



Escola Politècnica Superior
d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Ciències i Tecnologies de l'Edificació

Treball de fi de grau

**Anàlisi de la influència dels materials de façana en la propagació
exterior d'incendis**

*Analysis of materials influence of facade in the external propagation of
fires*

Projectista/es: Manel Caballero Nadal

Director/s: Ana Maria Lacasta Palacio

Convocatòria: Febrer 2016

RESUM

En aquest treball final de grau s'ha volgut profunditzar en els coneixements del foc, la seva propagació en façanes i la normativa en qüestió, posteriorment posar-ho en practica fent assajos al laboratori del foc de la EPSEB.

Consta de cinc parts, les quatre primeres son teòriques i la ultima és la part pràctica relacionada amb les anteriors. La primera part tracta sobre el foc, com s'origina, com es pot extingir i com es pot convertir en un incendi. També es parla de quins són els factors que propicien la propagació d'un incendi en edificació.

La següent part profunditza en com són les vies de propagació del foc en façana i quins són els aspectes que afectaran en les variacions de cada una.

La part central analitza la normativa d'Espanya (CTE) en seguretat contra incendis, especialment la protecció en façanes. També es tracta la normativa d'EEUU, Regne Unit, Nova Zelanda, França, Finlàndia, Suècia, i acaba fent una comparació amb l'espanyola.

La penúltima part explica els materials retardants, sobre quines son les formes d'actuació dels retardants, quins tipus hi ha i els mètodes d'aplicació.

Per acabar, l'última part és la que tracta sobre els assajos que s'han fet al laboratori del foc de la nostra universitat. Primer s'han analitzats els materials més comuns en façana que propicien la propagació com és els tendals, els aïllants tèrmics i les persianes. Després s'han fet provetes amb fusta, se'ls hi ha aplicat diferents tractaments amb pintures, i s'ha vist si tenien o no efecte retardant i com era aquest, com és el vernís, la pintura intumescent i la pintura anticalòrica.

Abstract

In this final work of degree has wanted to deepen in the knowledges of the fire, his propagation in facades and the rule in question, later put it practises doing essays to the laboratory of the fire of the EPSEB.

It consists of five parts, the four first theoretical dream and the last is the practical part related with the previous. The first part treats on the fire, as it originates, as it can extinguish and how can turn into a fire. Also it speaks of which are the factors that contribute to the propagation of a fire in edification.

The following part deepens in how the roads of propagation of the fire in facade are and what are the appearances that will affect in the variations of each one.

The central part analyses the rule of Spain (CTE) in security against fires, especially the protection in façades. Also it treats the rule of U.S., United Kingdom, New Zealand, France, Finland, Sweden, and finishes doing a comparison with the Spaniard.

The penultimate part explains the retardants materials, on what dream the forms of performance of the retardants, which types there is and the methods of application.

To finish, the last part is the one who treats on the essays that have done to the laboratory of the fire of our university. First they have analysed the most common materials in façade that contribute to the propagation how is the awnings, the thermal insulators and the blinds. Afterwards they have done test with wood, has applied them to him different treatments with paintings, and has seen if had or no retardant effect and as it was this, as it is the varnish, the painting intumescent and the painting anticaloric.

ÍNDEX

1	Introducció.....	5
2	El foc i la propagació en edificació	7
2.1	El foc.....	7
2.1.1	Breu història del foc	7
2.1.2	La combustió	8
2.1.3	El tetraedre del foc.....	10
2.1.4	Mètodes d'extinció	12
2.1.5	Procés d'ignifugar	13
2.1.6	Productes intumescentcs	13
2.2	Dinàmica del foc	13
2.2.1	Carrega de foc.....	13
2.2.2	Velocitat de cessió del calor HRR.....	13
2.2.3	Fases de l'incendi	14
2.2.4	El <i>flashover</i>	16
2.3	Factors en la propagació de l'incendi	17
2.4	Direcció de l'incendi.....	21
3	Tipologia, disseny i desenvolupament de la propagació del incendi en façana.	25
3.1	Les vies de propagació.....	26
3.1.1	Propagació a través de les finestres, efecte <i>leap frog</i> (salt de granota).	26
3.1.2	Propagació a través de les cavitats del trobament entre el forjat i la façana.	27
3.1.3	Propagació a través de la cambra ventilada.....	27
3.1.4	Propagació a través dels revestiments combustibles	29
3.2	Aspectes influents en la propagació del foc en façanes.....	29
3.2.1	Configuració geomètrica de les façanes.	29
3.2.2	El plomall del foc	33

3.2.3	L'efecte xemeneia.....	34
4	Comparació de la normativa d'Espanya (CTE) amb les europees i americanes.....	37
4.1	Normativa d'Espanya, el CTE.....	37
4.2	Normatives d'altres països.....	42
5	Materials retardants de flama.....	55
5.1	Formes d'actuació dels retardants.....	55
5.2	Tipus de retardants:.....	55
5.3	Mètodes d'aplicació.....	58
6	Proves de materials en laboratori.....	59
6.1	Assajos.....	59
6.2	Materials utilitzats.....	62
6.3	Resultats.....	64
	Conclusions / recomanacions.....	73
	Bibliografia.....	75
	Agraïments.....	79
	Annex.....	81

1 Introducció

Els incendis sempre es resumeixen en les persones que s'ha cobrat i en la pèrdua econòmica que ha sigut. En molts casos, els incendis s'estenen arreu de l'edifici per la façana, convertint-se en la zona més dèbil envers el foc. La construcció ha evolucionat i, sense saber-ho, s'han fet edificis amb certes façanes que ajuden a la propagació del foc, com per exemple els murs cortina, les façanes ventilades, que fan de xemeneia i transporten l'incendi a les plantes superiors. Amb el temps s'han corregit errors que han fet endarrerir la propagació del foc, però per desgracia sempre han sigut després d'un gran incendi, el mateix passa amb les normatives contra incendis, es modifiquen a conseqüència dels incendis que han provocats grans pèrdues humanes i econòmiques. Encara queda un llarg camí per estudiar la manera d'evitar l'inici d'un foc, ja que, el factor humà es imprevisible, no obstant això la manera de construir ha de seguir avançant fins evitar la propagació de l'incendi i es reduir els danys.

En aquest treball s'ha volgut analitzar les vies de propagació del foc en façana i els efectes dels retardants en el laboratori, per millorar els coneixements sobre el foc edificació, així, en un futur, poder construir millor valorant reduir a zero la propagació del foc o minimitzar els danys de l'incendi sense que es propagui.

2 El foc i la propagació en edificació

2.1 El foc

El foc sempre s'ha considerat un fet volgut i controlat, una reacció irreversible de combustió que desprèn calor i llum, i l'incendi es un foc no desitjat o descontrolat, independentment de la magnitud d'aquest. Encara que, dit així, hom ho considera una sola idea, convé aclarir-ho ja que, es tracta de dos conceptes diferents. El foc és un "procés", es a dir, una seqüència temporalment ordenada de fets, de tal forma que cada fase de la seqüència pren part en la determinació de la fase següent. Per tant podem dir que en la reacció del foc hi ha un control o ordre en les fases. L'incendi és un "fenomen", és un fet perceptible o una cadena d'ocurrències, dit d'altre manera, un conjunt d'accidents, sense un orde pautat.

2.1.1 Breu historia del foc

L'esser humà ha conegut el foc des del principi de la seva historia i ha estat present en totes les edats de la humanitat. Es presentava com un fenomen de la naturalesa i de forma esporàdica, la primera preocupació dels primitius va ser la de mantenir el foc viu afegint materials semblants als que cremaven, la segona era extingir el foc que se'ls escapava, van adonar-se que ens els dies de pluja el foc s'apagava i els va portar a utilitzar l'aigua com a medi de lluita contra el foc, des d'aleshores, l'aigua és l'agent extintor del foc més conegut i utilitzat. No se sap quan l'esser humà aprengué a reproduir i originar el foc, fregant dos materials secs i rugosos entre si, a prop de les fulles seques dels arbres i herbes.

Els egipcis dominaven a la perfecció la tècnica per fer foc, l'utilitzaven en la creació i treball amb els metalls, i també en bàlsams i perfums. Es creu que hi havia laboratoris en els temples egipcis en els quals els sacerdots utilitzaven el foc per endinsar-se en el coneixement de la màgia negra, seria l'embrió del que més endavant ho coneixeríem com a l'alquímia.

En totes les religions primitives utilitzaven el foc en els sacrificis. El foc és un dels símbols més controvertits utilitzats en totes les religions, símbol de puresa i il·luminació, també com a suplici insuportable, el foc de l'infern.

Els grecs clàssics creien en que tota matèria cremava per que en el seu interior es trobava el foc, un dels quatre elements presents en la naturalesa, el foc, l'aigua, l'aire i la terra.

En les guerres el foc ha sigut utilitzat en diferents formes. Un cas és els grecs contra els egipcis en el port de Alexandria, els grecs van utilitzar una brea inflamable i menys densa que l'aigua del mar i la van abocar al port, va quedar flotant sobre les aigües i rodejant les

embarcacions. Després van tirar fletxes enceses al mar i van deixar atrapats als egipcis en les embarcacions encerclades pel foc, sense escapatòria. Aquest fet és conegut com el foc grec.

A causa de l'efecte destructor del foc des de l'antiguitat s'han creat organitzacions d'homes per combatre els incendis no desitjats, els bombers. Es té constància que en el segle III aC es va construir la primera bomba aspirant per lluitar contra el foc. En la ciutat de Pompeia es va descobrir l'existència de conductes d'aigua que eren utilitzats per extingir incendis.

El foc follet era un dels fenòmens naturals que més sobresaltava als primitius. És un foc amb una llum tènue, blavosa i de gran bellesa que sortia de les aigües estancades, com pantans i aiguamolls, també en cementiris ens les nits tranquil·les i sense vent, això va provocar moltes llegendes. Quan la matèria orgànica es descompon en aigües estancades produeix metà que al ascendir i sortir a la superfície de l'aigua, en determinades ocasions, s'inflama.

Els alquimistes van mostrar un gran interès en conèixer i dominar el foc, per ells el foc era, sobretot, la tècnica de transformació més purificadora. Pels alquimistes, la combustió no era més que un procés habitual pel qual tota substància al inflamar-se es descomponia en els elements que la formaven, idea que reprenia el concepte dels grecs clàssics dels quatre elements.

Els incendis són més habituals a causa de la industrialització de les ciutats. Al 1655 es construï la primera bomba de mà per lluitar contra els incendis i també la primera manega feta a partir de fibres vegetals entrecruades.

A mitjans del segle XVII es començà a construir les primeres màquines per la lluita contra el foc, eren bombes manuals impel·lents d'aigua amb una cisterna. A finals del segle XVIII comencen a utilitzar-se bombes de mà de doble injecció, i a finals del segle XIX, les primeres bombes a vapor.

Durant les dos guerres mundials es començà a descobrir productes per l'extinció del foc, pols química, CO₂, halògens, etc., resultat de les observacions que havien realitzat en la guerra química.

2.1.2 La combustió

En l'actualitat, el procés de combustió es defineix com una reacció irreversible d'oxidoreducció entre un combustible i un oxidant, en la que sempre es desprèn calor, reacció exotèrmica, i en alguns casos llum.

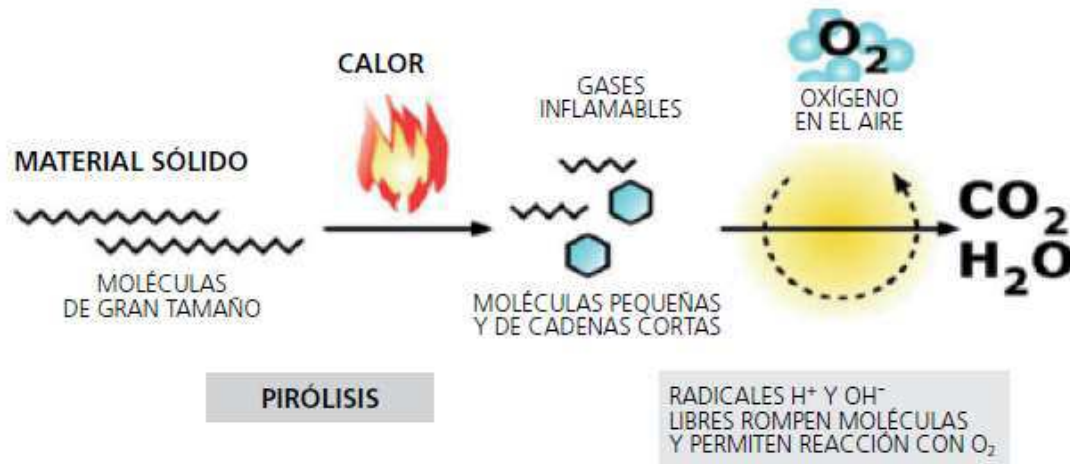


Fig. 2.1. Procés de combustió dels materials sòlids

Font: Orelvis González (2009)

Es denomina poder calorífic d'un combustible a la quantitat d'energia despresa en la reacció de combustió. En molts processos de combustió pot formar-se aigua, independentment del grau d'humitat dels combustibles, per tant, depenent del estat en que apareix l'aigua en els fums distingim dos tipus de poder calorífic:

- **Poder calorífic inferior:** l'aigua apareix en forma de vapor en els productes de la combustió. Part del calor generat en la combustió es consumeix en evaporar-se l'aigua
- **Poder calorífic superior:** l'aigua apareix en forma líquida en els productes de la combustió.

Segons com es produeixin les reaccions de combustió es classifiquen en:

- **Combustions completes:** quan el combustible reacciona fins a la màxima oxidació. En els productes resultants de la combustió no existeixen restes de combustible, en els fums formats.
- **Combustions incomplertes:** quan no tot el combustible s'oxida, quedant part del producte combustible en els gasos o fums formats, els productes combustibles residuals de la combustió incompleta se'ls denomina incremats.

En funció de la velocitat en que transcorren les combustions es classifiquen en:

- **Combustions lentes:** es produeixen sense emissió de llum i amb poca emissió de calor. Es dona en llocs on escasseja l'aire, combustibles molt compactes o quan la generació dels fums empobreix l'aire. Poden ser molt perilloses, ja que, si hi ha alguna corrent d'aire, pot accelerar-se el procés.

- **Combustions ràpides:** es produeixen amb una forta emissió de llum i calor. Si són molt instantànies poden donar lloc a explosions. El resultat de tota combustió ràpida és fum, flames i gasos.

El fum apareix per una combustió incompleta, en la que les petites partícules que no han cremat es fan visibles. El fum pot ser també inflamable, quan la combustió incompleta es deu principalment a la falta de comburent, en el fum es pot trobar partícules inflamables que davant d'una font de calor i aire pot combustionar. El fum pot adquirir diferents colors durant la combustió, indicatiu de les condicions en que s'està produint la combustió i de quins materials estan cremant. Un color negre o gris fosc evidencia una falta d'oxigen, o sigui, una desproporció entre el combustible i el comburent. Un fum blanc o gris clar evidencia una combustió lliure.

La flama és el gas incandescent produït durant una combustió ràpida. El grau de lluminositat o intensitat de la flama depèn de la naturalesa del combustible i de l'aportació del comburent. Igual que el fum, la flama pot tenir diferents colors en funció del producte que està combustionant.

Els gasos són part del producte resultant de la combustió. En funció del tipus de combustible i de les condicions en que es realitza la combustió, es desprendran uns gasos o uns altres.

Tota reacció de combustió és irreversible i exotèrmica, és a dir, si s'arriba fins a l'energia d'activació, la reacció transcorre espontàniament i desprenent calor.

2.1.3 El tetraedre del foc

El foc no és més que una manifestació en llum i calor d'un procés irreversible d'oxidoreducció, la combustió. El foc és conseqüència d'una combustió, no obstant això, no totes les combustions desprenen foc. La combustió que desprèn foc és més completa a menys quantitat de flama produeixi, i més incompleta a més flama generi.

Per produir-se una combustió es necessari tres factors: un combustible (la substància que crema), un comburent (substància en la que crema el combustible) i una font de calor susceptible d'aconseguir la temperatura d'ignició del combustible. Això es coneix com a triangle del foc, si es pot controlar un dels tres elements no estariem parlant d'incendi, equivaldria a una situació de foc però no d'incendi.

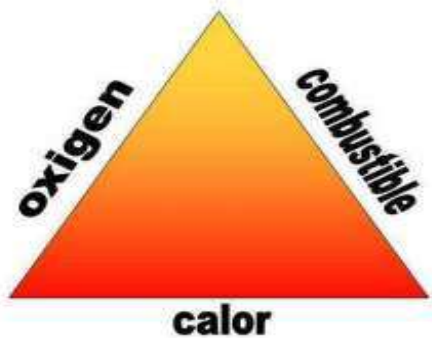


Fig. 2.2. Triangle del foc

Font: www.bombersvoluntaris.com

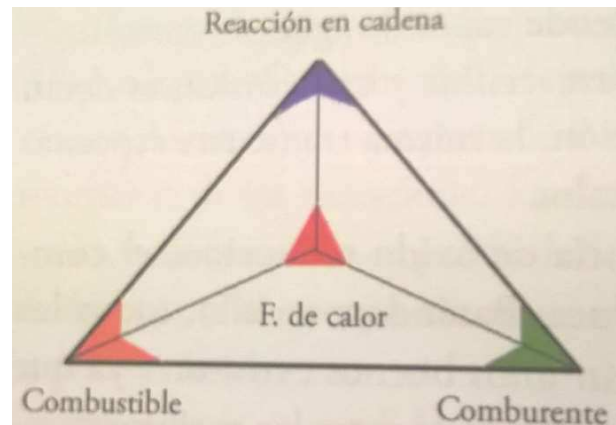


Fig. 2.3. El tetraedre del foc

Font: Pons i Grau, V. (2003)

Durant molts anys es va creure que només era necessari el triangle del foc però hi havia fenòmens que no es podien explicar a partir d'aquesta teoria. Es llavors quan sorgeix un nou element, la reacció en cadena. Per tant, el triangle del foc serveix per representar un tipus de combustions incandescentes, sense flama, i el tetraedre representa les combustions amb flama que pot arribar a produir l'incendi.

Aquestes figures també defineixen els mètodes d'extinció, quan s'anul·li un element el foc s'apagarà. Des del punt de vista de la teoria d'oxidoreducció, el combustible s'oxida i el oxidant es redueix. Basant-nos en això, tots els compostos altament reductors seran uns bons extintors, ja que, impediran que el combustible s'oxidi. Els millors compostos químics extintors són el tetràclorur de carboni (Cl_4C) i el cloroform (Cl_3HC), són dos compostos altament reductors però no s'utilitzen com a extintors per la seva toxicitat i economia. Uns altres components reductors són les sals de bromur, que en el seu dia van ser els primers productes utilitzats en els extintors portàtils.

Normalment el comburent és l'oxigen de l'aire, amb un 16% és suficient per la combustió, no obstant això, existeixen altres agents oxidants menys usuals com el àcid nítrós (HNO_3), el nítrat sòdic (NaNO_3), el clorat de potassi (KClO_3), perclorat d'amoni (NH_4ClO), poden alliberar oxigen en les condicions favorables, per això fan d'oxidants.

- La teoria del *flogisto*, els inicis, fins el descobriment del oxigen.

Fa més de 300 anys es creia que els cossos cremaven perquè expulsaven el foc del seu interior i al sortir al exterior s'originava la combustió. Li deien la teoria del *flogisto* (del grec, "infamable"). Com més *flogisto* tingués un cos, millor combustible era.

Consideraven que els metalls estaven formats per *flogisto* i calç, per tant quan cremava perdia el *flogisto*, només quedava calç i no podia seguir cremant, aquest fet va produir que per referir-se a una substància o matèria cremada s'usi també l'expressió, encara en vigor, que està calcinada. Al segle XVIII, Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794) va demostrar la inexistència del *flogisto* i el va porta a fer un dels descobriments de la ciència química: la llei de conservació de la massa. Va formular la seva teoria de la combustió en 1783: quan un cos crema o s'inflama, es combina amb l'aire per formar un òxid.

2.1.4 Mètodes d'extinció

Qualsevol procés que elimini una dels quatre factors aturarà el foc. Existeixen principalment quatre tècniques d'extinció, una per a cada circumstància desencadenant de l'incendi:

- Sufocació: quan s'impedeix que el comburent estigui en contacte amb el combustible. Es poden utilitzar mantes, aigua amb dissolvents més pesats, escumes, etc. Existeixen productes químics que s'utilitzen com a sufocants, com els bicarbonats de sals alcalines i fosfats amònics.
- Refrigeració o refredament: disminuir o eliminar la font de calor. El més comú es l'aigua, per la seva fàcil accessibilitat, i per la quantitat de calor que es capaç d'absorbir.
- Inhibició o ruptura de la reacció en cadena: consisteix en impedir la transmissió de calor de unes partícules a les altres del combustible, interposant catalitzadors entre elles. La reacció de la combustió es desenvolupa nivell molecular a través d'un mecanisme químic de radicals lliures. Si aquest són neutralitzats, la combustió s'atura, i s'extingeix el foc. Algunes pólvores químiques tenen la propietat d'alliberar, sota els efectes tèrmics, radicals lliures que al combinar-se amb els generats per la combustió aturen la reacció en cadena. Els halons, actualment prohibits degut a que contribueixen a augmentar el forat de la capa d'ozó, són els principals productes inhibidors de la reacció en cadena de la combustió.

