlisi posterior de la seva actuació tenen com a objectiu principal esbrinar les causes de l'incendi o l'explosió des de la perspectiva de la prevenció, la protecció i l'avaluació de la pròpia actuació. Les companyies d'assegurances tenen com a principal motivació identificar les responsabilitats originals i posteriors als fets, amb un interès econòmic i empresarial. Per tant, a primer cop d'ull, els interessos del sector públic i privat s'interpreten com a contraposats, quan en realitat són, en la majoria de casos, coincidents.

- La competència en cas de l'actuació pública és la policia judicial, que necessita accedir al coneixement tècnic com a suport per fer la seva feina. Caldria, doncs articular de manera estable i fluida l'accés de la policia al coneixement sectorial que aporten bombers, universitats, laboratoris, forenses i gabinets especialitzats en investigacions al servei de les companyies asseguradores.
- Davant aquest escenari, la creació d'equips mixtos o multidisciplinaris per afrontar les investigacions de grans sinistres pot ser una mesura de millora interessant. Sobre aquesta qüestió s'ha de tenir en compte que és inviable i ineficient una cooperació exhaustiva en la multitud de casos d'incendis i explosions que generen investigacions, però en els casos importants o de gran magnitud es proposa la creació d'equips d'aquesta naturalesa, semblants als que es creen per investigar sinistres d'aviació.
- D'altra banda, una mesura de gran utilitat per emprendre accions de millora i d'ajuda a la presa de decisions seria la creació d'una base de dades d'accidents esdevinguts a Catalunya, amb indicadors derivats de les actuacions dels diferents operadors. L'anàlisi de la informació continguda en aquesta base de dades hauria de facilitar, entre d'altres, la monitorització de l'evolució d'aquest tipus d'accidents a Catalunya, i també millorar les actuacions des del punt de vista preventiu i de perfeccionament de les intervencions dels diversos operadors, per pal·liar les interferències que poden produir les actuacions d'un operador en detriment de les funcions i responsabilitats dels altres.
- En el pla de la formació, es proposa l'actualització i la millora de currículums acadèmics de graduats i màsters, de cicles formatius relacionats amb l'estudi dels incendis i les explosions, així com de la formació específica dels col·lectius professionals afectats i responsables en aquest àmbit.
- Així mateix es recomana el disseny d'unitats de formació per a l'obtenció d'una habilitació individual, regulada pel sector públic, amb diverses especialitats i adreçada als diferents agents públics i privats, amb la participació activa de les universitats, els col·legis professionals i emesa per un organisme independent. Aquest model d'acreditació hauria d'articular de manera que fos compatible amb les acreditacions que ja existeixen en altres camps de la seguretat, com la prevenció d'incendis, la seguretat industrial, la seguretat ambiental i les que s'executen en alguns camps de la seguretat en el treball, ja que la proliferació de models d'acreditació no integrats redueix l'eficiència del sistema.
- Per dur a terme les mesures que s'han proposat en els punts anteriors, és a dir, la gestió dels equips multidisciplinaris —creats per analitzar els casos més importants—; la creació i el manteniment d'una base de dades comuna; l'acreditació i el manteniment del registre de persones habilitades, i, finalment, el foment i la col·laboració en la seva formació, es proposa la creació d'un òrgan mixt de naturalesa pública que, per mitjà de convenis de cooperació, adherís i impliqués el sector privat.
- Finalment, es posa de manifest un desconeixement dels sistemes i dels mètodes emprats en l'àmbit europeu, com a principal punt de referència. El coneixement d'altres realitats contribuiria a identificar bones pràctiques que es podrien importar i fins i tot contribuiria a harmonitzar protocols d'actuació per als casos amb efectes transfronterers o d'implicació de més d'un país.

Aquests deu punts es presenten com unes recomanacions que en cap cas pretenen capgirar el sistema actual, sinó millorar-lo. De fet, encara que no ha estat inten-

ció del GRIE avaluar els costos d'aquestes propostes, s'intueix que dur-les a terme suposaria una despesa relativa, sobretot tenint en compte la millora en el rendiment, l'eficàcia i la coordinació dels diferents sistemes que funcionen actualment. Així mateix, seria aconsellable revisar el marc jurídic actual per verificar l'encaix de les propostes exposades de cara a considerar possibles modificacions i reformes legals.