- Dilució o desalimentació: és la retirada o eliminació del l'element combustible. Si s'elimina o es retira el combustible de les proximitats de la zona de l'incendi, el foc s'extingirà. Tallar el flux de fluids o gasos combustibles que descarreguen en la zona del foc, és una alternativa per sufocar l'incendi.

2.1.5 Procés d'ignifugar

Ignifugar és el procés pel qual un material és tractat per millorar el seu comportament davant del foc, disminuint la seva inflamabilitat i la velocitat de propagació de les flames, disminueix la seva reacció al foc. S'aconsegueix retardar la iniciació d'un incendi en un determinat material.

2.1.6 Productes intumescent

Els productes intumescent són utilitzats cada dia més en les proteccions contra incendis. Són substàncies que s'inflen per l'efecte de la calor, s'utilitzen per protegir en determinats casos a elements constructius, el segellat de les juntes, passa murs i conductes que travessen els sectors de l'incendi. Aquest fenomen consisteix en que davant d'una determinada font de calor, s'infla formant una capa de materials carbonitzats, protegint a l'element constructiu al que revesteix.

2.2 Dinàmica del foc

2.2.1 Carrega de foc

El concepte de carrega de foc o carrega de combustible en un edifici fa referència a l'energia latent disponible en cas d'incendi. Es defineix com la suma de les energies calorífiques que es alliberen en la combustió de tots els materials combustibles existents en un espai.

2.2.2 Velocitat de cessió del calor HRR

La velocitat de cessió del calor HRR (del angles *Heat Release Rate*) fa referència a com s'allibera la carrega de foc. La corba del HRR representa la taxa d'energia tèrmica alliberada en el procés de la combustió en funció del temps. Aquest paràmetre és segurament el més important per descriure les característiques de la combustió dels materials sòlids. La majoria de variables de l'incendi estan relacionades amb aquest factor: la producció de fum, les temperatures, la velocitat de combustió, els gasos tòxics, el nivell d'oxigen present, la pèrdua

de massa, etc.. Al mateix temps el HRR depèn de factor com la quantitat de combustible, l'oxigen disponible, les mesures i les propietats tèrmiques dels límits del recinte.

2.2.3 Fases de l'incendi

La propagació d'un incendi ocorre en cinc fases diferenciades: ignició, desenvolupament, combustió sobtada generalitzada (*flashover*), ple desenvolupament i declivi.

- 1) Fase d'ignició: període en el que s'inicia el foc. Perquè això esdevingui és necessari que els reactius, comburent i combustible, es trobin en unes condicions favorables en les que produir-se la reacció. L'energia necessària per l'inici de la reacció es denomina energia d'activació i la proporcionen les fonts d'ignició. La facilitat o dificultat en la que un material assoleix el seu punt d'ignició determina una de les propietats més importants a considerar per definir el seu grau de perillositat. Durant aquesta fase hi ha un excés d'oxigen en relació al procés de combustió que s'ha iniciat, aleshores es considera que l'incendi depèn del combustible i s'anomena incendi controlat pel combustible. La ignició es considerada una etapa incipient en la qual l'incendi podria ser controlat amb facilitat.
- 2) Fase de desenvolupament: bàsicament és el desenvolupament de la ignició en el que el creixement inicial del foc primari és una funció del propi combustible. El foc es descriu en aquesta fase en funció de l'energia desenvolupada en la combustió. En aquest moment existeix suficient quantitat d'oxigen i de combustible com per poder mantenir la combustió i com a conseqüència el desenvolupament de l'incendi. Aquest focs, en els que existeix suficient quantitat d'oxigen com per poder mantenir la combustió, s'anomenen de combustible controlat.
- 3) Ple desenvolupament: durant aquesta fase, el foc es troba en tota la seva esplendor. Habitualment, és en aquest moments quan es produeix una polimerització del combustible mentre crema, de tal manera que desapareix l'oxigen del recinte si no existeix una aportació addicional extern. Prèviament al ple desenvolupament de l'incendi poden ocorre fenòmens de combustió generalitzada, com el flashover, es veurà més endavant, fent que el màxim desenvolupament s'aconsegueixi ràpidament.
- 4) Declivi: s'arriba en base a quan va desapareixent la quantitat de combustible disponible.

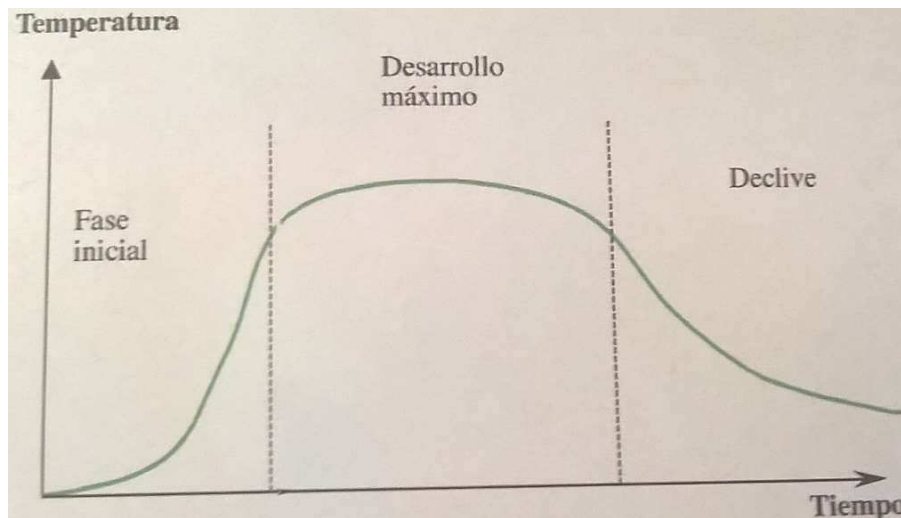


Fig. 2.4. gràfic de les fases d'un incendi

Font: Pons i Grau, V. (2003)

En la fase inicial, l'elevació de la temperatura és gradual en funció del temps. El calor en l'escenari es propaga fonamentalment per radiació, excepte en el lloc on s'ha generat l'incendi, i es a on hi ha una petita transmissió del calor per convecció.

Passat un temps, l'incendi aconsegueix el màxim desenvolupament, s'aconsegueix que les temperatures més altes i el calor es transmeti tan per convecció com per radiació.

A partir d'aquest moment l'incendi entra en una fase de decaiguda, i disminueix la temperatura de l'escenari. Aquesta decaiguda es pot deure o a que s'ha consumit tota la matèria combustible, o a quela presència del comburent s'ha reduït dràsticament o a les dos a la vegada.

Quan la decaiguda de l'incendi és un conseqüència de la disminució del combustible, l'incendi tendeix a extingir-se generalment com una propagació convencional, però si la decaiguda és a conseqüència de la reducció de la presència del comburent en el escenari, l'incendi entra en fase d'asfíxia, que de vegades aconsegueix auto extingir-se.

Però pot ser que durant aquesta fase d'asfíxia es presentin inputs en el escenari que modifiquen dràsticament aquesta propagació, donant lloc a fenòmens com l'explosió de fum, *backdraft*. Això modifica radicalment la propagació de l'incendi, que entra en una dinàmica molt més severa que la que hagués seguit de no haver-se produït una disminució del comburent.

També pot passar que durant l'escenari del desenvolupament de l'incendi coincideixin factors que desencadenen fenòmens que alteren la propagació de l'incendi. Aquest efectes

multiplicadors, *trailers*, poden ser de gran magnitud, de tal forma que per ells mateixos constitueixin la fase principal de l'incendi i determinen la pròpia dinàmica.

Els efectes multiplicadors estan presents en molts escenaris dels incendis: els dipòsits de combustibles de vehicles en els garatges, un incendi convencional, on davant determinades circumstàncies es desencadena en poc temps una explosió de pols, etc. Moltes vegades és propi fenomen és l'incendi en si que transcorre a molt altes velocitats, com ocorre en les explosions o en les deflagracions.

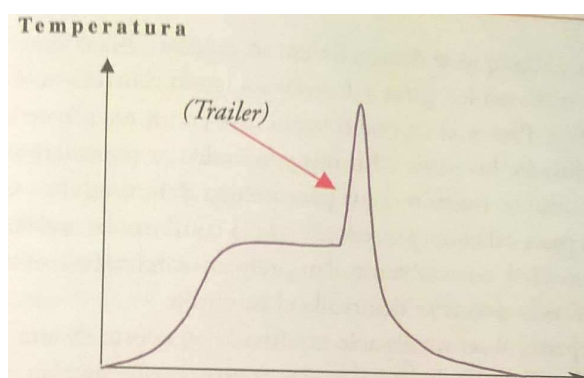


Fig. 2.5. gràfic d'un incendi amb efecte multiplicador

Font: Pons i Grau, V. (2003)

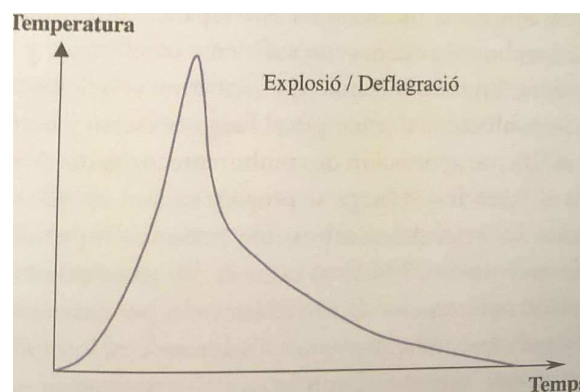


Fig. 2.6. gràfic d'una explosió o deflagració

Font: Pons i Grau, V. (2003)

2.2.4 El *flashover*

Es defineix com el moment en el que el foc que està centrat en els voltants de l'origen de l'incendi, es generalitza sobtadament a totes els elements combustibles presents en el recinte. Ocorre entre dos períodes del procés de l'incendi: el *pre flashover* i el *post flash over*. Normalment es determinen com a senyals característiques d'un *flashover* que la temperatura del recinte està a 600°C, que el flux de calor per radiació en el terra del recinte està al voltant dels 20kW/m² o que el foc surti per les finestres.

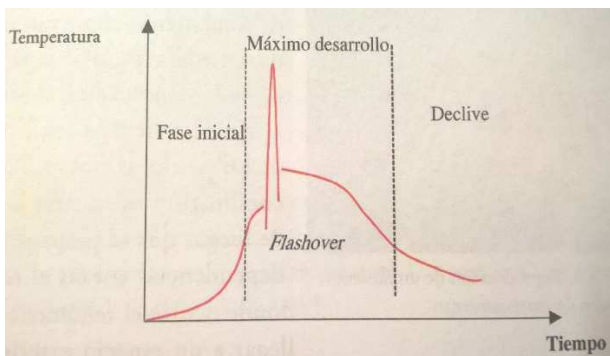
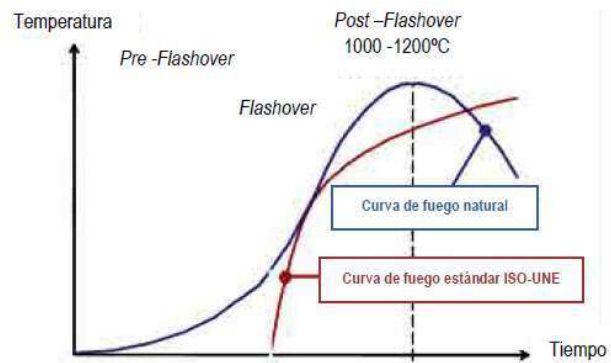


Fig. 2.7. Esquema de la fase del *flashover* en el desenvolupament de l'incendi

Font: Pons i Grau, V. (2003)



Tiempo (t) minutos	15	30	45	60	90	120	180
Temperatura en °C	740	840	900	950	1000	1050	1100

Fig. 2.8. Corbes de foc nominal ISO 834 i etapes d'un foc natural. Taula amb el desenvolupament d'un incendi segons la corba normalitzada temps-temperatura

Font: UNE EN 1363

2.3 Factors en la propagació de l'incendi

L'incendi es un procés en el que intervé diferents fenòmens fisicoquímics de gran complexitat. Durant molt temps es va creure que estava determinat principalment per la quantitat de combustible present en l'incendi, com si fos un únic factor. Mes endavant, en noves investigacions, van verificar que hi ha diferents factors que influeixen en el procés de l'incendi, sense que hi hagi cap amb mes pes que l'altre. Aquest son alguns dels aspectes que afecten de forma mes significativament en el desenvolupament del incendi:

- Condicions climatològiques.

El sentit i la direcció del vent desplaçarà la trajectòria vertical inicial del foc en un sentit o un altre, i la pressió atmosfèric del dia afavorirà o no a la ascensió vertical de la flama, son factors importants en el procés. La força del vent contribueix a una rapida propagació, fins i tot a la formació de nous incendis secundaris, també desplaçarà a altres llocs petites partícules incandescentes.

- El combustible contingut en el recinte.

Quantitat, posició, distribució, orientació i àrea superficial exposada al foc, dit també com a àrea lliure del material.

El material combustible en el recinte es un dels factors més importants, sense ser un indicador absolut. La distribució i la ubicació del material pots ser determinant de la velocitat de

propagació, si es trobessin repartits uniformement i a una certa distància es podria reduir la velocitat de propagació del foc.

Hi ha característiques físiques del material com la forma i la configuració que poden influir bastant, per exemple, si es tracta d'un objecte alt és més fàcil que el foc arribi al sostres i produint una transferència de calor més ràpida, passa el mateix si l'objecte està cremant a prop de la paret.

La geometria i la configuració del material combustible es un altre condicionant, dos edificis idèntics cremarien a velocitats molts diferents si un emmagatzema fusta i l'altre xapes metàl·liques. Un experiment que es pot fer és cremar un llibre, cremarà més fàcilment si està obert que el mateix llibre amb tancat. Això explica el concepte de superfície lliure o superfície del material exposada a l'aire, es a dir, la quantitat neta de material està en contacte amb el comburent.

- El factor de ventilació.

És molt important ja que és el medi que prové l'oxigen necessari pel desenvolupament del foc. Depenent de la fase en que es trobi l'incendi sabem que la intensitat d'un incendi depèn tant de la concentració de combustible (carrega de foc) com de la concentració d'oxigen. Segons la llei química de l'acció de masses es coneix que la velocitat de la reacció està determinada per la relació entre els reactius, per tant, si un dels reactius està en excés, l'altre controla la velocitat de reacció del incendi.

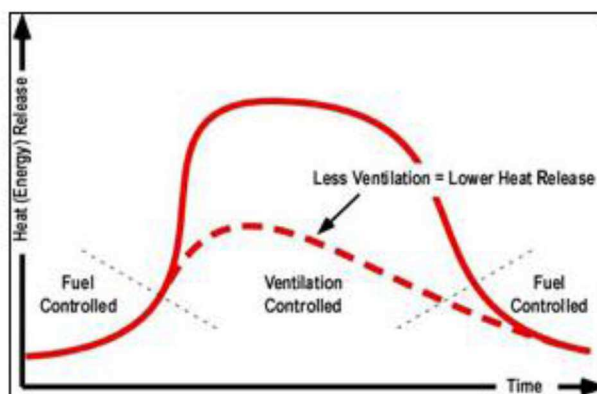


Fig. 2.9. Fases en les que l'incendi està controlat pel combustible o controlat per la ventilació

Font: CFTB-US LLC <http://cftb-us.com/>

La relació òptima de la mescla aire/combustible es denomina relació estequiomètrica, i es defineix com aquella en que la quantitat d'aire està equilibrada amb el combustible. En un

incendi no està equilibrada aquesta relació, sempre hi ha un excés, per tant no ocorre de forma estequiomètrica. Quan en un incendi hi ha excés d'oxidant (oxigen de l'aire), generalment en la fase inicial del foc, es considera que el foc està controlat pel combustible. El cas contrari és quan l'incendi està molt desenvolupat, presenta un excés de combustible i es considera que el foc està controlat per la ventilació.

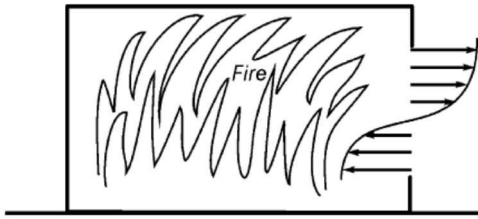


Fig. 2.10. Flux de vent en la finestra, incendi controlat per la ventilació
Font: Buchanan (2001)

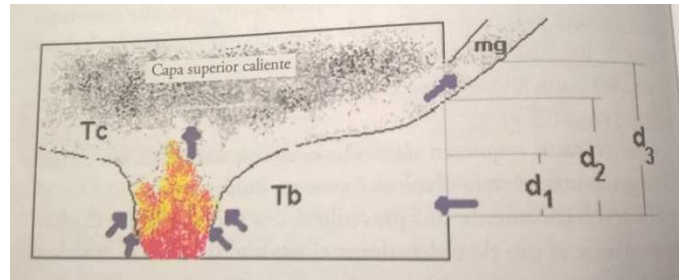


Fig. 2.11. Esquema d'un incendi confinat (*compartment fire*)
Font: Pons i Grau, V. (2003)

Els incendis que es desenvolupen dins un recinte (*compartment fire*) tenen com a determinant el factor d'obertura, també dit paràmetre geomètric de ventilació, que està determinat per la mida de les finestres i defineix el volum de la ventilació que flueix cap al recinte. Aquest aspecte permet determinar aspectes rellevants com: la quantitat d'aire que flueix cap a l'interior del recinte a través de les obertures com a conseqüència de l'arrossegament produït pel plomall de foc, i la quantitat de calor transferit pel plomall de foc que emergeix de les finestres.

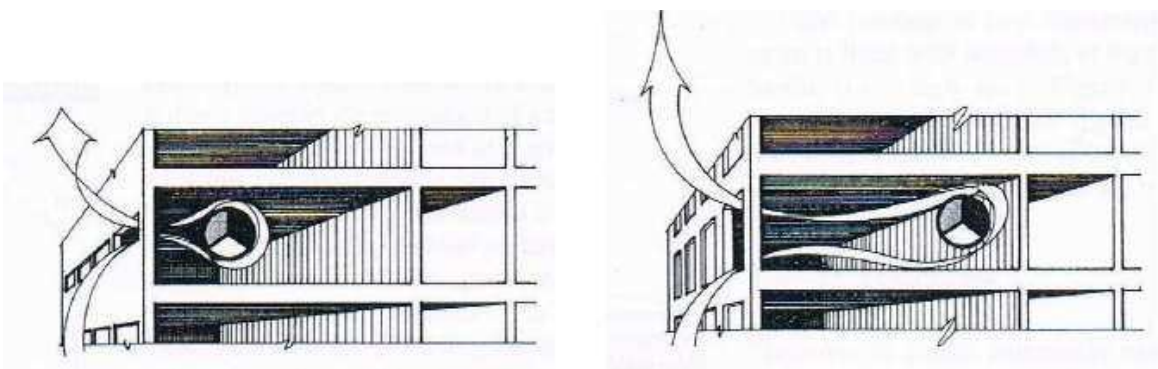


Fig. 2.12. La geometria de les finestres és un factor determinant en els incendis controlats per la ventilació
Font: Patterson (1993)

El flux d'aire que flueix pel recinte afecta a aspectes tant importants com la velocitat de combustió, la velocitat de cessió del calor, la velocitat de pèrdua de massa del combustible entre altres, per tant, influeix en la temperatura dels gasos que determinant la duració de l'incendi. Als recintes que no hi ha un intercanvi d'aire amb l'exterior o que disposen de petites variacions del volum d'aire pot tenir una falta d'oxigen i auto extingir-se, o desenvolupar una combustió molt lenta. Pel contrari si la ventilació es molt forta pot contribuir en la dissipació dels gasos calent, es disminuiria la temperatura del recinte, la velocitat de combustió augmentaria i les flames augmentarien de mida i es propagarien al exterior. Dit això, es pot deduir que els incendis controlats per la ventilació, amb obertures petites, presenten en general temperatures es altes a l'interior del recinte. D'altre banda, els incendis ben ventilats, controlats pel combustible, presenten temperatures més baixes en comparació als anteriors i la seva duració sol ser menor degut a la rapidesa en la que es crema el combustible.

- La geometria del recinte.

La mida, la forma i l'altura del recinte son paràmetres molt importants en el desenvolupament del incendi. Quant més ràpid pugui tocar el plomall de foc al sostre del recinte, més ràpid es desenvoluparà l'incendi. El calor transferit per la capa calenta que es forma en el sostre és el principal mecanisme pel qual el calor augmenti en el recinte. Un objecte cremant en un recinte petit pot acumular altes temperatures, dona lloc a un incendi ràpid i que causi danys elevats.

- Las propietats dels materials del voltant del recinte.

El perímetre del recinte està constituït per parets, forjat i paviment. El materials que els componen poden influir significativament en l'increment de les temperatures dels gasos calents durant el creixement de l'incendi. Els tancaments estan dissenyats per a aïllar tèrmicament els edificis i estan compostos per materials de baixa inèrcia com la llana de roca i el poliuretà. La capacitat aïllant d'aquets materials representa un problema en una situació d'incendi, degut a que contribueixen a l'acumulació de calor en el recinte. Altres materials amb major inèrcia com el totxo o el formigó tenen la capacitat de retenir part del calor generat al recinte. Aquest aspecte esta degut segons la inèrcia tèrmica de cada material.

- La potencia i localització de la font d'ignició.

La localització de la font d'ignició respecte a les parets del recinte i a les obertures de les finestres pot ser un aspecte decisiu en la propagació del foc, formaria part de la reacció en cadena. La potencia també es important, no obstant això, no es determinat. Per exemple, un cigarret te una potencia de nomes 5Kw però si es tira a una zona on hi hagi suficient material combustible pot produir un gran incendi. D'altra banda, un curtcircuit, una font d'energia de gran potencia, pot ser un risc menor si esta envoltat de components incombustible.

2.4 Direcció de l'incendi

Quant arriba a la fase de màxim desenvolupament de l'incendi en un recinte s'inicia el procés de propagació del foc. El foc es propaga per l'acció d'aquets mecanismes:

- Conducció: consisteix en la transferència de calor entre dos cossos per contacte directe o a traves d'un medi conductor.
- Convecció: és la transferència de calor a causa del moviment de les masses de gasos o líquids calents. Els gasos al ser escalfats s'expandeixen i son mes lleugers, aleshores ascendeixen i els aires fred ocupen el lloc deixat pels aires calents. Aquest mecanisme agafa importància en la propagació vertical del foc en edificacions. Per aquest motiu, majoritàriament, es propaga l'incendi per caixes d'escapes, escapes i ascensors, conductes d'aire, i a traves de les façanes.
- Radiació: la transmissió de calor per radiació no requereix cap medi material com a vehicle. Tots els material tenen la capacitat de radiar energia calorífica en forma d'ones electromagnètiques, aquestes ones poden ser absorbides per un altre cos i es manifesta en forma de calor.

A causa de la geometria del recinte existeixen rutes que faciliten el moviment del foc i del fum, com per exemple: portes i finestres, conductes de ventilació, cavitats entre els elements constructius, caixes d'escala, espais ocults sobre falsos sostres, etc.

Es poden considerar tres categories generals de propagació del foc des del recinte que s'ha originat l'incendi:

- 1- Propagació a un altre recinte de la mateixa planta (propagació horitzontal).
- 2- Propagació a les plantes superiors del propi edifici (propagació vertical).
- 3- Propagació a una edificació adjacent.

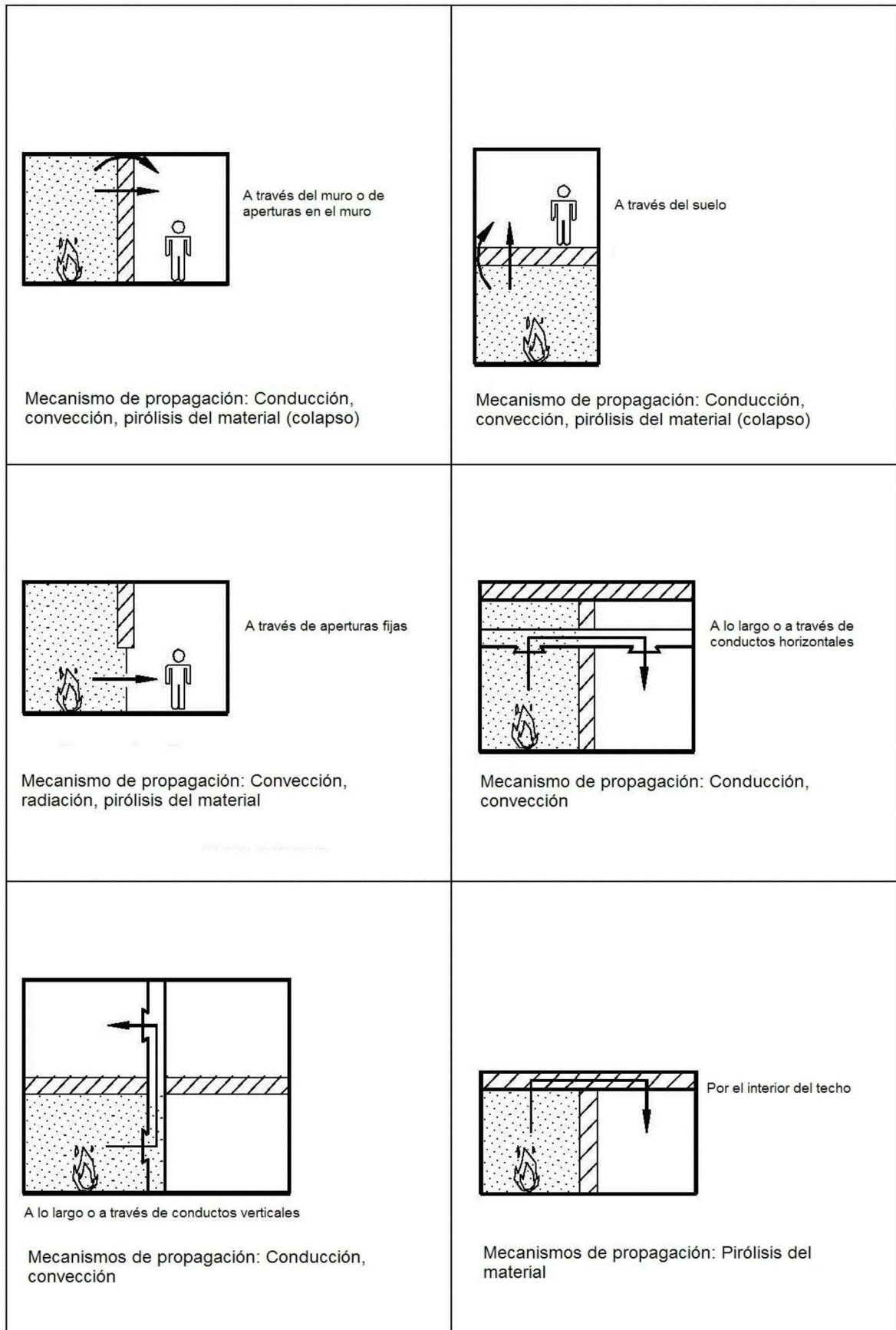


Fig. 2.13. Vies de propagació del foc directes. Per l'acció dels mecanismes de transferència del calor.

Font: BS 7974:2001 *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings*.

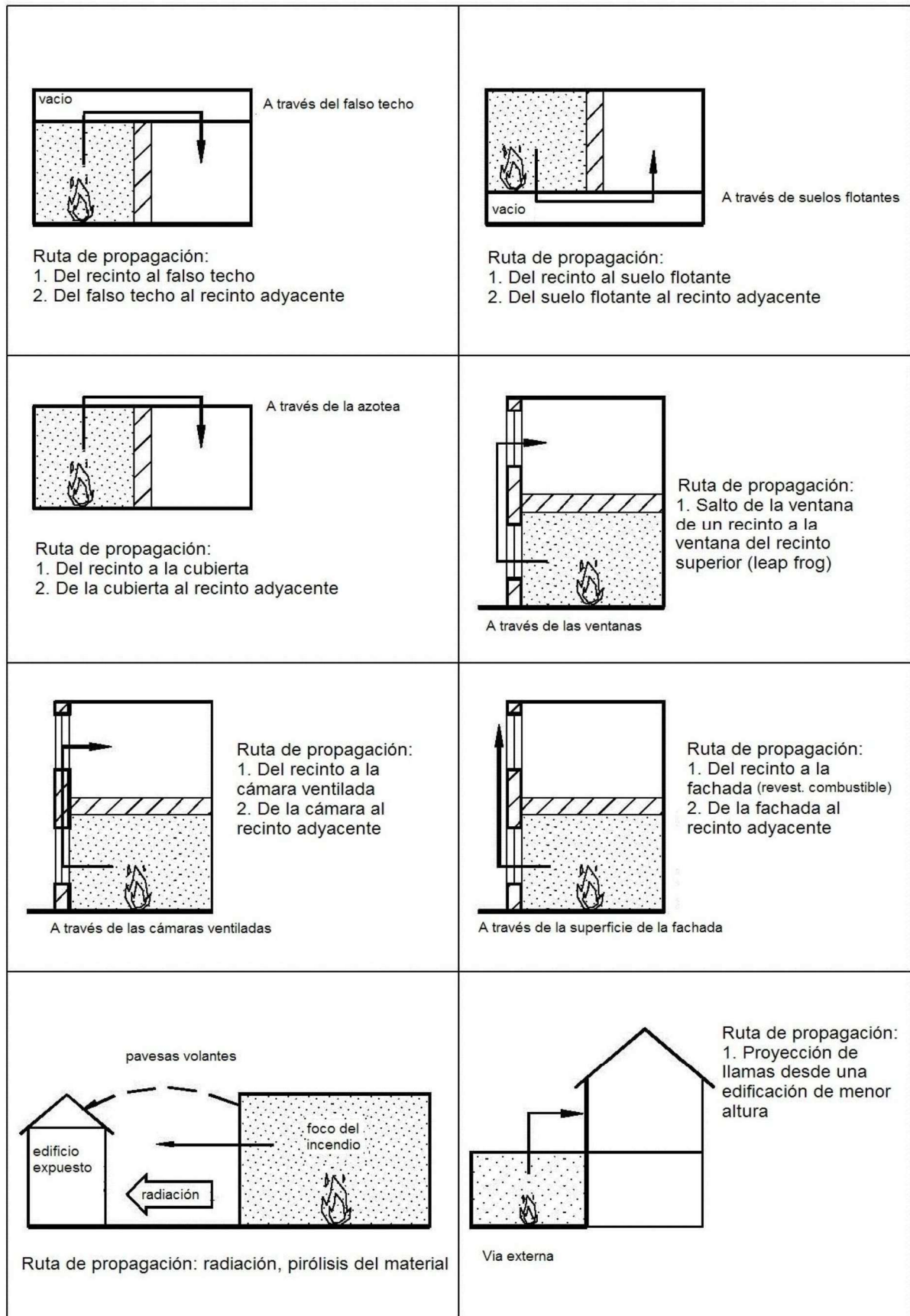


Fig. 2.14. Vies de propagació del foc indirectes, a través dels elements constructius.

Fuente: BS 7974:2001 Application of fire safety engineering principles to the design of buildings.

3 Tipologia, disseny i desenvolupament de la propagació del incendi en façana.

La propagació dels incendis a través de les façanes és una de les vies de propagació més ràpides del foc en edificació. Pot derivar en danys considerables en la façana del edifici i constituir una potencial ruta de propagació a les plantes superiors. Existeixen tres situacions a partir les quals poden produir la propagació en façana:

- Foc provinent del exterior del edifici a través de les brases ardents, ja sigui per un incendi d'un edifici veí o d'una zona boscosa en flames.
- Foc degut a un element de crema davant de la façana (contenedor de escombraria, mobles, etc).
- Foc originat en un recinte del mateix edifici i que es propagui cap a l'exterior a través de les finestres. Aquesta es la situació més perillosa i estadísticament es la que es produeix més habitualment.

Aquesta situació indica que l'incendi en el recinte està en la fase *post flashover* i ha assolit el màxim desenvolupament. La pressió ocasionada per l'augment de les temperatures i la producció de gasos indueix la descarrega del foc i dels gasos calents a través de les obertures.

Tots els materials utilitzats en façana són útils en la propagació del foc, no només els constructius, sinó tots els objectes que es trobin propers a la façana, per exemple, tendals, estenedors, elements de control solar, mobles, etc. La majoria de vegades els vidres de les finestres es trenca, a causa del flux de calor que provoca la ruptura d'un vidre comú, com a conseqüència les cortines són un element de risc encara que es trobi a l'interior.

Per norma general, en els incendis desenvolupats en recintes tancats els processos de combustió no es finalitzen de forma completa a causa de la falta d'oxigen. Una part del combustible cremat flueix amb els gasos i fums cap a l'exterior a través de finestres i reaccionen quan entren en contacte amb l'oxigen de l'aire. Com a resultat d'això, una important porció de la combustió té lloc a l'exterior del recinte, i produeix un major volum i intensitat al plomall de foc.

La propagació del foc en façana pot desenvolupar-se per quatre vies diferents o desenvolupaments simultanis de dos o mes:

- 1- Propagació a través de les finestres, efecte *leap frog* (salt de granota).
- 2- Propagació a través de les cavitats del trobament entre el forjat i la façana.
- 3- Propagació a través de la cambra ventilada
- 4- Propagació a través dels revestiments combustibles

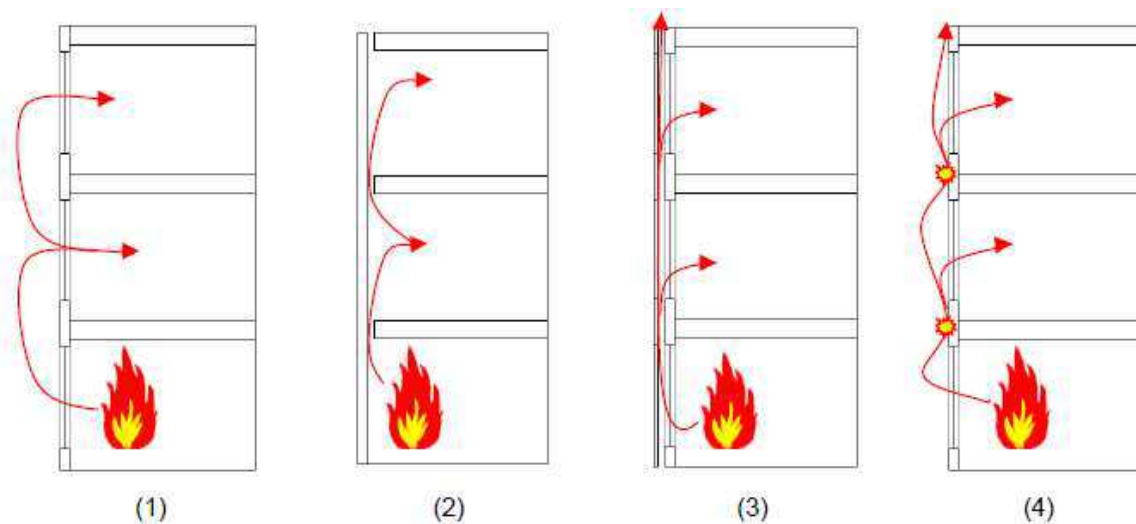


Fig. 3.1. Esquema de les vies de propagació del foc en façana

Font: Giraldo Forero M. (2012)

3.1 Les vies de propagació

3.1.1 Propagació a través de les finestres, efecte *leap frog* (salt de granota).

La propagació a través de les finestres està considerada com el mecanisme de propagació de major perillositat pels edificis de varies plantes. Encara que els revestiments siguin de materials incombustibles, com el totxo o el formigó, es pot donar aquesta situació.

L'efecte *leap frog* és la capacitat de l'incendi per propagar-se de forma ascendent i seqüencial a través de les finestres de l'edifici. És a causa de la ruptura dels vidres de les finestres per l'intens flux de flama i fum, creant un segon focus de l'incendi i probablement continuarà ascendent. La majoria d'objectes que es trobin a la façana serviràn com a pont pel foc. Aquest risc es pot minimitzar a través d'elements de protecció passiva.

3.1.2 Propagació a través de les cavitats del trobament entre el forjat i la façana.

Aquest tipus de propagació es dona a les façanes lleugeres amb revestiments de vidre, mes conegudes com a murs cortina. Normalment es deu a que la solució constructiva per prevenir la propagació del foc a través de la cavitat del trobament entre el forjat i la façana no ha sigut resolta correctament, per tant, el foc pot penetrar a través d'aquesta cavitat cap a les plantes superiors. Els principals riscos associats a aquest tipus de propagació són els següents:

- El foc incideix directament sobre les peces de fixació i els elements estructurals de la façana (muntants), constitueix un risc per la pèrdua de la capacitat mecànica de la subestructura i, en conseqüència, el possible col·lapse de les seccions de la subestructura de la façana o el despenjament de peces. Els elements que conformen la subestructura normalment són d'acer o d'alumini. Aquest material encara que siguin incombustibles tenen un comportament dèbil envers al foc.
- Aquest tipus de propagació està classificat com propagació exterior del però, no obstant això, constitueix una amenaça directa a l'interior del recinte al que es propaga.
- La propagació a través de les cavitats sempre va acompanyada del efecte *leap frog*. Això constitueix una doble exposició de la façana als fluxos de calor i en conseqüència un risc significatiu en la estabilitat de la façana si es considera la debilitat termo mecànica dels elements que formen la subestructura, i la poca estabilitat davant al foc que poden tenir els panells primers opacs i el vidre.

3.1.3 Propagació a través de la cambra ventilada

La causa d'aquest tipus de propagació és la falta de compartimentació capaç d'impedir la propagació del foc, i la majoria de materials utilitzats com a revestiments tenen certa combustibilitat.

És la via de propagació més ràpida de les quatre que es plantegen. Aquest tipus de façana es caracteritza pels grans avantatges higrotèrmics que aporta el flux d'aire natural que circula per

la cambra gracies al efecte xemeneia, no obstant això, en un incendi, aquest mecanisme xemeneia es converteix en un factor que potencia la propagació del foc.

Els principals riscos associats a aquest tipus de propagació són:

- 1- L'aïllament tèrmic es una de les capes que forma aquest sistema de façana, usualment es troba dins de la cambra i en contacte amb la ventilació. Si el material utilitzat es combustible, la majoria dels casos, la propagació a traves de la cambra pot ser molt mes intensa.
- 2- La subestructura de la façana queda exposada a l'efecte directe del foc que es propaga a traves de la cambra ventilada. Provocant un risc del col·lapse total o parcial de la subestructura i a la caiguda de les plaques del revestiment. La subestructura esta formada pels muntants i travessers normalment són d'alumini, que es fon a temperatures baixes (566-650°C), en un incendi comú és fàcil arribar a que es veies afectat la seva resistència.
- 3- Quan comença a sortir a l'exterior el plomall de flames a traves de les finestres, també es produeix la propagació per l'efecte *leap frog*, s'introdueix per la cambra ventilada i es propaga entre 5 i 10 vegades més ràpid que la propagació exterior. Les fusteries haurien de tenir un sistema incorporat per contenir el foc i evitar que la cambra d'aire sigui una ruta tan accessible per la propagació de l'incendi.

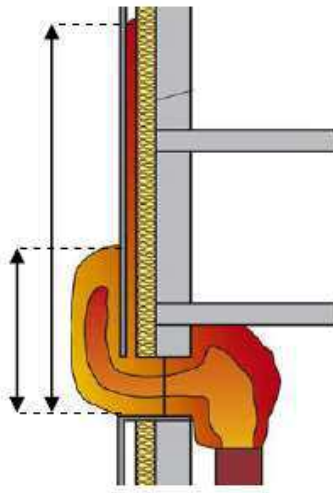


Fig. 3.2. El foc es propaga paral·lelament a traves de les finestres i de la cambra ventilada

Font: Colwell – Martin (2003)

3.1.4 Propagació a través dels revestiments combustibles

Els revestiments combustibles poden donar lloc a una situació d'incendi ràpid i de gran intensitat capaç d'emetre una radiació molt elevada. Les propietats químiques i tèrmiques dels materials són molt importants, alguns materials combustibles poden generar fums tòxics, despendre parts del material o gotes incandescentes durant el procés de degradació.

El calor transmès pel plomall de foc reescalfa la superfície de la façana, accelerant el procés de piròlisis i la velocitat de propagació de la flama la transmissió de calor es fa molt més efectiva degut a la elevada velocitat de cessió de calor HRR que ocorre per la combustió d'un material amb un alt poder calorífic. Quan es produeix aquesta situació provoca un gran perill pels equips de rescat i d'extinció. Els principals riscos associats a aquest tipus de propagació són els següents:

- 1- El risc de propagació del foc a les altres edificacions es elevat degut a que el flux de calor del plomall que emergeix de les finestres es suma a la radiació emesa per la superfície que entra en la combustió. També el risc de propagació a les plantes superiors es major.
- 2- Hi ha panells formats per una xapa d'alumini i un nucli d'aïllament tèrmic que es combustible, aquest es el problema, que la xapa d'alumini es col·lapsi per l'acció del foc o presenta algun orifici degut a les unions mecàniques (unions amb cargols) i es propagui al nucli.

3.2 Aspectes influents en la propagació del foc en façanes

3.2.1 Configuració geomètrica de les façanes.

La geometria de les façanes poden afavorir a la propagació del foc o poden retardar o controlar aquesta propagació, dependrà de la posició de certs elements en façana. Aquestes mesures minimitzadores es coneix com mesures de protecció passives i el seu objectiu es reduir el perill de l'incendi, evitant primer que es produeixi, i si es produeix, evitant que es propagui. Si s'aconsegueix reduir la propagació exterior del foc permetrà als equips de rescat tenir més temps per realitzar les feines d'evacuació dels ocupants i el control de la propagació.