Per acabar, es reitera aquí la idea que el GRIE ha de tenir continuïtat per tal d'aprofundir i fomentar la transferència de coneixement tècnic en diverses línies de treball sobre aquesta matèria. Amb aquest propòsit, recentment s'ha iniciat a l'Institut de Seguretat Pública de Catalunya un nou grup de recerca sobre la seguretat contra incendis i explosions en els vehicles de nova generació, que referma la represa d'aquest camp d'estudi.

BIBLIOGRAFIA

- ALVEAR, D.; REIN, G.; CAPOTE, J.A.; TORERO, J.L.; LÁZARO, M.; ABREU, O. *Modelado y Simulación Computacional de Incendios en la Edificación*. Universitat de Cantàbria: Grupo de Investigación y Desarrollo de Actuaciones Industriales (GIDAI); Díaz de Santos, 2007.
- U.S. AMERICAN WOOD COUNCIL. *DCA1 - Flame Spread Performance of Wood Products* [en línia] <<http://www.awc.org/index.html>> Estats Units, 2008.
- BEJAR, C. «Resistencia al fuego de pilares tubulares de fundición de hierro» [projecte final de carrera (director ROVIRA, S.)]. Universitat Politècnica de Catalunya: Departament de Resistència de Materials i Estructures a l'Enginyeria. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, novembre de 2007.
- BILODEAU, A.; KODUR, V.K.R.; HOFF, G.C. «Optimization of the type and amount of polypropylene fibres for preventing the spalling of lightweight concrete subjected to hydrocarbon fire». National Research Council Canada NRC-CNRC; Institute for Research in Construction, informe NRCC-45687. *Cement and Concrete Composites*, vol. 26, núm. 2, febrer de 2004, p. 163-174.
- BOIXADÉ, J.; GAVARRÓ, P. «Causas e investigación de incendios y explosiones: Guía básica de investigación de incendios». *Seguridad contra incendios*. Barcelona: Col·legi d'Enginyers Tècnics Industrials de Barcelona, 2006.
- BRANNIGAN, F.L.; CORBETT, G.P. *Brannigan's Building Construction for the Fire Service*. 4a. edició. Jones & Bartlett Publishers, 2007.
- CADORIN, J.F.; PINTEA, D.; FRANSSSEN, J.M. *The Design Fire Tool Ozone V2.0. Theoretical Description and Validation on Experimental Fire Tests* [informe intern SPEC/2001-01]. Universitat de Liège, Departament M&S, 2001.
- CAFE, A.D. *TC Forensic Company* [en línia] <<http://www.tcforensic.com.au>> Austràlia, 2004.
- CASALS, P. «El REBT y los cables con propiedades especiales ante el fuego». *Electra*, núm. 134, 2005, p. 72-76.

- CASALS, P. «Sistema en línea para detección preventiva de descargas parciales en accesorios de cables de alta tensión mediante sensores de emisiones acústicas» [tesi doctoral (director BOSCH, R.)]. Universitat Politècnica de Catalunya, Departament d'Enginyeria Elèctrica, 2007.
- RENAUD, Ch. *Guide de vérification des entrepôts en structure métallique en situation d'incendie* [en línia]. Saint-Rémy-les-Chevreuse: Centre Tècnic Industrial de la Construcció Metàl·lica, octubre de 2005.
- CUSTER, R.L.P. *NFPA: Field guide for fire investigators*. Sudbury: Jones & Bartlett Publishers, 2007.
- DELMAR CENGAGE LEARNING. *Firefighter's Handbook: Essential of Firefighting and Emergency Response*. 2a edició. Thomson Delmar Learning, 2004.
- U.S. FACTORY MUTUAL INSURANCE COMPANY. *FM Global Property Loss Prevention Data Sheet: Guidelines for evaluating the effects of vapour cloud explosions (VCE)*, 7-42. Estats Units, 2008.
- U.S. FACTORY MUTUAL INSURANCE COMPANY. *FM Global Property Loss Prevention Data Sheet: Causes and effects of fire and explosions*, 7-0. Estats Units, 2006.
- FERREIRA, R. «Caso práctico» [projecte final de carrera]. Universitat Pompeu Fabra; Elisava, 2002.
- FONT, J. «Investigació d'incendis». DGSPeis dels Bombers de la Generalitat, 1992.
- GAVARRÓ, P. «Investigación de causas y origen de los incendios. Inspección ocular: pruebas y recogida de muestras». Barcelona, 2007.
- GILVARY, R.; DENTER, J. *NIST GCR 97-718: Evaluation of alternative methods for fire rating structural elements*. National Institute of Standards and Technology, 1997.
- GRETENER, M. *Evaluación del riesgo de incendio. Método de cálculo*. Madrid: Ce-preven, 1991.
- GUERRERO, A. «Contribution to the Advanced Analysis and Prevention of the Mechanisms of Natural Fire Induced Structural Collapse in High-rise Buildings» [tesi doctoral (direcció PESAVENTO, F.; MARIMON, F.)]. Universitat Politècnica de Catalunya: Departament de Resistència de Materials i Estructures a l'Enginyeria. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, 2009.
- HERNÁNDEZ, J. «Aplicació de piles de combustible PEM a motos "scooter"» [tesi doctoral (director BOSCH, R.)]. Universitat Politècnica de Catalunya: Departament d'Enginyeria Elèctrica, 2009.
- INCHAUSTI, J.M. «Arco interno: Seguridad de las personas ante instalaciones eléctricas». DYNA, vol. 84, núm. 4, maig de 2009, p. 307-314.
- KORDINA, K. «Der Einfluß von Abplatzungen, Schutzschichten und des Spannsystems auf die Feuerwiderstandsdauer». *Fire Resistance of Prestressed Concrete, proceedings of a symposium held at Braunschweig*. Germany by the Federation Internationale de la Precontrainte, 1965, p.51-56.