En el disseny de façana existeixen diverses investigacions que constitueixen la base i que s'han centrat en tres aspectes principals:

- Els elements verticals (franges)

- Els elements sortints horitzontals (alers i balcons)
- La configuració geomètrica de les finestres

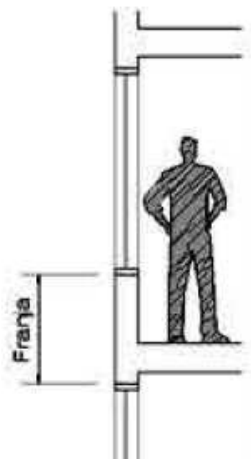


Fig. 3.3. Element vertical de protecció (franja)

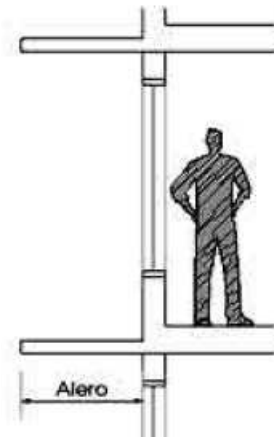


Fig 3.4. Element sortint horitzontal (alers, balco, etc)

Font: Giraldo Forero M. (2012)

Elements verticals (franges)

Les primeres investigacions centrades en el factor geomètric de les façanes van ser realitzades per Yokoi (1960). Els seus descobriments van transcendir al seu dia al àmbit normatiu del Japó i han servit de referent principal en diverses investigacions posteriors. A partir de les publicacions de Yokoi es va considerar la importància d'incorporar elements verticals o franges per separar les finestres d'una planta a l'altre amb el propòsit de reduir el risc de propagació a través de les finestres. Aquesta mesura es va estendre als codis de protecció contra incendis de diferents països inclosa espanya.

Els elements de protecció verticals (franges) són ampits resistents al foc i incombustibles. Aquests elements mitiguen la incidència directe del foc sobre les plantes superiors, encara que, no limiten la propagació vertical del foc. Per tant, encara que una façana disposi de franges, les flames poden transmetre un flux de calor suficient per trencar els vidres de les finestres i penetrar a les plantes superiors a través de les finestres.

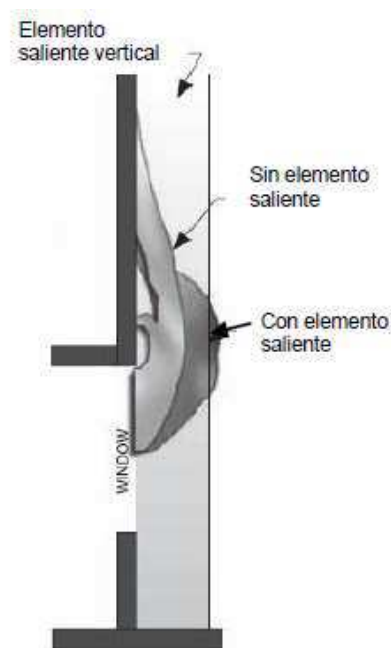


Fig. 3.5. Efecte dels elements sortints verticals envers el plomall del foc

Font: Olesziewicz (1990)

Elements sortints horitzontals (alers)

L'efecte dels elements sortints horitzontals (alers) és molt diferent. Aquests literalment s'interposen al pas del foc, generant un canvi en la trajectòria del plomall. Aquest tipus d'elements, sempre que estiguin constituïts per materials no combustibles, redueixen significativament el risc de propagació vertical i la transferència de calor sobre la façana. L'efecte dels elements sortints ha sigut àmpliament estudiat per diferents autors.

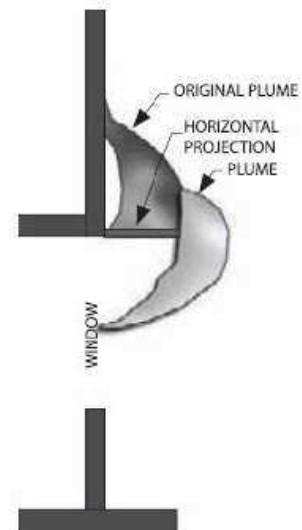
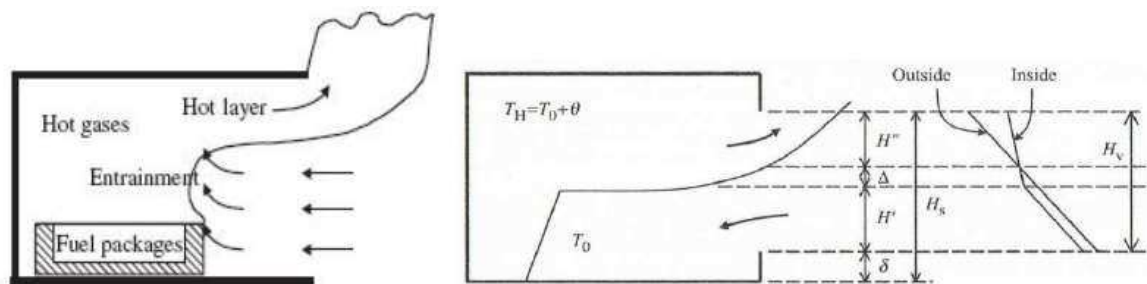


Fig. 3.6. Esquema comparatiu del efecte de la franja i del aler

Font: Olesziewicz (1990)

La geometria de les finestres.

La geometria de les finestres es un factor important en la propagació del foc en façanes, en el moment del *flashover* és l'espai pel qual s'inicia la propagació del foc cap a la façana. Paral·lelament, en l'espai de la finestra, es produeix un arrossegament del flux d'aire cap a l'interior, es provocat per la diferència de pressions que es generen en el procés fisicoquímico de l'incendi. El volum de l'aire induït (factor de la ventilació) dependrà en gran mesura de la mida de la finestra (factor obertura).



H_v = altura de la ventana

H'' = altura desde el plano neutro hasta el dintel

H' = espesor de la capa inferior fría del interior

Δ = es la distancia desde la interface entre las dos capas al plano neutro

δ = es la altura del alféizar

T_0 = es la temperatura ambiente

T_H = es la temperatura de la capa superior caliente

θ = es el diferencial de temperatura entre la capa inferior fría y la capa superior caliente.

Fig. 3.7 Esquemes de la capa calent emergent i el flux d'aire fred induït. Thomas (1972).

Fuente: Ee H. Yii et al. (2007)

També influeix en el comportament del plomall del foc. l'espai de la finestra te un doble efecte, per un costat deixar entrar l'aire que alimenta al foc, i per l'altre, afecta en la forma i la trajectòria del plomall del foc segons la forma de l'obertura. Segons la majoria d'estudis sobre el tema, es considera que en unes finestres grans i amples el plomall del foc és propaga més arran de la façana, i en el cas contrari, en unes finestres petites i estretes o en finestres quadrades peites el plomall del foc tendeix a projectar-se més allunyat de la façana [Yokoi 1960], [Law – O'Brien 1981], [Oleszkiewicz 1990], [Drysdale 1998], [Patterson 1993]. La densitat del flux de calor i la mida de les flames són proporcionals a les finestres per les quals es projecta

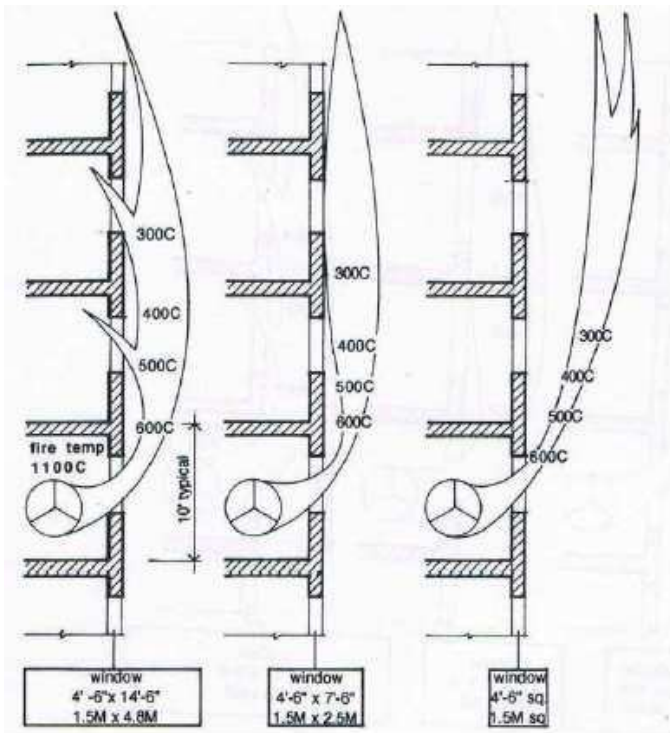


Fig. 3.8. Relació entre la mida i forma de les finestres (1,5 m d'altura) amb el comportament del plomall del foc.

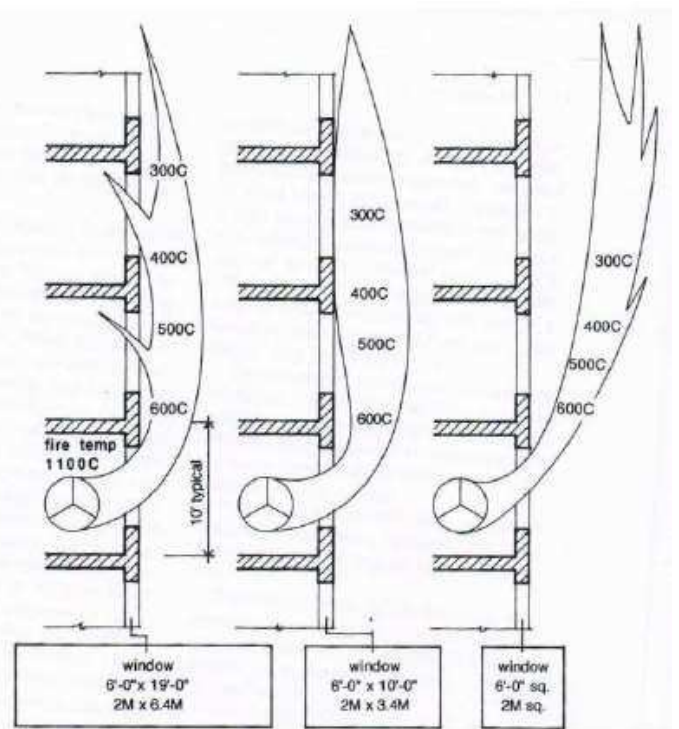


Fig. 3.9. Relació entre la mida i forma de les finestres (2,5 m d'altura) amb el comportament del plomall del foc.

Font: Patterson (1993)

En resum, el risc de la propagació del foc és menor en les finestres petites i que una forma per reduir el risc de la propagació exterior del foc és controlant la mida de les finestres i obertures.

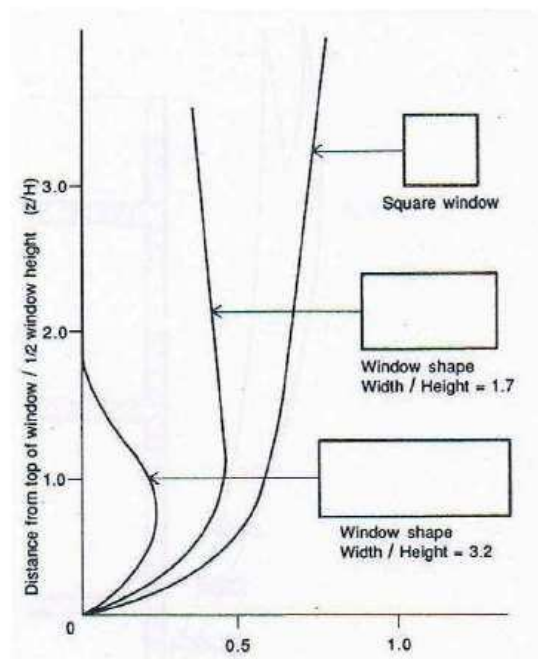


Fig. 3.10. Trajectòria del plomall del foc en relació a la forma de la finestra per la qual surt.

Font: Patterson (1993)

3.2.2 El plomall del foc

En el factor de ventilació es poden considerar dos tipus de situacions:

- **Tir natural:** el flux d'aire depèn de les mesures del recinte i de les finestres. Les flames sortints ocupen les dos terceres parts superiors de la finestra, en el terç inferior flueix l'aire fred cap a l'interior del recinte.
- **Tir forçat:** s'aporta un flux extra de ventilació, podria ser una ventilació creuada causada per una porta o finestra oberta. Aquesta afecta en la mida i direcció del plomall del foc, ja que, assumeix la trajectòria marcada per a direcció de la ventilació. En aquestes condicions el plomall del foc ocupa l'obertura de la finestra i supera l'ample d'aquesta, augmentat el volum de la flama respecte el tir natural.

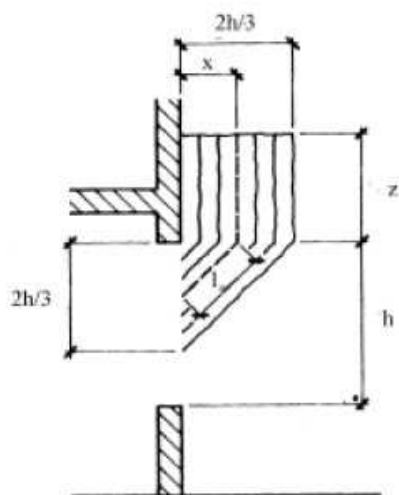


Fig. 3.11. Secció

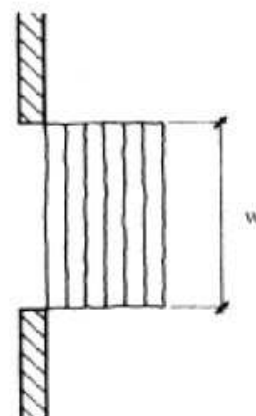


Fig. 3.12. Planta

Trajectòria del plomall en condicions de tir natural. Law (1978).

Fuente: Nyuk, 2000

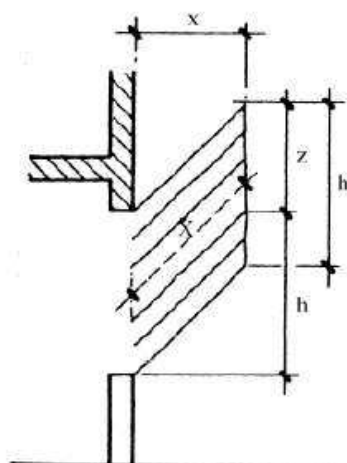


Fig. 3.13. Secció

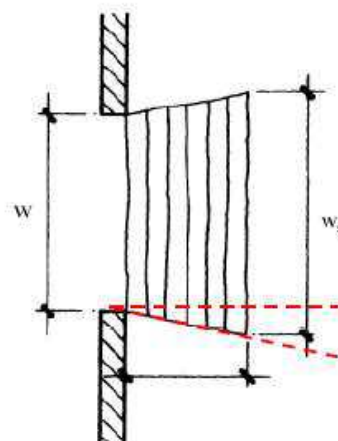


Fig. 3.14. Planta

Trajectòria del plomall en condicions de tir forçat. Law (1978).

Fuente: Nyuk, 2000

3.2.3 L'efecte xemeneia

És el moviment natural ascendent de l'aire a través de l'edifici que ocorre per la diferència de temperatura i densitat entre l'aire de l'interior i de l'exterior d'un edifici. Normalment s'assumeix que l'aire en l'exterior de l'edifici és més fred que en l'interior i, per tant, la pressió és major en l'exterior, l'aire fred és més dens. A l'entrar l'aire fred a l'edifici a través de les finestres i les portes impulsa l'aire de l'interior cap a dalt, és més calent i menys dens. En una situació d'incendi el que ocorre és que al ser major la diferència de temperatures

provoca que aquest moviment ascendent sigui més exagerat. Si la temperatura de l'aire exterior és més alta que a l'interior de l'edifici provoca que el moviment de l'aire s'inverteix i ocorre l'efecte xemeneia invers.

Aquest efecte és important en la propagació del foc en façanes, ja que potencia la propagació vertical a través de les cambres ventilades o a través dels espais entre façanes de doble pell.

4 Comparació de la normativa d'Espanya (CTE) amb les europees i americanes.

La protecció contra incendis es pot entendre com el conjunts de mesures, activitats i medis que condueixen a la seguretat contra incendis en l'edificació. Els objectius centrals de la protecció contra incendis segons la norma 101 (codi de seguretat humana) de la NFPA (*Building Fire Protection Association*) en ordre de prioritats són:

- 1) Protegir les vides humanes.
- 2) Reduir al màxim els danys a l' propietat.
- 3) Procurar que les activitats de l'edifici puguin reprendre lo abans possible.

Històricament les normatives de protecció contra incendis apareixen després que ocorrin grans incendis, s'estudia que es podria haver fet millor i es creen només noves o es modifiquen. S'hauria de poder crear les normes en matèria contra incendis abans que passin els grans incendis cobrant-se vides humanes.

4.1 Normativa d'Espanya, el CTE

A Espanya al 1974 es publica la NTE-IPF, Norma Tecnològica Espanyola sobre les Instal·lacions de Protecció contra el foc. va servir perquè es deixés de fer les instal·lacions contra incendis de la manera tradicional, es van unificar i definir aspectes millors en les instal·lacions de protecció. A causa de més incendis es va crear, al 1981, la Norma Bàsica de Protecció Contra Incendis, NBE-CPI-81, era molt estricta i poc flexible, això provocava dificultats alhora de dissenyar els edificis, per aquest fet, al 1982, es va derogar aquesta norma, excepte les més generals, va ser un pas enrere en la protecció contra incendis, es va anomenar NBE-CPI-82.

Més endavant es va aprovar la norma NBE-CPI-91 que era més moderna i flexible. Després la va seguir la NBE-CPI-96, va estar en us pràcticament deu anys. Al 2005 hi va haver l'incendi de l'edifici Windsor a Madrid, aquest fet va provocar la fi d'aquesta norma que havia quedat desfasada. Des de la unió europea es va exigir una revisió de les normes i va servir per poder fer millores en la normativa. Es va derogar la NBE-CPI-96 i al 2006 es va aprovar el CTE, Codi Tècnic de l'edificació, dins d'aquest, els DB SI (Documents Bàsics – Seguretat contra incendis) i els DB SU (seguretat d'utilització), actualment es la normativa en vigor. La NBE-CPI-96 es segueix utilitzant per les revisions i informes pericials d'edificacions i construccions anteriors a l'entrada del CTE.

A continuació s'exposa les disposicions del CTE en relació al control de la propagació en façana del foc.

Documento Básico SI Seguridad en caso de incendio

Secció SI 1

Propagació interior (cambres ventilades)

3. Espais ocults. Pas d'instal·lacions a través d'elements de compartimentació d'incendis (cambres ventilades)
 1. La compartimentació contra incendis dels espais ocupables ha de tenir continuïtat als espais ocults, tals com petits patis interiors, càmeres, falsos sostres, sòls elevats, etc., excepte quan aquests estiguin compartimentats respecte dels primers almenys amb la mateixa resistència al foc, podent reduir-se aquesta a la meitat en els registres per a manteniment.
 2. Es limita a tres plantes i a 10 m el desenvolupament vertical de les càmeres no estances en les quals existeixin elements la classe dels quals de reacció al foc no sigui B-s3,d2, BL-s3,d2 o millor.
 3. La resistència al foc requerida als elements de compartimentació d'incendis s'ha de mantenir en els punts en els quals aquests elements són travessats per elements de les instal·lacions, tals com a cables, canonades, conduccions, conductes de ventilació, etc., excloses les penetracions que la secció de pas no excedeixi de 50 cm². Per a això pot optar-se per una de les següents alternatives:
 - a. Disposar un element que, en cas d'incendi, obturi automàticament la secció de pas i garanteixi en aquest punt una resistència al foc almenys igual a la de l'element travessat, per exemple, una comporta tallafocs automàtica EI $t_{(i \leftrightarrow o)}$ sent t el temps de resistència al foc requerida a l'element de compartimentació travessat, o un dispositiu intumescent d'obturgació.
 - b. Elements passants que aportin una resistència almenys igual a la de l'element travessat, per exemple, conductes de ventilació EI $t_{(i \leftrightarrow o)}$ sent t el temps de resistència al foc requerida a l'element de compartimentació travessat.

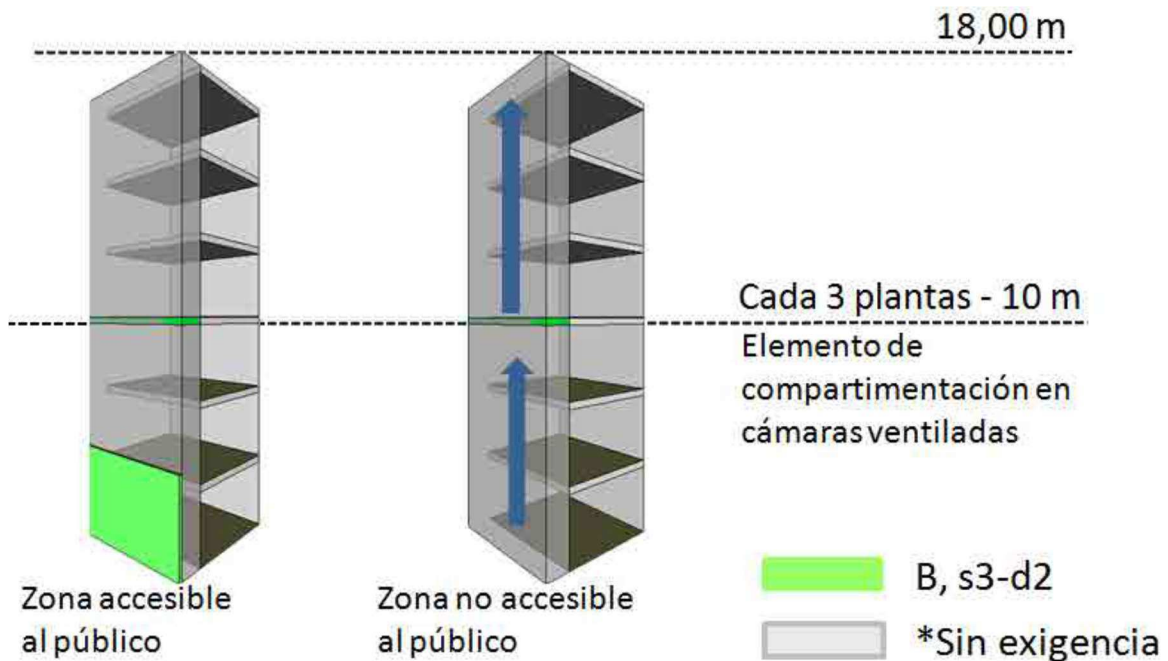


Fig. 4.1. Esquema que il·lustra les exigències contemplades pel CTE en referència a les cambres ventilades (espais ocults)

Font: Giraldo Forero M. (2012)

Secció SI 2

Propagació exterior

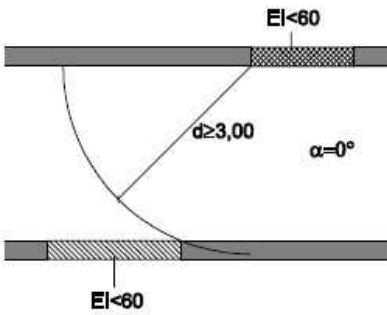
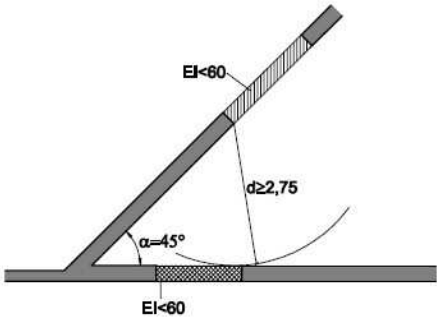
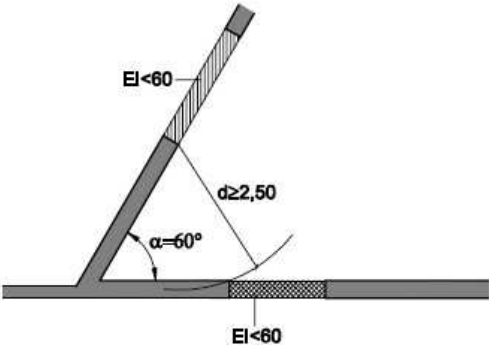
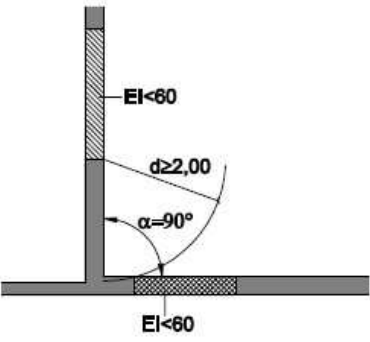
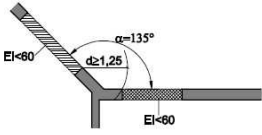
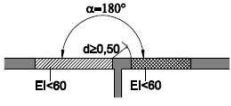
1. Mitjaneres i façanes

1. Els elements verticals separadors d'un altre edifici han de ser almenys EI 120.
2. Amb la finalitat de limitar el risc de propagació exterior horitzontal de l'incendi a través de la façana entre dos sectors d'incendi, entre una zona de risc especial alt i altres zones o cap a una escala protegida o passadís protegit des d'altres zones, els punts de les seves façanes que no siguin almenys EI 60 han d'estar separats la distància d en projecció horitzontal que s'indica a continuació, com a mínim, en funció de l'angle α format pels plànols exteriors d'aquestes façanes (vegeu figura 1.1). Per a valors intermedis de l'angle α , la distància d pot obtenir-se per interpolació lineal.

Quan es tracti d'edificis diferents i confrontants, els punts de la façana de l'edifici considerat que no siguin almenys EI 60 compliran el 50% de la distància d fins a la bisectriu de l'angle format per ambdues façanes.

α	$0^{\circ(1)}$	45°	60°	90°	135°	180°
$d(m)$	3,00	2,75	2,50	2,00	1,25	0,50

(1) Reflecteix el cas de façanes enfrontades paral·leles

	
Fig. 4.3. Façanes enfrontades	Fig. 4.4. Façanes a 45°
	
Fig. 4.5. Façanes a 60°	Fig. 4.6. Façanes a 90°
	
Fig. 4.7. Façanes a 135°	Fig. 4.8. Façanes a 180°

- Amb la finalitat de limitar el risc de propagació vertical de l'incendi per façana entre dos sectors d'incendi, entre una zona de risc especial alt i altres zones més altes de l'edifici, o bé cap a una escala protegida o cap a un passadís protegit des d'altres zones, aquesta façana ha de ser almenys EI 60 en una franja d'1 m d'altura, com a mínim, mesura sobre el plànol de la façana (vegeu figura 1.7). En cas d'existir elements sortints aptes per impedir el pas de les flames, l'altura d'aquesta franja podrà reduir-se en la dimensió del citat sortint (vegeu figura 1.8).

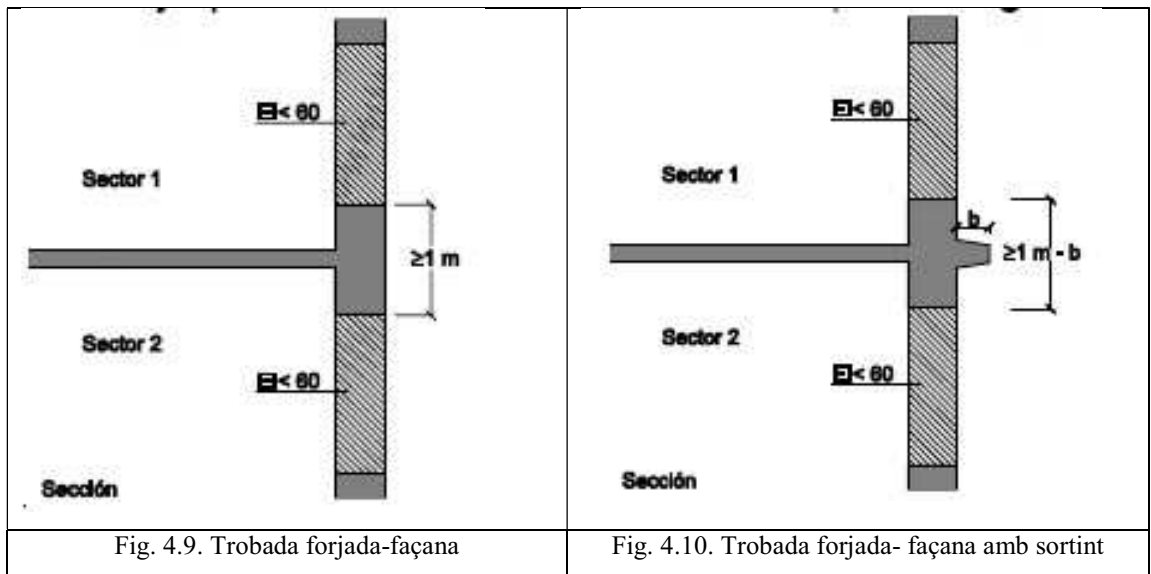


Fig. 4.9. Trobada forjada-façana

Fig. 4.10. Trobada forjada- façana amb sortint

- La classe de reacció al foc dels materials que ocupin més del 10% de la superfície de l'acabat exterior de les façanes o de les superfícies interiors de les càmeres ventilades que aquestes façanes puguin tenir, serà B-s3,d2 fins a una altura de 3,5 m com a mínim, en aquelles façanes l'arrencada inferior de les quals sigui accessible al públic des de la rasant exterior o des d'una coberta, i en tota l'altura de la façana quan aquesta excedeixi de 18 m, amb independència d'on es trobi la seva arrencada.

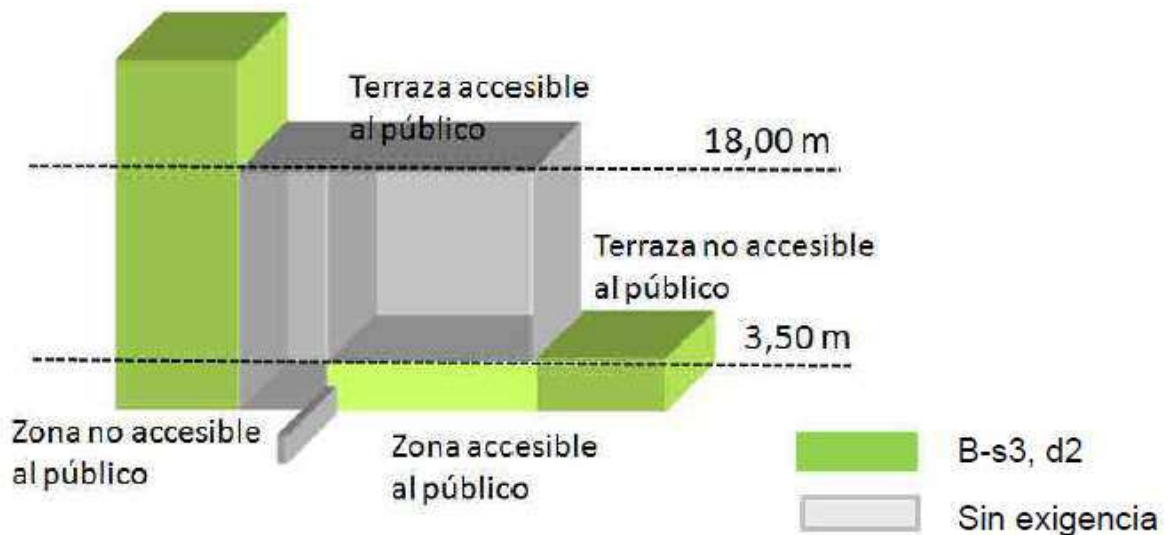


Fig. 4.11. Esquema que il·lustra les exigències de reacció al foc dels acabats exteriors que conformen la façana.

Font: Giraldo Forero M. (2012)

4.2 Normatives d'altres països

EEUU

La normativa de l'edificació als estats units d'Amèrica està regulada per organitzacions privades i no pel govern, les més importants són:

- La *National Fire Protection Association* (NFPA)
- El *International Code Council* (ICC)
- El *National Building Code* (NBC)
- El *Uniform Building Code* (UBC)

Encara que existeixin varies normatives tota la responsabilitat i el control està canalitzat per l'autoritat màxima en cada estat, la oficina de bombers *Office of State Fire Marshall* (SFM).

Regne unit

Propagació en cambres ventilades:

En les *Building Regulations* es determinen unes dimensions mínimes per a la compartimentació de les cambres ventilades en relació amb la classe de reacció al foc dels materials que les recobreixen interiorment:

Table 13 Maximum dimensions of cavities in non-domestic buildings (Purpose Groups 2-7)			
Location of cavity	Class of surface/product exposed in cavity (excluding the surface of any pipe, cable or conduit, or any insulation to any pipe)		Maximum dimensions in any direction (m)
	National class	European class	
Between roof and a ceiling	Any	Any	20
Any other cavity	Class 0 or Class 1	Class A1 or Class A2-s3, d2 or Class B-s3, d2 or Class C-s3, d2	20
	Not Class 0 or Class 1	Not any of the above classes	10

Notes:

- 1 Exceptions to these provisions are given in paragraphs 9.10 to 9.12.
- 2 The national classifications do not automatically equate with the equivalent classifications in the European column, therefore, products cannot typically assume a European class unless they have been tested accordingly.
- 3 When a classification includes "s3, d2", this means that there is no limit set for smoke production and/or flaming droplets/particles.

La divisió de les cambres es farà mitjançant barreres tallafoc que hauran de col·locar-se a l'interior de la cambra, fent-les coincidir, a més, amb els forjats que tinguin funció de compartimentació. En edificis institucionals, inclosos els hospitals, així com en els de ús residencial, tots els forjats tindran funció separadora (sempre que no estiguin a l'interior d'un habitatge). En general, en edificis d'altres usos no residencials ni institucionals, tots els forjats

sobre rasant seran elements separadors quan l'altura d'evacuació de l'edifici superi els 30m. Els forjats baix rasant sempre tindran funció separadora.

Les cambres també es tancaran mitjançant barreres tallafoc, I 30, a les seves zones de vora, incloent buits de finestra.

D'altra banda, en les *Building Regulations* s'estableix que en edificis l'altura dels quals d'evacuació superi els 18 m els materials d'aïllament que formin part de la façana han de ser almenys A2-s3,d2.

En la guia BR 135: *Fire performance of external thermal insulation for walls of multi-storey buildings* es recomana l'ús de material no combustible com a aïllament tèrmic de les cambres ventilades. Així mateix es recomana la instal·lació de barreres tallafoc en les cambres ventilades per evitar la propagació de l'incendi pel seu interior, de manera que es mantingui el flux d'aire i la cambra ventilada continuï sent efectiva en circumstàncies normals. Es donen exemples de barreres tallafoc que compleixen aquests requisits, com a reixetes intumescentes (segons la guia BR135, no és una solució adequada sempre) i xapes d'acer.

Els elements clau que dona el BR135 perquè la barrera tallafoc sigui efectiva són:

- Fixació a la fulla interior.
- Independència pel que fa als perfils metàl·lics del sistema de fixació.
- Extensió a través de tota la profunditat de la cambra, i en alguns casos sobresortint a l'exterior, per permetre el moviment dels panells.

Segons aquesta guia, el tipus adequat de barreres tallafoc depèn del sistema d'aplatat de la solució concreta, per la qual cosa és necessari assajar cada cas.

Per la seva banda en la guia BR 135: *Fire performance of external thermal insulation for walls of multi-storey buildings*, es consideren diferents aspectes per al disseny d'una façana ventilada amb fulla exterior d'aplatat:

- Les fixacions del sistema han de tenir una determinada resistència al foc, per evitar un col·lapse prematur.
- L'acabat exterior no hauria de contribuir al foc.
- El sistema no hauria d'enfonsar-se prematurament, per evitar que es creïn nous accessos del foc a la càmera.

Propagació exterior:

Per fixar en el DB SI el límit d'altura de 18 m, en funció del com s'estableixen determinades condicions de reacció al foc als materials d'acabat de façanes, es va prendre com a referència la reglamentació britànica *The Building Regulations 2000. Fire safety. Volume 2. Buildings other than dwelling houses*.

Les *Building Regulations* estableixen un límit de “altura d'evacuació” de 18 m, a partir del qual es prenen mesures específiques tant per limitar el risc de propagació d'un possible incendi per l'exterior d'un edifici (classe de reacció al foc per a materials d'aïllament en façana), com per disposar elements protegits d'evacuació (escales especialment protegides) o per a l'accés de bombers en situacions d'emergència (*firefighting shafts*: conjunts formats per escala especialment protegida i ascensors d'emergència).

Access lobbies and corridors

4.34 There are situations where an escape stair needs the added protection of a protected lobby or protected corridor. These are:

- a. where the stair is the only one serving a building (or part of a building) which has more than one storey above or below the ground storey (except for small premises covered in paragraph 4.6a); or
- b. where the stair serves any storey at a height greater than 18m; or
- c. where the building is designed for phased evacuation (see paragraph 4.29a).

In these cases protected lobbies or protected corridors are needed at all levels, except the top storey and at all basement levels; or

- d. where the stair is a firefighting stair.

Provision of firefighting shafts

17.2 Buildings with a floor at more than 18m above fire and rescue service vehicle access level, or with a basement at more than 10m below fire and rescue service vehicle access level, should be provided with firefighting shafts containing firefighting lifts (see Diagram 51).

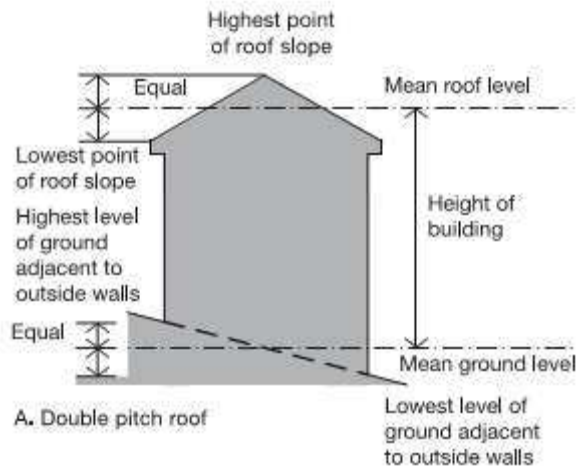
Insulation Materials/Products

12.7 In a building with a storey 18m or more above ground level any insulation product, filler material (not including gaskets, sealants and similar) etc. used in the external wall construction should be of limited combustibility (see Appendix A). This restriction does not apply to masonry cavity wall construction which complies with Diagram 34 in Section 9.

En canvi, l'altura de 18 m, a partir de la qual es limita la classe de reacció al foc dels materials d'acabat de les façanes és, segons les *Building Regulations*, la “altura de l'edifici” no la de la façana..

El terme “altura de l'edifici” es defineix en l'Apèndix C del document:

Diagram C4 Height of building



Com ja s'ha dit a dalt, la classe de reacció al foc dels materials utilitzats com a acabats exteriors de la façana es limita en funció de l'altura de l'edifici, del seu ús i de la distància a la limit. Del Diagrama 40 de les *Building Regulations*, podem extreure la següent taula:

Altura de l'edifici	Situació	Distància a la limit	
		<1m	≥1 m
<18 m		B s3 d2	No es limita
≥18 m	Fins a 18 m	B s3 d2	C s3 d2
	Superior a 18 m		B s3 d2

Per un ús públic concorregut, independentment de l'altura de l'edifici, la classe de reacció al foc serà, com a mínim, C s3 d2 fins a una altura de 10 m quan la façana sigui accessible.

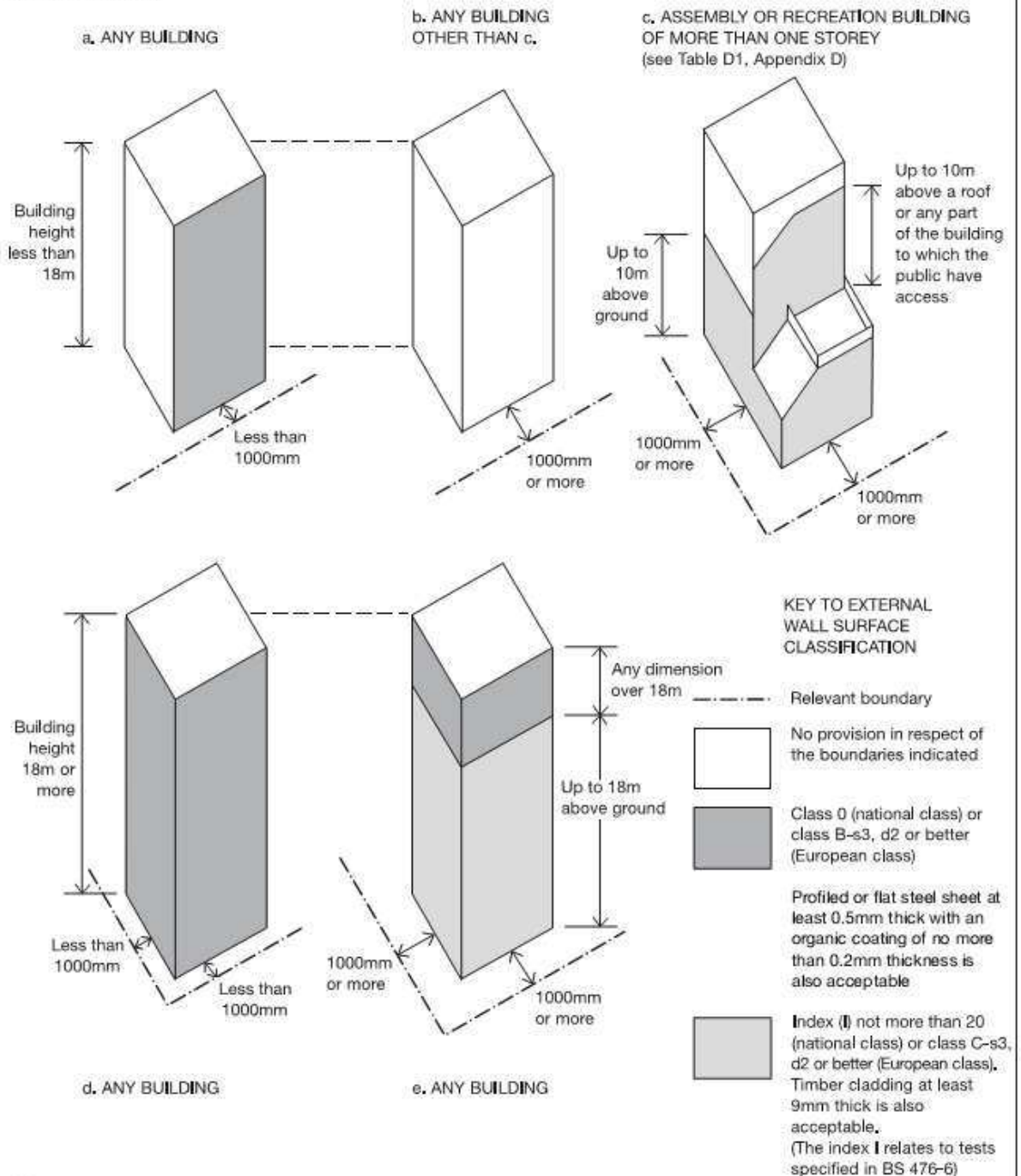
En la guia BR 135: *Fire performance of external thermal insulation for walls of multi-storey buildings*, s'estableixen mesures específiques per limitar el risc de propagació vertical per façana als edificis alts, per sobre de 18 m, ja que, planteja que a partir d'aquesta altura no es garanteix l'efectivitat de les tècniques convencionals utilitzades pels bombers.