- KODUR, V.K.R. «Experimental Studies for evaluating the Fire Endurance of High Strength Concrete Columns» [informe de recerca núm. 197]. Fire Research Program, Institute for Research in Construction; National Research Council Canada, maig de 2005.
- LOPEZ-ROLDAN, J.R. «Concepción dieléctrica de aislantes interiores de resina epoxy para alta tensión con hexafluoruro de azufre» [tesi doctoral (director BOSCH, R.)]. Universitat Politècnica de Catalunya: Departament d'Enginyeria Elèctrica; Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, 1997.
- LORENTE, F. «Comentarios al diagnóstico DSM-IV de piromanía». *Revista de Psiquiatria de la Facultat de Medicina*. Barcelona, núm. 23, 1996, p. 189-193.
- LORENTE, F. «Incendiaris i piròmans». *El Mirall Unidireccional*, 2, p. 12-14. Universitat de Girona: 1996.
- LORENTE, F. «Cuando la conducta incendiaria busca el provecho económico». *Emergencia* 112, núm. 68, 2007, p. 14-17.
- LORENTE, F. «Conducta incendiaria. Curso evolutivo y tratamiento». *Emergencia* 112, núm. 70, 2007, p. 14-17.
- MADRZYKOWSKI, D.; VETTORI, R.L. *NISTIR 6510: Simulation of the Dynamics of the Fire at 3146 Cherry Road NE. Washington D. C, May 30, 1999*. National Institute of Standards and Technology, 2000.
- MADRZYKOWSKI, D. «Fire research: Providing new tools for fire investigation». *Fire and arson investigator*. Estats Units, vol. 52, núm. 4, juliol de 2002, p. 43-46.
- MARIMON, F. «Modelización de la resistencia al fuego de las estructuras». I Congreso de Consultores de Estructuras ACE. Barcelona, 2007. p. 280-302.
- MARIMON, F.; DEFOUR, A.; FERRER, M.; CASAFONT, M. «Étude de la résistance au feu d'une halle industrielle avec l'utilisation des modèles de zones et de champ complète (CFD) Computational Fluid Dynamics». Colloque International Caractérisation et Modélisation des Matériaux et Structures, CMMS08. Tizi-Ouzou, 16-18 de novembre de 2008.
- MCGRATTAN, K.; HOSTIKKA, S.; FLOYD, J. *Fire Dynamics Simulator. User's Guide*. NIST 1019-5 Publicació especial, desembre de 2009.
- MEGURO, K.; TAGEL-DIN, H. «Applied Element Method, A new efficient tool for design of structure considering its failure behavior». Proc. of 7th US-Japan Earthquake Resistant Structure Design of Lifeline Facilities and Countermeasures against Liquefaction, 1999.
- NADAL, R.; VILLANUEVA, J.E. *Anatomía de un siniestro en un riesgo industrial*. Barcelona: Colegio Nacional de Agentes de Seguros, 1982.
- NADAL, R. *La gerencia de riesgos*. Madrid: Centro de Estudios del Consejo General de los Colegios de Mediadores de Seguros Titulados (CECAS), 2001.
- NORDIC MANUAL. *Cause of fire investigation* [document inèdit], 2009.