Així mateix, aquestes mesures es disposen per a edificis en els quals, independentment de la seva altura, puguin albergar ocupants dormint, en considerar que una propagació ràpida per façana posaria als ocupants en una situació de risc inacceptable.

En les *Building Regulations* també s'utilitza el concepte de “altura d'evacuació”, no només per establir determinats elements protegits, sinó per limitar la combustibilitat dels materials d'aïllament, la qual cosa resulta confús.

Diagram 40 Provisions for external surfaces or walls

See paras 12.5 and 12.6



Notes:

- 1 The national classifications do not automatically equate with the equivalent European classifications, therefore, products cannot typically assume a European class unless they have been tested accordingly.
- 2 When a classification includes "s3, d2", this means that there is no limit set for smoke production and/or flaming droplets/particles.

Nova Zelanda

Propagació en cambres ventilades:

En la normativa neozelandesa (Compliance Document for New Zealand Building Code 2000. Amended 2005), s'estableixen solucions de compartimentació de cambres ventilades quan els materials utilitzats com a recobriments d'aquestes siguin combustibles, sense especificar la seva classe de reacció al foc. Aquesta mesura afecta a edificis de més de tres plantes en els quals les càmeres es compartimentaran horitzontalment, almenys, cada dues plantes quan els forjats delimitin sectors d'incendi.

Les barreres horitzontals prevenen la propagació progressiva del foc per la capa d'aïllament del mur. En aquest reglament es recomana la integració de barreres curta-foc en el disseny de les juntes de dilatació, disposades per evitar el trencament dels elements de tancament.

Propagació exterior:

En l'article de C. Wade, es consideren una sèrie de factors que influeixen en la velocitat de propagació vertical d'un possible incendi per l'acabat exterior de la façana. Aquests factors s'organitzen en el següent esquema:

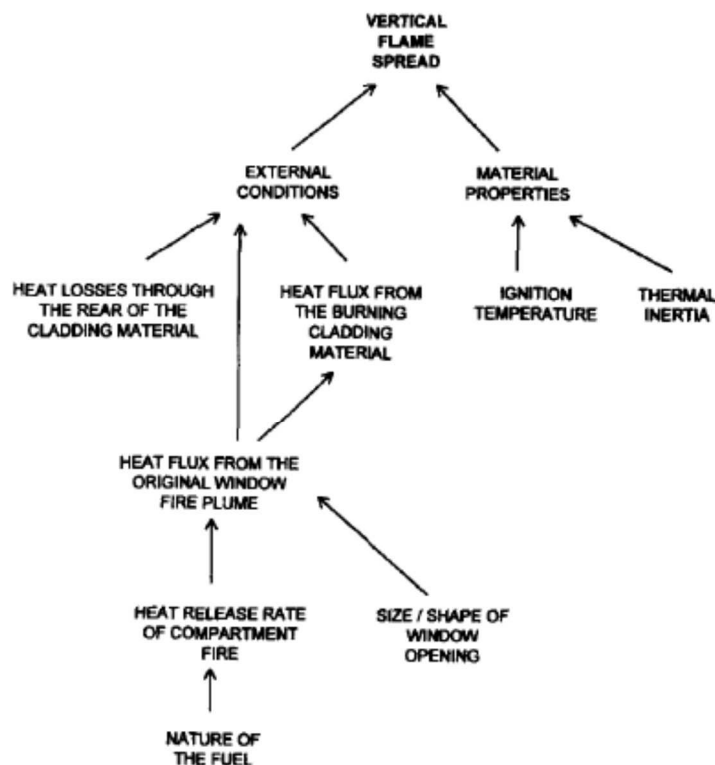


Figure 1. Factors affecting rate of fire spread vertically on a wall cladding.

Un d'aquests factors és el flux de calor neta que comprèn tant el que prové de la flama a través del buit de façana com el qual es genera en cremar el propi material de revestiment.

El flux de calor neta es relaciona amb la velocitat de propagació de la flama mitjançant la següent expressió:

$$V = \frac{(\dot{q}'')^2 \Delta}{k\rho c(T_{ig} - T_s)^2}$$

En la qual:

V= velocitat de propagació de la crida

q'' = flux de calor neta en la superfície

kpc= inèrcia tèrmica

Tig = temperatura d'ignició de la superfície

Ts = temperatura inicial de la superfície

Com pot observar-se, la velocitat de propagació de la flama (V) depèn del quadrat del flux de calor neta en la superfície del material (q''), per la qual cosa aquest resulta un factor determinant.

El grau de combustibilitat del material pot considerar-se un índex de mesura de la velocitat de la propagació vertical per façana, ja que quan el material d'acabat de façana crema contribueix al flux de calor neta.

Per a la classificació dels materials segons el seu grau de combustibilitat, poden considerar-se dos paràmetres:

- Valor màxim de calor despresa
- Calor total despresa

Aquests valors es recullen estant la mostra exposada a un flux de calor de 50 kWm⁻² durant 15 minuts (ASTM 1354)

D'altra banda, en l'article s'estableixen una sèrie de paràmetres en funció dels quals es limita el grau de combustibilitat que han de tenir els materials utilitzats com a acabat de façana. Entre ells, es considera l'altura de l'edifici (no de façana), l'ús de l'edifici i la dotació de ruixadors.

cal assenyalar que l'altura de l'edifici s'estableix en funció de l'efectivitat de les tècniques d'extinció convencionals utilitzades pels bombers:

- edifici d'una sola planta,

- edifici l'altura del qual és accessible als bombers per a l'extinció d'un incendi mitjançant tècniques convencionals,
- edifici l'altura del qual està per sobre d'aquesta.

La limitació del grau de combustibilitat, tindria equivalència per al cas espanyol (en el qual regeixen les euroclases) en la limitació de la classe de reacció al foc exigida per als materials d'acabat de façanes.

Table 2. Suggested performance requirements

Building height	Performance requirement (Testing of horizontal specimens to ASTM 1354 or similar at an irradiance of 50 kW m^{-2} in the presence of an external spark igniter)
Single-storey	<p>Health-care and detention purpose groups or any purpose group where the wall is within the vicinity of a boundary. Peak rate of heat release $\leq 150 \text{ kW m}^{-2}$ Total heat released in 15 min $\leq 50 \text{ MJ m}^{-2}$</p> <p>All other purpose groups No requirements</p>
Up to a height where fire services are able to apply water	<p>Health-care, detention and accommodation purpose groups or any purpose group where the wall is within the vicinity of a boundary. Peak rate of heat release $\leq 150 \text{ kW m}^{-2}$ Total heat released in 15 min $\leq 50 \text{ MJ m}^{-2}$</p> <p>All other purpose groups Peak rate of heat release $\leq 300 \text{ kW m}^{-2}$ Total heat released in 15 min $\leq 125 \text{ MJ m}^{-2}$</p>
Above height where fire services are able to apply water	<p>All unsprinklered purpose groups Peak rate of heat release $\leq 100 \text{ kW m}^{-2}$ Total heat released in 15 min $\leq 25 \text{ MJ m}^{-2}$</p> <p>All sprinklered purpose groups Peak rate of heat release $\leq 150 \text{ kW m}^{-2}$ Total heat released in 15 min $\leq 50 \text{ MJ m}^{-2}$</p>

França

Propagació exterior:

En el Reglament de seguretat contra els riscos d'incendi i de pànic en els establiments que reben públic, *Règlement de sécurité contre les risques d'incendii et de panique dans els établissements recevant du public*, s'estableix que l'acabat exterior de façanes ha de ser almenys D-s3, d0, sempre que es compleixi la regla C + D:

$$C + D \geq 1 \text{ metre si } M \leq 130 \text{ *MJ/m}^2$$

$$C + D \geq 1,3 \text{ metre si } M > 130 \text{ *MJ/m}^2$$

En cas contrari, aquest acabat ha de ser almenys C-s3, d0, excepte en el cas de fusteria, persianes, les baranes i les reixetes de ventilació, que han de ser almenys D-s3, d0.

Finlàndia

Propagació en cambres ventilades:

En l'article de Hakkarinen i Oksanen, s'analitza el comportament de les càmeres ventilades compartimentades amb barreres tallafoc, aportant-se les conclusions extretes després de la realització d'assajos (d'escala intermèdia):

Una barrera tallafoc, consistent en una xapa d'acer, col·locada a 250 mm de l'extrem superior de la mostra, va suposar un notable descens en la temperatura registrada per sobre de la mateixa (100° C). Els mesuraments obtinguts a l'interior de la càmera sense barrera tallafoc estaven en el rang dels 200° C als 400° C.

A més, es van realitzar assajos amb barreres intumescents i amb barreres tipus malla. Amb tots dos tipus de barrera, es va produir una disminució en la velocitat de propagació per la cambra, sent aquesta significativa en el cas de barrera tipus malla.

Propagació exterior:

Segons el *National Building Code* finlandès (2002), els materials de recobriments exterior de façana i els de recobriments interior de cambres ventilades han de ser, amb caràcter general, B-s1,d0. En canvi, en determinats usos i edificis de poca altura i baixa densitat d'ocupació (P2 i P3 en la següent taula), es permet que la classificació de dites materials sigui almenys D-s2,d2, amb la premissa que en determinats casos a més es protegeixi l'edifici amb un sistema de ruixadors automàtics.

Cal recordar que la fusta, amb caràcter general, sol obtenir una classificació D-s2,d0, material àmpliament utilitzat per a la construcció als països escandinaus.

TABLE 8.3.4 CLASS REQUIREMENTS FOR SURFACES OF EXTERNAL WALLS AND VENTILATION GAPS

	Fire class and use of the building					
	P1		P2			P3
	Buildings of class P1 in general	Residential and office premises with not more than 4 storeys	Institutions	Residential and office premises with 3–4 storeys	Other buildings of class P2	
External surface of external wall	B-s1, d0 ¹⁾	B-s1, d0 ²⁾	B-s1, d0 ²⁾	B-s1, d0 ²⁾	D-s2, d2	D-s2, d2
External surface of ventilation gap	B-s1, d0 ¹⁾	B-s1, d0 ²⁾	B-s1, d0 ²⁾	B-s1, d0 ²⁾	D-s2, d2	D-s2, d2
Internal surface of ventilation gap	B-s1, d0	B-s1, d0	B-s1, d0	B-s1, d0	D-s2, d2	—

Symbol in the Table: — = no requirement

Notes to the Table:

¹⁾ In buildings of class P1 with not more than 8 storeys, a part of the external surface of the external walls may be of class D-s2, d2, if the constructions surrounding such parts protect the wall surface from the spread of fire. Building materials of class D-s2, d2 may be used to a small extent for the fixing of façade boards in buildings of not more than 8 storeys.

²⁾ The use of building materials of class D-s2, d2 is permitted under the provisions of Clause 8.3.5.

Suècia

Propagació exterior:

En les *Building Regulations BBR BFS 2002* s'estableix el següent objectiu relatiu a la propagació per façana: en cas d'incendi, els acabats de façana no han de col·laborar en la propagació del foc i fum, ni produir desprendiment o degoteig d'elements. Es recomana que aquests materials siguin de baixa combustibilitat o que compleixin amb l'exigit per a classe de reacció al foc D- s2, d0 en determinats casos.

D'altra banda, s'estableixen condicions especials per als materials d'acabat de façanes d'edificis de Classe Br 1. Els edificis es classifiquen en tres grups de risc: Br1, Br2 i Br3, de major a menor risc per als usuaris del mateix. Es consideren Br1 els edificis de tres o més plantes, així com edificis de dues plantes destinats a ús residencial públic, gent que necessiti ajuda per a l'evacuació o amb ús pública concurrència en la planta superior.

Els tancaments exteriors que estiguin conformats únicament per materials de la classe A2- s1, d0 (no combustibles) o subdividits de tal forma que un incendi no pugui propagar-se per l'interior de la façana travessant elements que delimitin sectors (*fire compartments*), compleixen amb les exigències requerides quant a la limitació de la propagació de l'incendi per l'interior de la façana.

Els acabats de tancaments exteriors poden ser materials amb una reacció al foc almenys D- s2, d0 en els següents casos:

- L'edifici no té més de dues plantes.
- El material d'acabat, independentment de l'altura de l'edifici, cobreix únicament la planta baixa.
- S'adopten mesures especials (edifici protegit amb un sistema de ruixadors automàtics, volades per sobre de finestres i portes per evitar la propagació vertical, o limitar la superfície de façana amb un acabat de classe D-s2,d0.)

Comparació amb el DB-SI

Propagació exterior:

Amb caràcter general, les mesures establertes en el DB SI quant a la classe de reacció al foc d'acabats exteriors en façanes són molt més restrictives i rígides que les disposades en reglamentacions d'altres països.

La classe de reacció al foc requerida als acabats exteriors, hauria de dependre de paràmetres diferents a l'altura de façana i que poden incidir en el nivell de risc com:

- l'altura d'evacuació de l'edifici;
- si l'edifici està constituït per diversos sectors o és un únic sector;
- si l'edifici és exempt;
- l'accessibilitat de la façana al públic;
- el perfil d'ús de l'edifici;
- la protecció de l'edifici mitjançant instal·lacions d'extinció automàtica;
- la disposició dels buits de façana;
- l'existència de sortints en façana.

caldrà considerar la possibilitat d'introduir les següents modificacions:

1. Canviar la referència a la “altura de façana” per la de “altura d'evacuació”, terme definit a l'apartat de Terminologia del DBSI, que pot resultar més clar quan es presenten solucions de façana especials.

2. Replantegar si el límit de l'altura d'evacuació, per exigir una o una altra classe de reacció al foc, es manté en 18 m o si, per coherència amb la resta del document, s'estableix en funció de les altures d'evacuació ja fixades (14 m i 28 m).
3. Baixar el nivell de reacció al foc exigít amb caràcter general.
4. No limitar la classe de reacció al foc a edificis exempts que constitueixen un únic sector o no supera un nombre determinat de plantes, per exemple els habitatges unifamiliars.
5. Reconsiderar la classe de reacció al foc exigida quan a la façana escometen diversos sectors.
6. Diferenciar el nivell de prestació requerit a edificis de determinats usos de molta afluència de públic (comercial o pública concurrència) enfront de la resta d'edificis.
7. Permetre solucions menys restrictives si l'edifici compta amb un sistema d'extinció automàtic (ruixadors).

Propagació en cambres ventilades:

Segons l'exposat en la guia BR 135, l'altura que poden aconseguir les flames confinades a l'interior d'una càmera, és independent de la classe de reacció al foc dels materials utilitzats en el seu recobriments.

Considerant el tir que pot generar-se en les cambres de façanes de gran desenvolupament, tractar de limitar el risc de propagació vertical únicament mitjançant l'exigència d'una determinada classe de reacció al foc als materials de recobriments, pot resultar poc efectiu.

Es podria establir una limitació de la classe de reacció al foc menys restrictiva als materials utilitzats en les càmeres, compensant-se amb la introducció de mesures de compartimentació que disminueixin el tir i delimitin la grandària del possible incendi en la càmera.

5 Materials retardants de flama

Els retardants de flama son compostos líquids, sòlids o gasosos que tendeixen a inhibir la combustió quan s'apliquen, ja sigui barrejats, combinats o sobre el material combustible.

5.1 Formes d'actuació dels retardants

Efecte tèrmic:

Els retardants redueixen l'acumulació de calor per:

- 1) Augment de la conductivitat tèrmica per dissipar el calor de a combustió.
- 2) Augment de l'absorció tèrmica o mes ben dit, redueix la quantitat de calor disponible.
- 3) Ofereix aïllament tèrmic per disminuir el flux de calor cap al sostrat.

Efecte de recobriments:

Forma una capa aïllant sobre les fibres del material protegit, la qual actua excloent l'oxigen i inhibeix la fuga de gasos combustibles.

Efecte de dissolució de gasos:

Allibera gasos no inflamables, com el vapor d'aigua, amoníac i CO₂, que dilueixen els gasos combustibles.

Efecte químic:

Està associat a productes cel·lulòsics, com la fusta. Durant l'etapa de ignició, la combustió de les barreges gasoses inflamables formades durant el procés de piròlisis es fa visible a través de les flames. Els químics retardants intervenen en les reaccions de piròlisis, disminuint la temperatura de descomposició tèrmica, seguit directament per la formació d'una capa carbonitzada y d'aigua, en comptes de la formació de gasos inflamables.

Procés de combustió de materials sòlids

5.2 Tipus de retardants:

Existeixen diversos retardants que actuen de diferents formes. La seva acció es directa o com catalitzador, augmentant l'efecte d'altres retardants.

Retardants halògens.

Contenen àtoms de clor o brom, actuen remonent els radicals $H\cdot$ i $OH\cdot$ en la fase gasosa de la flama. Això disminueix la velocitat i inclús prevé el procés de cremat. Així es redueix la generació de calor i la producció de gasos inflamables.

Triòxid d'antimoni (Sb_2O_3).

Manca de propietats retardants pròpies, però és un efecte catalitzador en retardants halògens facilitant la seva descomposició química a molècules actives.

Retardants inorgànics.

Són el trihidrat de alumini, hidròxid de magnesi i compostos amb boro, borat de zinc, zinc i estany. Interfereixen en el cremat a través de processos físics com alliberar aigua o gasos no inflamables que dilueixen als que alimenten al foc, absorbeixen el calor de les reaccions que alliberen gas (refredament) i producció d'una capa no inflamable i resistent en la superfície del material.



Fig. 5.1. Esquema de la reacció d'un retardant inorgànic.

Font: Orelvis González (2009)

Retardants amb base de fòsfor.

Funcionen eficientment en la fase sòlida dels materials que es cremen. Al ser escalfat, el fòsfor reacciona donant lloc a una forma polimèrica al àcid fosfòric, formant una capa

crystal·lina que inhibeix el procés de piròlisis i alliberació de gasos inflamables, necessari per mantenir les flames. A causa d'aquest mecanisme es redueix significativament la quantitat de combustible ja que es forma més zona carbonitzada que gas combustible.

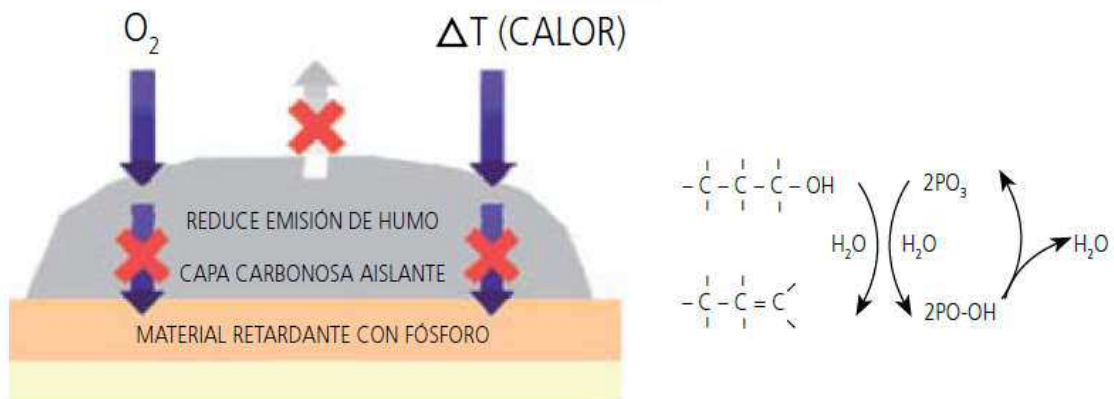


Fig. 5.2. Esquema d'acció d'un retardant amb base de fòsfor.

Font: Orelvis González (2009)

Recobriments intumescents.

S'utilitzen per protegir del foc materials com fusta i plàstic prevenint el cremat. També s'utilitzen per protegir l'acer i altres materials, prevenint o retardant el dany estructural durant l'incendi. Els recobriments es fabriquen d'una combinació de productes que s'apliquen en la superfície com una pintura. Es dissenyant per expandir-se fins a formar una capa aïllant i resistent al foc que cobreix el material exposat al calor. Aquest productes contenen alguns components essencials:

- Escumats: davant les altes temperatures alliberen grans quantitats de gasos no inflamables com nitrogen, amoníac, CO_2 .
- Adhesius: es fonen amb el calor, creant un líquid espès que atrapa el gas alliberat en bombolles i produeix una capa gruixuda d'espuma.
- Font d'àcid o compostos de carbono: durant l'escalfament, allibera àcid fosfòric, bòric o sulfúric, que crema els compostos de carbono, causant que la capa de bombolles que s'endureixen produint una barrera resistent al foc.

5.3 Mètodes d'aplicació

Canvi químic.

S'utilitza en plàstics i altres fibres sintètiques (espumes PIR/PUR i polietilens) amb una estructura que es modifica en els processos de fabricació per obtenir beneficis en les seves característiques de cremat.

Impregnació.

És la tècnica de tractament per materials absorbents. Els químics retardants es dilueixen, habitualment en aigua, i el material a tractar es submergeix en aquesta solució.

Impregnació sota pressió.

Utilitzat pel tractament de materials relativament densos i no absorbents, com la fusta. Aquest procés, realitzat en cambres del buit, reemplaça l'aire a l'interior de les cèl·lules de fusta per la solució retardant. Comparat amb la impregnació estàndard, aquest mètode aporta una penetració més profunda i una major retenció dels químics.

Pintures i vernissos.

Inhibeixen la propagació de flames, generant una superfície "no combustible". Son aplicades en materials de construcció no absorbent, que no poden ser tractats per altres mètodes.

6 Proves de materials en laboratori

La part pràctica del projecte s'ha basat en veure la reacció al foc de materials habituals en les façanes dels edificis d'habitatges. En una façana la part on podem trobar més materials inflamables, que afavoreixin en la reacció en cadena de la propagació del foc, és als balcons i finestres, per exemple, estenedors amb roba, mobiliari, tendals, etc... Els elements estudiats han sigut els tendals, les persianes, diferents tipus d'aïllants i els recobriments en fustes. El material utilitzat es pot trobar en els petits comerços de barri, ja que, s'ha considerat que els elements més habituals són els que un particular pot trobar a prop del propi habitatge, com és el cas dels recobriments utilitzats, es poden trobar en tendes de pintures. Els assajos s'han realitzat en el laboratori del foc de la EPSEB.

6.1 Assajos

En els assajos s'han utilitzat aquests aparells:

- **Atac de flama directe**, s'ha utilitzat com a flama directe a la proveta un encenedor Bunsen
 - Procediment: en un cub de material aïllant se li ha aplicat directament la flama del cremador per poder veure si combustiona i com reacciona envers la flama. Primer s'ha fet a l'exterior, en un ambient a temperatura ambient, després s'ha fet el mateix assaig posant la proveta dins una cabina a 80°, per poder veure la reacció del material en un ambient calent. En aquest últim la proveta s'ha posat en un suport amb reixa per poder veure si degoteixava, les gotes han caigut en un recipient amb cotó per comprova si aquest s'inflamava.
- **Aparell de radiació/degoteig** segons la UNE 23-725. S'utilitza per materials que es poden fondre quan se'ls hi aplica una font de calor constatat amb un radiador. Serveix per analitzar la facilitat d'inflamació de la proveta, la seva capacitat d'auto extinció i comprovar si degota. Consta d'una font de calor, el radiador⁽¹⁾, de la reixa de suport⁽²⁾ per posar les provetes i d'un recipient⁽³⁾ on cauen les gotes foses, se li posa un cotó per comprovar si inflamen o no.
 - Procediment: s'utilitzen mostres de 7cm per 7 cm, es col·loca sobre el suport a 3 cm la cara de la mostra del radiador. S'inicia el cronòmetre en el moment que es col·loca el radiador a sobre la mostra, es deixa que actuï fins que es

produeixi la ignició, al cap de 3 segons es retira el radiador i s'anota el temps d'ignició i el temps d'extinció, i es torna a col·locar repetint el procés fins als 5 minuts.

- Resultats: s'analitza el temps de la primera ignició, el numero d'ignicions, la duració mitjana de les flames i la pèrdua de pes amb aquesta formula:

$$\frac{\text{massa inicial} - \text{massa final}}{\text{massa inicial}} * 100$$

- **Cremador elèctric** segons la UNE 23-723. S'utilitza per teixits i per materials de menys de 5mm de gruix. La proveta es sotmet a una radiació calorífica i a una flama. Serveix per comprovar el temps que tarda a ignifugar, analitzar els fums, poder veure si degotaria o no i també per veure la velocitat que es propaga el foc pel teixit. Està format pel suport on es col·locarà la proveta en la reixa⁽⁴⁾ punxada en les pues que té, el radiador⁽⁵⁾, l'encenedor⁽⁶⁾, una placa situada a sobre la proveta⁽⁷⁾ i es col·loca un coto per veure si les gotes inflament⁽⁸⁾. En la cabina també hi ha un extractor de fums.
 - Procediment: en aquest assaig no s'ha seguit estrictament la UNE 23-723, ja que, es volia analitzar més visualment i el possible efecte devastador que no numèricament segons la norma. El procediment seguit ha sigut, a partir de posar la mostra dins la cabina, s'ha comptat 20 segons i se li ha aplicat la flama durant 5 segons, s'ha comprovat si inflamava o no, i s'ha tornat aplicar la flama als 45 segons, si no ha ignifugat, en el moment que s'inicia la flama en la proveta s'aparta l'encenedor.
 - Resultats: s'analitza la dificultat del teixit en mantenir la flama, si s'escampa la flama o s'apaga, com són els fums que desprèn, si degoteja o no i com són les gotes. Quan ja no s'encén més o ja no queda mostra es comprova com ha quedat el teixit

Encenedor Bunsen	Aparell de radiació/deboteig	Cremador elèctric
		

6.2 Materials utilitzats

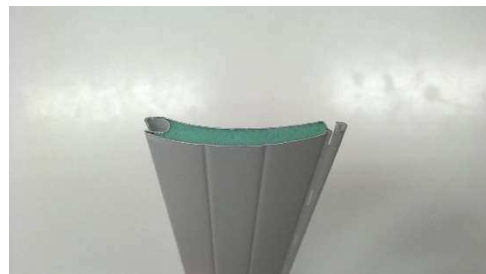
Per fer el assajos s'ha utilitzat:

- Tela de tendals: un teixit estàndard i un ignífug. El comerciant dels tendals va explicar que el teixit ignífug, originàriament, va fer-se per cobrir uns dipòsits que contenien gasos inflamables en una nau industrial.

Teixit estàndard	Teixit ignífug
------------------	----------------



- Un fragment d'una làmina de persiana alumini amb aïllant a l'interior. Segons el comerciant actualment ja no s'instal·la les persianes de PVC, les d'alumini són més lleugeres, més aïllants i més resistents al foc.



- Aïllants: poliestirè expandit amb retardant, poliestirè extruït, poliuretà, fibra de fusta i el poliestirè expandit, encara que aquest últim no es un aïllant s'ha volgut veure la diferencia de tractament del poliestirè expandit en la construcció i al que tothom coneix, normalment el trobem en caixes per resguardar el contingut.

Poliestirè expandit



Poliestirè amb retardant



Poliestirè extruït







Poliuretà



Fibra de fusta



També s'ha volgut comprovar quin efectes retardants tenen certes pintures o si no tenen. S'han fet quatre provetes de 7x7 cm, una proveta s'ha estudiat com a fusta, sense cap pintura, una amb una pintura intumescent, una altre amb vernís universal i per últim una altre amb pintura anticalòrica setinada. Aquestes són les provetes:

Proveta A	Proveta B	Proveta C	Proveta D
			
Sense cap recobriments	Pintura intumescent	Vernís universal	Pintura negra anticalòrica

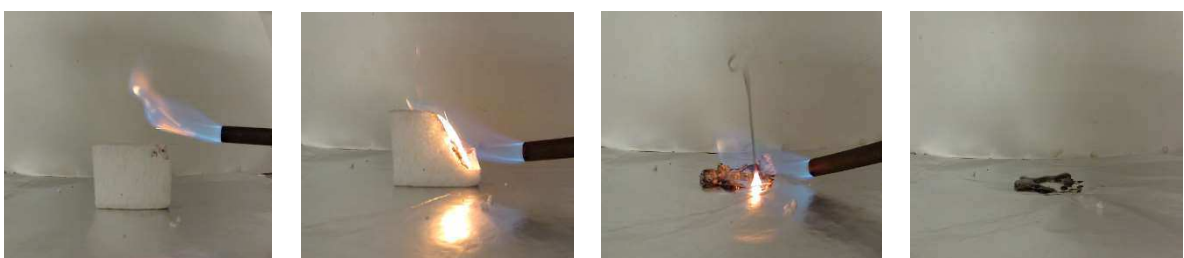
6.3 Resultats

1) Atac de flama directe:

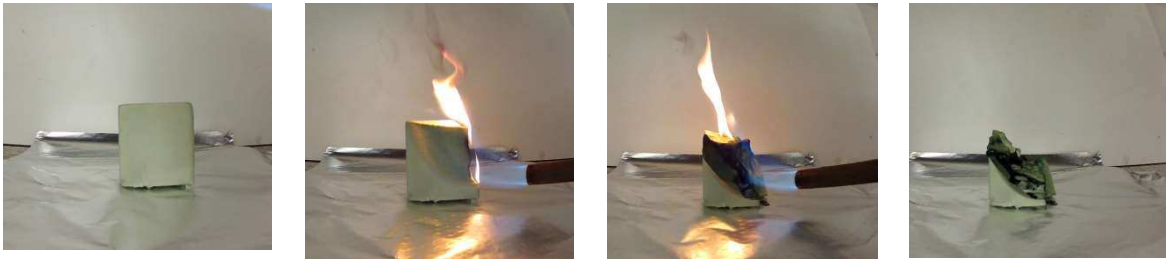
- Poliestirè expandit



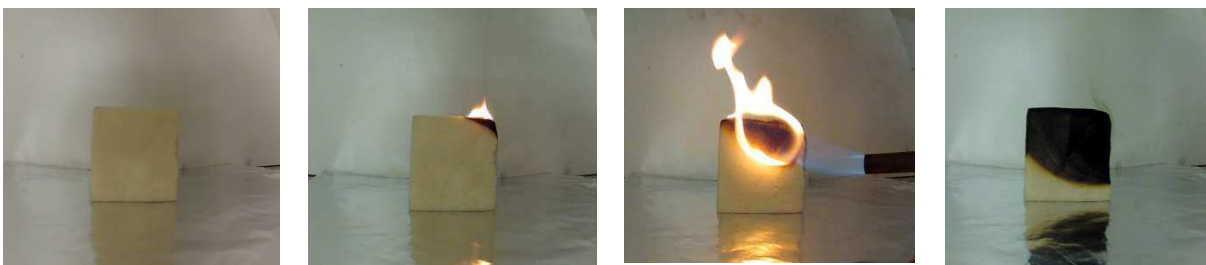
- Poliestirè expandit amb retardant



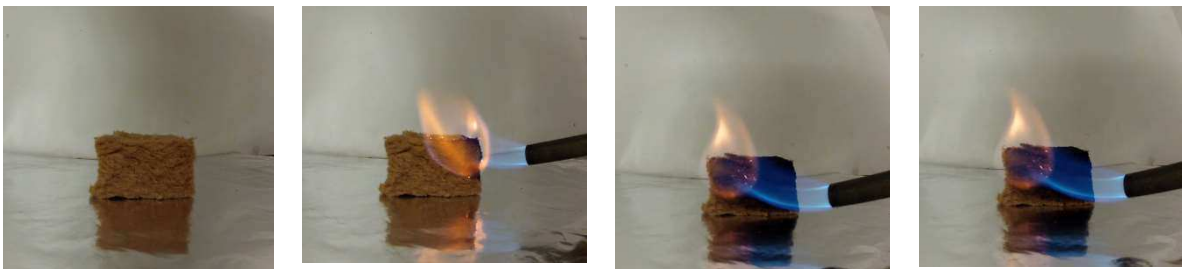
- Poliestirè extruït



- Poliuretà



- Fibra de fusta



Observacions:

En el poliestirè expandit podem observar com després d'aplicar la flama, es manté, i produeix molt fum negra, fins que el combustible s'esgota pràcticament del tot.

En aquest poliestirè expandit es nota l'efecte del retardant, quan la flama no el toca directament s'apaga, malgrat que si es manté l'atac de la flama aquest queda reduït al mínim, com es pot veure en la foto, igual que li passa al poliestirè extruït sense retardant. Els fums que treu son negres però en poca quantitat.

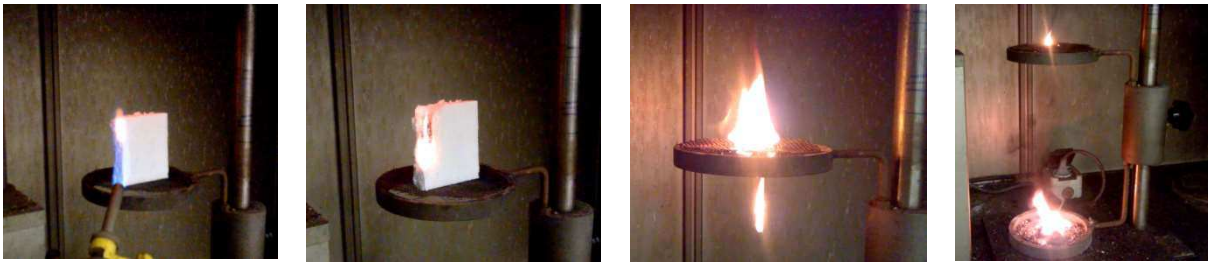
En el poliestirè extruït podem veure que també està tractat amb retardant, ja que, els efectes son els mateixos que el del poliestirè expandit amb retardant.

Quan s'aplica la flama directament al poliuretà crea una capa carbonitzada que fa l'efecte de protector del foc, aquest efecte ajuda en que per arribar a carbonitzar-se s'ha d'arribar a temperatures més elevades i més temps d'exposició a la flama.

La fibra de fusta crea una capa carbonitzada per l'efecte de la flama i aquest el protegeix provisionalment.

2) Atac de flama directe en ambient a 80° temperatura:

- Poliestirè expandit



- Poliestirè expandit amb retardant



- Poliestirè extruït



- Fibra de fusta



Observacions:

Fent el mateix assaig a dins de la cabina a 80° s'ha pogut comprovar el que s'esperava, que l'efecte de la flama s'accentués i el procés de combustió ha sigut més ràpid. El poliestirè expandit ha gotejat i ha inflammat el cotó. L'altre material que també ha inflammat el cotó ha sigut el poliestirè extruït.

3) Cremador elèctric

- Teixit estàndard



Observacions:

El que es veu en aquesta última imatge és el resultat de l'assaig. Des del moment que en el teixit apareix la primera flama, només passa un minut i ja ha carbonitzat tot el teixit. Durant el breu procés de combustió es veuen grans flamarades, un fum negre i molt dens, i bona part del teixit es desfà en moltes gotes incandescentes. Aquest fet ens demostra com el tendal té un gran efecte devastador i, en conseqüència, en la propagació del foc en façana.

- Teixit ignífugat**Observacions:**

Aquest teixit té la particularitat de quan se li aplica la flama es crea un forat i forma una capa protectora al voltant vitrificada. Aquest fet ajuda significativament en evitar la propagació del foc. Es comporta bé encara que de vegades pot caure alguna gota inflamada.

- Làmina de persiana d'alumini amb aïllant al interior



Observacions:

En aquest assaig es va canviar el procediment, van ser 20 minuts amb l'atac de la flama directe. Es va poder comprovar que l'exterior de la làmina només es va ennegrir i deformar una mica. En canvi a l'interior es va poder veure com l'aïllant havia quedat carbonitzat a causa de la conducció de l'escalfor, encara que, no es va propagar cap als extrems de la làmina, havien quedat intactes.

4) Assaig de radiador/degoteig

- Proveta A: Fusta sense recobriments

Proveta A	nº ignicions	t ₀ flama (s)	t _{max} flama (s)	t _{mitja} flama (s)	pèrdua de massa (%)
A.1	8	13	91	29,375	9,46
A.2	5	13	136	41,6	6,67

- Proveta B: pintura intumescent

Proveta B	nº ignicions	t ₀ flama (s)	t _{max} flama (s)	t _{mitja} flama (s)	pèrdua de massa (%)
B.1	0	-	0	0	11,18
B.2	0	-	Inferior a 3s	Inferior a 3s	12,56

En la proveta B.1 no s'ha produït cap ignició, en la proveta B.2 han sigut inferiors a 3 segons per tant no es considera una ignició al no ser una flama mantinguda. A partir dels 20 segons del assaig comença a treure fum i s'infla als 40 segons.

En aquesta imatge podem veure el resultat final de la proveta. La pintura intumescent s'ha inflat.



- Proveta C: vernís universal



Proveta C	nº ignicions	t ₀ flama (s)	t _{max} flama (s)	t _{mitja} flama (s)	pèrdua de massa (%)
C.1	6	4	210	73,8	8,88
C.2	3	9	192	90,33	5,11

S'ha pogut observar abans de la primera ignició com el vernís començava a fer bombolletes en tota la seva superfície.

- Proveta D: pintura anticalòrica

Proveta D	nº ignicions	t ₀ flama (s)	t _{max} flama (s)	t _{mitja} flama (s)	pèrdua de massa (%)
D.1	9	10	55	29,89	6,46
D.2	15	11	58	18,20	8,46

S'ha observat com es produïen bastantes ignicions de curta durada encara que quan es mantenia la flama possiblement era en zones amb poca pintura, com les cantonades.

Taula resum	Proveta A	Proveta B	Proveta C	Proveta D
Mitjana de totes les mostres	Sense cap recobriments	Pintura intumescent	Vernís universal	Pintura negra anticalòrica
Inici				
Resultat				
nº ignicions	6,50	0,00	4,50	12,00
t ₀ flama (s)	13,00	-	6,50	10,50
t _{max} flama (s)	113,50	0,00	201,00	56,50
t _{mitja} flama (s)	35,49	0,00	82,07	24,04
pèrdua de massa (%)	8,06	11,87	7,00	7,46

Observacions:

S'ha pogut comparar, segons els valors de la fusta sense recobriments, que hi ha recobriments que milloren el comportament i d'altres que empitjoren la reacció de la fusta envers l'escalfor del radiador.

El vernís afecta negativament a la fusta i augmenta la duració de la flama, es podria dir que no deixa que la fusta faci la capa de carbonatació. En el moment que el vernís s'ha cremat, la fusta ha arribat a la temperatura suficient per poder mantenir la flama i seguir cremant. Amb el vernís la primera ignició es produeix abans.

La pintura anticalòrica ajuda en la combustió de la fusta, encara que comenci a cremar abans del que ho faria la fusta, es produeixen més ignicions però de curta durada, enrederint el procés de combustió de la fusta.

La reacció de la pintura intumescent és la d'inflar-se per l'acció de l'escalfor del radiador, creant una capa de major gruix que protegeix més temps la fusta. La pèrdua de massa d'aquestes mostres possiblement és la de la pintura i no la de la fusta, ja que, la fusta no va cremar. La pintura intumescent és ideal per poder tancar petites espais, pels quals es propagaria el foc, per la propietat d'inflar-se amb l'escalfor.

Conclusions / recomanacions

S'ha pogut constatar que segons com estigui construïda la façana influeix en la propagació del foc, per exemple si es construeix un façana amb cambra ventilada la velocitat de propagació del foc augmenta, respecte les altres façanes estudiades. Això no vol dir que s'ha de deixar de construir façanes ventilades, ja que te grans qualitats aïllants, vol dir que s'ha de construir millor, fixant-se en els espais petits pels quals es cola el plomall del foc, es pot una utilitzar pintura intumescent (com s'ha fet en el assaig) que s'inflarà i evitarà el pas del foc. El mateix passa en els murs cortines.

Un altre aspecte a millorar són les normatives, no s'haurien de millorar després d'un incendi amb víctimes i un elevat cost econòmic, si no que han d'anar un pas per davant de l'incendi. Una solució seria fer més estudis a escala real de la propagació d'incendis i no parar d'investigar en la recerca de materials resistents al foc o la manera de millorar els existents. Una altre solució respecte a la millora de la normativa seria crear una institució, separada del govern, encarregada de la revisió constatat i de l'estudi dels incendis i la propagació, com de l'evacuació de les víctimes i de l'extinció del foc, d'aquesta manera s'unirien i treballarien junts constructors i equips de rescats.

La meva recomanació es centraria en la universitat, en el pla d'estudis es podria incloure una assignatura per poder profunditzar en la dinàmica del foc, la propagació d'incendis, mètodes d'extinció, la reacció dels materials al foc, etc, d'aquesta manera l'alumnat prendria consciència de la perillositat del foc, en conseqüència podran millorar els mètodes de construcció per minimitzar els danys i intentar arribar a que no es propagui el foc.

Bibliografia

Buchanan (2001) A. H. Buchanan, *Structural Design for Fire Safety*, John Wiley & Sons, 2001.

C. Wade, *Fire performance of external wall claddings under a performance-based building code*. *Fire and Materials*, vol. 19, (1995)

Colwell – Martin (2003) S. Collwell, B. Martin, *Fire performance of external thermal insulation for walls of multi-storey buildings*, Building Research Establishment BRE, London, 2003.

Drysdale (1998) D. D. Drysdale, *An Introduction to Fire Dynamics*, Second edition, John Wiley & Sons, New York, 1998.

Ee H. Yii et al. (2007) Ee. H. Yii, C. M. Fleischmann, A. H. Buchanan, *Vent Flows in Fire Compartments with Large Openings*. *Journal of Fire Protection Engineering*, vol. 17, no. 3, pp.211-237, August 2007.

Giraldo Forero M. (2012), *Evaluación del comportamiento del fuego y protección contra incendios en diversas tipologías de fachadas*. Tesis Doctoral, 2012.

Hakkarainen i Oksanen. *Fire Safety Assessment of Wooden Facades*. *Fire and Materials*, 2002.

Grup de Recerca sobre Investigació d'Incendis i Explosions (2010), *La investigació d'incendis i explosions*, Índice, Barcelona, 2010.