- PASCUAL, M. Tecnología del fuego. Ediciones M, 1998.
- PEACOCK, R.D.; JONES, W.W.; RENEKE, P.A.; FORNEY, G.P. *CFAST-Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport. User's Guide*. NIST 1041 Publicació especial, desembre de 2008.
- PETIT, J.M.; POYARD, J.M. *Les mélanges explosifs. Partie 1: Gaz et vapeurs*. INRS: 2004.
- PHILLIPS, C.C.; MCFADDEN, D.A. *Investigación del origen y causas de los incendios*. Mapfre, 1984.
- PONS, V. *Dinàmica del foc. Origen i causa dels incendis*. Edicions del Bullent. Picanya, 2003.
- REIN, G.; BAR-ILAN, A.; ALVARES, N.; FERNÁNDEZ-PELLO, C. «Comparison of three Fire Models in the Simulation of Accidental Fires». Ponències de la Jornada Tècnica Internacional «Los Modelos de Simulación Computacional en la Ingeniería y la Investigación de Incendios». Universitat de Cantàbria: GIDAI; Capote, J.A. Editor. Santander, 20 d'octubre de 2004.
- REJAT, M.; PLANAS, E.; SANCHO, J. «Explosión de un inmueble después de una fuga de agua. Lecciones a difundir». *Emergencia 112*, núm. 80, desembre de 2009, p. 36-42.
- REJAT, M. «Lo que trasladamos los bomberos de nuestras actuaciones. Análisis y tratamiento de lo observado en los siniestros». *Emergencia 112*, núm. 83, juny de 2010, p. 11.
- SANS, J. «La normativa sobre seguretat contra incendis en els edificis i indústries. Present i futur». *Revista Catalana de Seguretat Pública* (abril de 2008), núm 18, p. 181-202.
- SANS, J. «Seguretat contra incendis reglamentària. On som i on anem». *Fulls dels Enginyers* (abril de 2008), p. 16-19.
- SANS, J. «Mites i realitats sobre les explosions accidentals». *Fulls dels Enginyers* (febrer de 2009), p. 10-11.
- SHEN, T.S.; HUANG, Y.H.; CHIEN, S.W. «Using fire dynamic simulation (FDS) to reconstruct an arson fire scene». *Building and Environment* (2008), núm. 43, p.1036-1045.
- SHOUB, H. «Early History of Fire Endurance Testing in United States». *Symposium on Fire Test Methods*. ASTM Committee E-5, 1961.
- SSEDTA. Eurocódigo para Estructuras de Acero. Una Propuesta Transnacional. *Introducción al diseño de estructuras sometidas al fuego*. Proyecto Leonardo da Vinci, 2001.

DISPOSICIONS LEGALS I NORMES TÈCNIQUES

ÀMBIT DE L'ESTAT

Ley 50/1980, de 8 de octubre, de Contrato de Seguros. *Boletín Oficial del Estado* (17 octubre 1980), núm. 250.

Ley 30/1995, de 8 de noviembre, de Ordenación y Supervisión de los Seguros Privados. *Boletín Oficial del Estado* (9 noviembre 1995), núm. 268.

Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de ordenació de la edificación. *Boletín Oficial del Estado* (6 noviembre 1998), núm. 266.

Ley 1/2000, de 7 de enero, de enjuiciamiento civil. *Boletín Oficial del Estado* (8 enero 2000), núm. 7.

Real Decreto 2816/1982, de 27 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento general de policía de espectáculos públicos y actividades recreativas. *Boletín Oficial del Estado* (6 noviembre 1982), núm. 267.

Real Decreto 1630/1992, de 29 de diciembre, por el que se dictan disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en aplicación de la Directiva 89/106/CEE. *Boletín Oficial del Estado* (9 febrero 1993), núm. 34.

Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios. *Boletín Oficial del Estado* (14 diciembre 1993), núm. 101.

Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales. *Boletín Oficial del Estado* (17 diciembre 2004), núm. 303.

Real Decreto 312/2005, de 18 de marzo, por el que se aprueba la clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de sus propiedades de reacción y resistencia al fuego. *Boletín Oficial del Estado* (2 abril 2005), núm. 79.

Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. *Boletín Oficial del Estado (28 marzo 2006), núm. 74.*

Real Decreto 110/2008, de 1 de febrero, por el que se modifica el RD 312/2005, de 18 de marzo, por el que se aprueba la clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de sus propiedades de reacción y resistencia al fuego. *Boletín Oficial del Estado (12 febrero 2008), núm. 37.*

Real Decreto 560/2010, de 7 de mayo, por el que se modifican diversas normas reglamentarias en materia de seguridad industrial para adecuarlas a la Ley 17/2009, de 23 de noviembre, sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio, y a la Ley 25/2009, de 22 de diciembre, de modificación de diversas leyes para su adaptación a la Ley sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio. *Boletín Oficial del Estado (22 mayo 2010), núm. 125.*

UNE EN 1992 1-2. Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Madrid: AENOR, 1998.

UNE-EN 1993-1-2. Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Madrid: AENOR

UNE-EN ISO 13943. Seguridad contra incendios. Vocabulario. Madrid: AENOR, 2001.

UNE-EN 13501. Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Madrid: AENOR, 2007.

ÀMBIT DE CATALUNYA

Llei 3/1998, del 27 de febrer, de la intervenció integral de l'Administració ambiental. *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya (13 març 1998), núm. 2598.*

Llei 4/2004, d'1 de juliol, reguladora del procés d'adequació de les activitats d'incidència ambiental al que estableix la Llei 3/1998, del 27 de febrer, de la intervenció integral de l'Administració ambiental. *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya (5 juliol 2004), núm. 4167.*

Decret 241/1994, de 26 de juliol, sobre condicionants urbanístics i de protecció contra incendis en els edificis, complementaris de la NBE-CPI/91. *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya (30 setembre 1994), núm. 1954.*

Decret 143/2003, de 10 de juny, de modificació del Decret 136/1999, de 18 de maig, pel qual s'aprova el Reglament general de desplegament de la Llei 3/1998, de 27 de febrer, de la intervenció integral de l'administració ambiental, i se n'adapten els annexos. *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya (25 juny 2003), núm. 3911.*

Decret 50/2005, de 29 de març, pel qual es desplega la Llei 4/2004, d'1 de juliol, reguladora del procés d'adequació de les activitats existents a la Llei 3/1998, de 27 de febrer, i de modificació del Decret 220/2001, de gestió de les dejeccions ramaderes. *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya (31 març 2005), núm. 4353.*

ÀMBIT DELS ESTATS UNITS D'AMÈRICA

National Fire Protection Agency (NFPA) 921. *Guía para investigaciones de incendios y explosiones* [edició actualitzada i ampliada] Estats Units, 2008.

National Fire Protection Agency (NFPA) 325. *Guide to Fire Hazard Properties of Flammable Liquids, Gases, and Volatile Solids.* Estats Units, 2008.

National Fire Protection Agency (NFPA) 1033. *Professional qualifications for fire investigator.* Estats Units, 2009.

ANNEX DE TERMINOLOGIA³⁰

Accelerant de la combustió. Agent, generalment líquid inflamable, que s'utilitza per a iniciar o accelerar la propagació d'un incendi. Pot trobar-se en fase gasosa, líquida o sòlida.

BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion*). Explosió de vapors procedents de líquids en ebullició.

Calcinar. sotmetre a calor substàncies inorgàniques de qualsevol classe per provocar canvis a l'estructura molecular amb defecte d'oxigen.

Calor. Forma d'energia que es caracteritza per la vibració de les molècules, capaç de provocar canvis químics i d'estat.

Carbonitzar. Reduir a carbó, més o menys pur, un cos orgànic per l'acció d'una combustió incompleta.

Càrrega calorífica. Energia calorífica de la totalitat dels materials combustibles continguts en un recinte incloent els revestiments de murs, terres, sostres i envans.

Càrrega de foc. Energia calorífica aportada per tots els materials combustibles continguts en un espai definit (pot expressar-se per unitat de superfície o per unitat de volum).

Cendra. Residu inorgànic polvorent resultant d'una combustió completa.

Creumar. Estar en estat de combustió.

Comburent. Component que reacciona amb el combustible en tota mescla de gasos capaç de produir una combustió (el comburent més comú és l'oxigen de l'aire). Activa la combustió.

Combustible. Qualsevol substància que pugui experimentar una combustió, capaç de cremar en presència d'un comburent (generalment aire), en condicions normals de temperatura i pressió ambientals.

Combustió. Reacció exotèrmica d'una substància, denominada combustible, amb un

³⁰ Terminologia extreta de la NFPA 921: *Guía de investigación de incendios y explosiones* (2008); de la UNE-EN ISO 13943: *Seguridad contra incendios. Vocabulario* (2001), i de *Seguridad contra incendios. Causas e investigación de incendios y explosiones: Guía básica de investigación de incendios* (Boixadé, Gavarró, 2006).

oxidant denominat comburent. El fenomen va acompanyat generalment per una emissió d'energia lumínica en forma de flames o incandescència amb despreniment de productes volàtils i/o fum, i que pot deixar residus de cendres.

Combustió espontània. Combustió que comença sense aportació de calor externa. Autoinflamació.

Conducció. Transmissió de calor per l'interior d'un cos, i de molècula a molècula sense desplaçament visible d'aquestes. La transmissió es realitza de les molècules de més energia interna fins a les de menys energia.

Convecció. Propagació de la calor mitjançant masses mòbils de matèria, tals com corrents de gasos i líquids produïdes per les diferències de densitat.

Deflagració. Reacció de combustió en la qual la velocitat del front de reacció a través del mitjà combustible que no ha reaccionat és menor que la del so i major que 1 m/s.

Detonació. Explosió que es propaga a velocitat supersònica i que du associada una ona de xoc.

Encendre. Iniciar una combustió.

Exotèrmic. Procés que va acompanyat de despreniment de calor.

Explosió. Conversió instantània de l'energia potencial, química o mecànica, en energia cinètica, amb la conseqüent producció i alliberament d'un gas que estava a pressió. Aquests gasos a pressió realitzen un treball, com per exemple moure, canviar o empènyer els materials que hi ha al voltant.

Flama. Zona de combustió en fase gasosa amb emissió de llum.

Flashover (combustió sobtada). Canvi sobtat a un estat de combustió generalitzada en la superfície del conjunt dels materials combustibles del recinte.

Foc. Combustió caracteritzada per una emissió de calor acompanyada de fums o flames o d'ambdues coses.

Foc latent. Combustió lenta d'un material sense poder apreciar-se llum i, generalment, revelat per un augment de temperatura o per fums.

Focus de l'incendi. Lloc on comencen les flames.

Focus primari. Origen de l'incendi, pot haver-n'hi més d'un.

Focus secundari. Focus d'incendi conseqüència del desenvolupament de l'incendi des d'un altre focus primari. No es tracta d'un focus d'origen de l'incendi.

Fum. Productes en suspensió en l'aire, derivats de la combustió incompleta de gasos, vapors, sòlids o aerosols líquids.

Ignició. Procés d'inici d'una combustió automantinguda.

Ignífug. Substància que té la qualitat de suprimir, disminuir o retardar la combustió de certs materials.

Incandescent. Metall enrogit o blanquejat per l'acció de la calor.

Incendi. Foc que es desenvolupa sense control ni en l'espai ni en el temps.

Líquid combustible però no inflamable. Líquid amb el punt d'inflamació igual o superior a 38 °C, segons estableix el RD 1427/1997, de 15 de setembre, pel qual s'aprova la Instrucció Tècnica Complementària MI-IP 03 Instal·lacions Petrolíferes per a ús propi (BOE nº 245 de 23/10/1997).

Líquid inflamable. Líquid amb el punt d'inflamació inferior a 38 °C segons estableix el RD 1427/1997, de 15 de setembre, pel qual s'aprova la Instrucció Tècnica Complementària MI-IP 03 Instal·lacions Petrolíferes per a ús propi (BOE nº 245 de 23/10/1997).

Piròlisi. Descomposició química irreversible d'un material deguda exclusivament a la calor, generalment en absència d'oxigen.

Propagació. Desplaçament del foc, flama o fum.

Sòlid combustible. Sòlid que contribueix a l'incendi i manté la inflamació, d'acord amb els criteris d'assaig establerts en el RD 312/2005, de 18 de març, pel qual s'aprova la classificació dels productes de la construcció i dels elements constructius en funció de les seves propietats de reacció i de resistència al foc,³¹ i el RD 110/2008, d'1 de febrer, el qual el modifica. La contribució a l'incendi pot ser en diferents graus: molt limitada, limitada, mitjana o alta.

Sòlid no combustible. Producte que no contribueix a l'incendi ni permet la inflamació, d'acord amb els criteris d'assaig establerts en el RD 312/2005, de 18 de març, pel qual s'aprova la classificació dels productes de la construcció i dels elements constructius en funció de les seves propietats de reacció i de resistència al foc, i el RD 110/2008, d'1 de febrer, el qual el modifica.

Rang d'inflamabilitat/explosivitat. Límit inferior i superior, en tants per cent, del volum de gas que ha d'haver-hi en l'aire perquè es produeixi una explosió si se li aplica una font de calor suficient.

Reacció en cadena. Autoalimentació, capacitat que té un incendi per a mantenir-se i seguir progressant fins que l'absència de combustible o comburent l'extingeix.

Reacció tèrmica. Reacció electromagnètica amb unes longituds d'ona entre 0,1 i 100 micres en la qual, d'alguna manera, es transforma l'energia interna de les substàncies, es desenvolupa òptimament en el buit i resulta impossible a través de segons quins cossos a causa de les freqüències de radiació. La calor es transmet sense necessitat d'un mitjà natural.

Sutge. Residu en forma de pols ric en carboni que resulta d'una combustió incompleta de material orgànic.

Temperatura d'autoinflamació/autoignició. Temperatura mínima a la qual una substància sòlida, líquida o gasosa, en contacte amb l'aire, s'inflama espontàniament sense necessitat d'aportar energia extra. Dit d'una altra manera, és la mínima temperatura a la qual s'ha d'escalfar un combustible perquè es produeixi una combustió espontània, sense necessitat d'energia d'activació externa o focus d'ignició.

Temperatura d'inflamació. Temperatura a partir de la qual una substància, en pre-

³¹ Conegut com a Reial decret de les Euroclasses.

sència d'aire, desprèn gasos en quantitats suficients per a generar una mescla inflamable. En apropar una font de calor de flama els gasos s'encenen i en retirar-la no s'apaguen.

Temperatura d'ignició.³² Té el mateix significat que la temperatura d'inflamació però en aquest cas els gasos s'apaguen en retirar la font de calor.

Torrar. Modificar un material aïllant de l'electricitat per una carbonització limitada produïda per la calor. El torrat disminueix la vida útil dels aïllants a mesura que es fa més intens.

³². No s'ha de confondre amb el terme anglosaxó *ignition temperature* que es refereix a la temperatura d'autoignició.

Aquest llibre és el resultat del treball, durant el període d'un any, del Grup de recerca sobre investigació d'incendis i explosions (GRIE), creat amb l'objectiu de posar en comú els coneixements i l'experiència dels diversos sectors professionals que intervenen en la investigació d'aquest tipus de sinistres: bombers, mossos d'esquadra, companyies d'assegurances, empreses privades, així com del món judicial i universitari.

Els continguts, tractats des d'una perspectiva multidisciplinària, s'han estructurat en cinc capítols centrals: nocions bàsiques d'incendis i explosions; l'actuació dels diversos àmbits professionals en la investigació; metodologia de la investigació; anàlisi de casos, i simulació i experiments elèctrics de laboratori. S'hi recullen també les conclusions dels membres del GRIE. El llibre, entès com una eina didàctica i de consulta, s'ha complementat amb tres apartats més: bibliografia; disposicions legals i normes tècniques, i annex de terminologia.

Aquest és el primer número de la col·lecció «Segments de Seguretat», que neix amb la finalitat de divulgar coneixement en matèria de seguretat i els resultats de les activitats de recerca que impulsa l'Institut de Seguretat Pública de Catalunya.

**Institut de
Seguretat Pública
de Catalunya**



Ctra. C17 Barcelona - Ripoll, km 13,5
08100 Mollet del Vallès (Vallès Oriental)
Tel. 93 567 50 00
Fax 93 567 50 30
ispc@gencat.cat

 **Generalitat
de Catalunya**