Law – O'Brien (1981) M. Law, T. O'Brien, *Fire Safety of Bare External Structural steel*, Croydon, England, 1981.

Nyuk Poh Bong (1969) F. Nyuk Poh Bong, *Fire spread on exterior wall*, University of

Canterbury, Fire Engineering Research Report, 2000.

Oleszkiewicz (1990) I. Oleszkiewicz, *Fire Exposure to exterior Walls and Flame Spread on Combustible Cladding*, Fire Technology, Vol. 26, nº 4. pp.357-375. 1990.

Orelvis González (2009) “*Los retardantes del fuego*”, BIT 66, mayo 2009.

Patterson (1993) J. Patterson, *Simplified Design for Building Fire Safety*, Iowa State University, John Wiley&Sons, Inc. New York. 1993.

Pons i Grau, V. (2003), *Dinámica del fuego: Origen y causa de los incendios*. Edicions del Bullent, 2003.

Yokoi (1960) S. Yokoi, *Study on the Prevention of fire spread caused by hot upward current*, Building Research Institute, Report Nº 34, Tokyo, Japan, 1960.

Pàgines web:

www.bombersvoluntaris.com

www.cfbt-us.com

www.encyclopedia.cat

Normatives:

Espanya:

Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico de seguridad en caso de incendios (SI).

UNE EN 1363: Ensayos de resistencia al fuego. Parte 1: Requisitos generales.

UNE 23 723 90: Ensayos de reaccion al fuego de los materiales de construcción, ensayo del quemador electrico aplicable a los materiales flexibles de un espesor inferior o igual a 5mm.

UNE 23 725 90: Ensayos de reaccion al fuego de los materiales de construcción, ensayo de goteo aplicable a los materiales fusibles.

Estats Units:

National Fire Protection Association. Norma 101 Live Safety Code. MA, EEUU, 2003 edition.

Nova Zelanda:

Compliance Document for New Zealand Building Code 2000. Amended 2005

Regne Unit:

The Building Regulations 2000.

BS 7974:2001 *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings.*

França:

Règlement de sécurité contre els risques d'incendii et de panique dans els établissements recevant du public (2015)

Finlàndia:

National Building Code finlandès (2002)

Suècia:

Building Regulations BBR BFS (2002)

Agraïments

Principalment m'agradaria agrair a la meva tutora del projecte l'Ana Maria Lacasta per la seva professionalitat, la seva paciència i per saber-me orientar en tot moment per aconseguir un treball del que em senti orgullós.

També agrair a totes la meva gent que m'han estat animant en tot moment, a la meva parella per aguantar-me i en especial a la meva mare per la seva paciència amb mi, que ha estat al meu costat donant-me suport i un cafè sempre que m'ha fet falta.

Annex

Taules dels assajos de radiació/deboteig de cada proveta

Proveta A.1				
Ignició (s)	Extinció (s)	Duració de la flama (s)	Pes inicial (g)	Pes final (g)
13	15	2	37,01	33,51
17	52	35		
60	91	31		
98	120	22		
126	217	91		
226	273	47		
281	286	5		
288	290	2		

Proveta A.2				
Ignició (s)	Extinció (s)	Duració de la flama (s)	Pes inicial (g)	Pes final (g)
13	17	4	44,55	41,58
21	29	8		
36	49	13		
120	167	47		
175	311	136		

Proveta B.1				
Ignició (s)	Extinció (s)	Duració de la flama (s)	Pes inicial (g)	Pes final (g)
-	-	0	46,05	40,9

Proveta B.2				
Ignició (s)	Extinció (s)	Duració de la flama (s)	Pes inicial (g)	Pes final (g)
-	-	inferior a 3 s	41,25	36,07

Proveta C.1				
Ignició (s)	Extinció (s)	Duració de la flama (s)	Pes inicial (g)	Pes final (g)
4	19	15	42,9	39,09
24	33	9		
37	45	8		

50	260	210
274	401	127

Proveta C.2				
Ignició (s)	Extinció (s)	Duració de la flama (s)	Pes inicial (g)	Pes final (g)
9	34	25	35,39	33,58
40	94	54		
100	292	192		

Proveta D.1				
Ignició (s)	Extinció (s)	Duració de la flama (s)	Pes inicial (g)	Pes final (g)
10	11	1	37,93	35,48
13	17	4		
20	40	20		
46	70	24		
75	127	52		
134	155	21		
160	208	48		
213	257	44		
263	318	55		

Proveta D.2				
Ignició (s)	Extinció (s)	Duració de la flama (s)	Pes inicial (g)	Pes final (g)
11	34	23	38,64	35,37
16	18	2		
23	37	14		
43	101	58		
108	142	34		
147	150	3		
153	158	5		
162	185	23		
190	193	3		
196	238	42		
241	249	8		

252	257	5
260	264	4
267	272	5
275	319	44



Escola Politècnica Superior
d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Sciences and Technologies of Building

Dissertation

Analysis of materials influence of facade in the external propagation of fires

Planner: Manel Caballero Nadal
Director: Ana Maria Lacasta Palacio
Convocation: Febrer 2016

Abstract

In this final work of degree has wanted to deepen in the knowledges of the fire, his propagation in facades and the rule in question, later put it practises doing essays to the laboratory of the fire of the EPSEB.

It consists of five parts, the four first theoretical dream and the last is the practical part related with the previous. The first part treats on the fire, as it originates, as it can extinguish and how can turn into a fire. Also it speaks of which are the factors that contribute to the propagation of a fire in edification.

The following part deepens in how the roads of propagation of the fire in facade are and what are the appearances that will affect in the variations of each one.

The central part analyses the rule of Spain (CTE) in security against fires, especially the protection in façades. Also it treats the rule of U.S., United Kingdom, New Zealand, France, Finland, Sweden, and finishes doing a comparison with the Spaniard.

The penultimate part explains the retardants materials, on what dream the forms of performance of the retardants, which types there is and the methods of application.

To finish, the last part is the one who treats on the essays that have done to the laboratory of the fire of our university. First they have analysed the most common materials in façade that contribute to the propagation how is the awnings, the thermal insulators and the blinds. Afterwards they have done test with wood, has applied them to him different treatments with paintings, and has seen if had or no retardant effect and as it was this, as it is the varnish, the painting intumescent and the painting anticaloric.

INDEX

1	Introduction	5
2	Fire and its spread in building	7
2.1	Fire	7
2.1.1	Brief history of fire	7
2.1.2	Combustion.....	9
2.1.2	The tetrahedron of fire	9
2.1.3	Extinction methods	9
2.2	Fire dynamics.....	10
2.2.1	Fire load.....	10
2.2.2	Heat Release Rate HRR.....	10
2.2.3	Phases of the conflagration.....	10
2.2.4	The flashover	11
3	Typology, design and development of the spread of conflagration in facades:	13
3.1	Ways of spreading:	13
3.1.1	Propagation through the windows. <i>Leap frog effect</i>	13
3.1.2	Propagation through the cavities of the building between the floor and the façade.	14
3.1.3	Propagation through the ventilated chamber:.....	14
3.1.4	Propagation through combustible cladding:.....	14
3.2	Influencing aspects in the spread of fire in facades:.....	15
3.2.1	Geometric configuration of the facades:	15
3.2.2	The chimney effect:.....	15
4	Flame retardant materials	17
4.1	Behaviour of the retardants:.....	17
4.2	Type of retardants:	17
4.3	Methods of application:	18

Conclusions / recommendations.....21

1 Introduction

The fires always summary in the people that has earned and in the economic loss that has been. In edification the majority of fires have these in all the building by the façade, turning into the feeblest zone to the fire. The construction has evolved and, without knowing it, have done building with some façades that help to the propagation of the fire, as for example the walls curtain, the ventilated façades, that do of chimney and transport the fire to the upper plants. Over time they have corrected errors that have done to retard the propagation of the fire, but unfortunately always have been after a big fire, the same raisin with the rules against fires, modify to consequence of the fires that have caused big human and economic losses. Still it remains a long way to study the way to avoid the start of a fire, since, the human factor unpredictable, however the way to build has to follow advancing until avoiding the propagation of the fire and reduce the damages.

In this work has wanted to analyse the roads of propagation of the fire in façade and the effects of the retardants in the laboratory, to improve the knowledges on the fire edification, like this, in a future, can build better valuing reduce to zero the propagation of the fire or minimise the damages of the fire without that propagate.

2 Fire and its spread in building

2.1 Fire

Fire has always been considered a wanted and controlled fact; an irreversible reaction of combustion which detaches warmth and light, and the conflagration is a fire neither wanted nor controllable, whatever the size.

Even so, we must be clear as it is two different concepts. Fire is a “process”, that is, a temporary, organized sequence of facts, in a sense where every phase of the sequence takes part in the determination of the next phase.

All in all we can determine that in the fire reaction there is control or order in its phases. Conflagration is a “phenomenon”, a perceptible fact or chain of notions. In other words, it is a group of accidents without a structured order.

2.1.1 Brief history of fire

The human being has known fire since the beginning of its history and has been present in all ages of mankind. It appeared as a phenomenon of nature in a sporadic way. The first primitive concern was to keep the fire alive by adding materials like those that burned. The second was to extinguish the fire that spread; they realized that on rainy days fire was put out, and this made them use water as a means of fighting the fire. Since then, water is the fire extinguisher most known and used. It is not known when humans learned to produce and cause fire, rubbing two dry and rough materials together, near the leaves of trees and grasses.

Egyptians mastered the technique of fire to perfection. They used it when creating and working with metals, as well as balms and perfumes. It is believed that there were laboratories in Egyptian temples where priests used the fire to delve into the knowledge of black magic (known later on as the embryo of alchemy).

In all primitive religions they used fire for sacrifices. Fire is one of the most controversial symbols used in all religions; a symbol of purity and lighting, as well as an unbearable torture: the fire of hell.

The ancient Greeks believed that all matter was burning inside because fire was one of four elements present in nature apart from water, air and earth.

In the wars fire has been used in different ways. An example is the war against the Greeks in the Egyptian port of Alexandria. The Greeks used a flammable tar and less dense than sea water and poured this in the port. It was left floating on the water and surrounding vessels. Then they threw flaming arrows into the sea and left Egyptian boats trapped in circled by fire without escape. This is known as Greek fire.

Due to the destructive effect of fire from antiquity men have created organizations to combat unwanted fires: firefighters. There is certainty that on the third century BC, the first suction pump to fight the fire was created. In the city of Pompeii the existence of water pipes that were used to extinguish fires was discovered.

The goblin fire was a natural phenomenon that startled the primitive beings. It is a fire with a dim light, blue and beautiful coming out of the stagnant water, such as swamps and wetlands, and in cemeteries during windless and calm nights. When organic matter decomposes in stagnant water and produces methane that rises to the surface of the water, in some cases, becomes inflamed.

Alchemists showed great interest in knowing and mastering the fire. Fire was for them especially the technique of purifying transformation. For alchemists, combustion was merely a normal process by which the whole substance when inflamed it decomposes into the elements that formed, an idea that retook the concept of the four classical Greek elements.

Fires are more common due to the industrialization of the cities. In 1655, the first hand pump to fight fires and the hose made of interwoven fibres were built. In the middle of the seventeenth century began the construction of the first machines to fight the fire. They were impermeable water hand pumps with a tank. In the late 18th century began to be used hand pumps with double injection, and the late nineteenth century, the first steam pumps.

During the World Wars new products to extinguish fire started to be discovered: chemical dust, CO₂, halogen, etc., as a result of the things they had seen during the chemical war.

2.1.2 Combustion

Currently, the combustion process is defined as an irreversible oxide-reduction reaction between a combustible and an oxidant, which follows always an exothermic heat reaction and sometimes light.

1.1.2 The tetrahedron of fire

Fire is just a manifestation of light and heat in an irreversible process of oxide-reduction, combustion. Fire is the result of combustion, however, not all combustion gives off heat. The heat given off by combustion is more complete when there is less quantity of flame, and viceversa: the more quantity of flame, the less complete.

To have combustion three factors are necessary: combustible (burning substance), an oxidant (the substance that burns combustible) and a heat source capable of achieving ignition temperature of the combustible. This is known as the fire triangle. If you can control one of the three elements we would not be talking about conflagration. This would be equivalent to a fire situation but not a conflagration. For many years it was believed that the only necessary thing was the triangle of fire but there were phenomena that could not be explained on the basis of this theory. It's then when there is a new element: the chain reaction. Therefore, the fire triangle is used to represent a type of combustion glow without flame and combustion flame represents tetrahedron that can produce conflagration.

2.1.3 Extinction methods

Whatever process that eliminates one of the four factors will stop the fire. There are mainly four techniques of extinction, one for each circumstance triggering the conflagration:

- Blushing: when prevents the oxidant is in contact with the combustible.
- Refrigeration and cooling: reduce or eliminate the source of heat.
- Inhibition or breakup of the chain reaction: it consists of preventing the transmission of heat from other particles in the combustible, interposing catalysts between them.
- Dilution or not alimentation: the withdrawal or removal of the combustible element.

2.2 Fire dynamics

2.2.1 Fire load

The concept of fire load or combustible loads in a building refers to the latent energy available in case of conflagration. It is defined as the addition of heat energies that release during the burning of all combustible materials in an existing space.

2.2.2 Heat Release Rate HRR

The Heat Release Rate refers to how the heat load is released. The curve of HRR represents the thermal energy released in the combustion process depending on the weather. This is probably the most important parameter to describe the characteristics of the combustion of solid materials. Most of the fire variables are related to this factor producing smoke, temperature, speed of combustion, toxic gases, oxygen level present mass loss, etc. At the same time, HRR depends on factors such as the amount of combustible, oxygen available, the measures and limits the thermal properties of the enclosure.

2.2.3 Phases of the conflagration

The spread of fire has five distinct phases: ignition, development, sudden generalized combustion (flashover), full development and decline.

- 1) Ignition phase: period in which the fire started. It becomes necessary that the reactive oxidant and combustible are in favourable conditions that occur in the reaction.
- 2) Development phase: this is basically the development of ignition in which the initial growth of fire is a primary function of self-combustible.
- 3) Full development: during this phase, the fire is in all its glory. Prior to the full development of the fire combustion phenomena can occur widespread as flashover, we will see later, making the maximum development achieved quickly.
- 4) Decline: When you get on base disappearing the amount of combustible available.

2.2.4 The flashover

It is defined as the moment when the fire is centred on the origin of the conflagration. It is suddenly generalized all combustible elements present in the enclosure. If the enclosure is at 600°C, the flow of heat due to ground radiation is around 20kW / m² or fire coming through the windows, these are all usually defined as characteristic symbols of a flashover.

Factors in the spread of the conflagration:

Conflagration is a process where many different physical and chemical phenomena of great complexity are involved. For a long time it was believed that it was mainly defined by the amount of combustible present in the fire, as a sole factor. Later, in further research, they verified that there are different factors that influence the process of conflagration, without there being any with more importance than the other. These are some of the issues that affect more significantly the development of the conflagration:

- Weather conditions.

The sense and direction of the wind shifts the initial vertical trajectory of the fire in one direction or another, and the atmospheric pressure of the day will favour or not the vertical ascent of the flame. The wind contributes to a fast spread and even to the formation of new secondary fire that will move small incandescent particles to other places.

- The combustible contained in the enclosure.

Amount, location, distribution, orientation and surface area exposed to the fire, also called as a free material area.

The combustible material in the enclosure is an important factor, not an absolute indicator. The geometry and configuration of the combustible material is one condition. Two identical buildings would burn in different speeds if one contains wood and the other metallic pieces. An experiment that can be done is to burn a book, which will burn more easily if the pages are open than one which are closed. This explains the concept of free surface or material surface exposed to air, i.e., the net quantity of material in contact with the oxidant.

- The factor of ventilation.

It is very important because it is the environment that comes from the oxygen necessary for the development of the fire.

- The geometry of the enclosure.

The size, shape and height of the enclosure are important parameters in the development of fire. The faster you can play the flame of fire in the roof of the enclosure, the faster the fire will develop.

- The characteristics of the materials around the site.

The perimeter of the site consists of walls, wrought pavement. The materials that compose them can significantly influence the increase in temperature of the hot gases during the growth of the fire.

- The power and location of the ignition source.

The location of the ignition source with respect to the enclosure walls and window openings can be a crucial point in the spread of fire. This would take part to the chain reaction.

1.3 Direction of the fire

When the maximum stage of development of the fire is reached, the process of fire spread begins. The fire spreads through the action of these last mechanisms:

- Driving: involves the transfer of heat between two bodies by direct contact or through a conducting medium.

- Convection: heat transfer is due to the movement of the masses of hot liquids or gases. When gases are heated they expand easier and they are lighter, then they rise and cold air occupies the place left by hot air. This mechanism takes importance in the vertical spread of fire in buildings. For this reason, the conflagration mostly propagates by staircases, stairs, elevators, air conducts, and facades.

- Radiation: Radiation heat transfer does not require any material medium as a vehicle. All materials have the ability to radiate heat energy in the form of electromagnetic waves, these waves can be absorbed by another body and manifests itself as heat.

Due to the geometry of the enclosure there are routes that facilitate the movement of heat and smoke, such as: doors and windows, ventilation conducts, cavities between building elements, staircases, hidden spaces above ceilings, etc. We can consider three general categories of fire spread from the area that originated the fire:

1. Spread to another site of the same floor (horizontal spread).
2. Spread to the upper floors of the building (vertical spread).
3. Spread to an adjacent building.

3 Typology, design and development of the spread of conflagration in facades:

The fire spread through the facades is one of the fastest ways to spread fire building. This can result in considerable damage to the front of the building and provide a potential route of spread to the upper floors.

There are three situations which may arise from the spread in facades:

- Fire coming from outside the building through the embers burning, either by fire or a neighboring wooded area in flames.
- Fire due to a cream element in front of the facade (garbage container, furniture, etc).
- Fire originated in an area of the building and spread outward through the windows. This is the most dangerous situation that statistically occurs more regularly.

The fire spread in facades can develop four different ways, or two or more simultaneous developments:

- 1- Propagation through the windows (leap frog effect).
- 2- Propagation through the cavities of the encounter between the floor and the facade.
- 3- Spread through the ventilated chamber
- 4- Propagation through combustible cladding

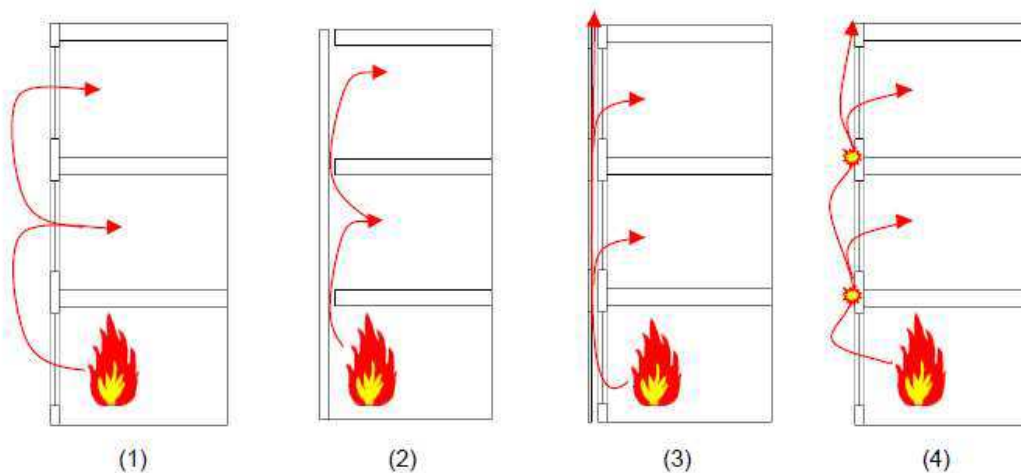


Fig. 4.18 Esquema de las vías de propagación del fuego a través de la fachada.

3.1 Ways of spreading:

3.1.1 Propagation through the windows. *Leap frog effect.*

Propagation through the windows is regarded as the major mechanism of propagation of dangerous buildings with several floors.

We can encounter the same situation even if facings are made from combustible materials such as brick or concrete. The effect is the ability to leap frog the fire to spread and sequential ascending them through windows of the building. This is due to the breaking of glass windows due to the intense flow of flame and smoke, creating a second source of fire and probably will continue to rise. Most of the objects that are in front will serve as a bridge by fire. This risk can be minimized through elements of passive protection.

3.1.2 Propagation through the cavities of the building between the floor and the façade.

Such spreading occurs in light facades coated glass, better known as curtain walls. Usually because the constructive solution to prevent the spread of fire through the cavity of the encounter between the floor and the facade has not been properly resolved, so the fire can penetrate through this cavity to the upper floors.

3.1.3 Propagation through the ventilated chamber:

The cause of this type of propagation is the lack of compartmentalization able to prevent the spread of fire, and most of the materials used as coatings have certain combustibility. It is the fastest way of spreading the four exposed here. This type of facade is characterized by wet-thermic advantages provided by the natural flow of air flowing through the chamber thanks to the chimney effect. However, in a conflagration, this fireplace mechanism becomes a factor that promotes the spread of fire.

3.1.4 Propagation through combustible cladding:

Combustible cladding can lead to a situation of rapid fire and intense radiation capable of emitting very high. Chemical and thermal properties of materials are important, some combustible materials may generate toxic fumes, detach parts of incandescent material or drops during the degradation process.

The heat transmitted by the plume of fire overheats the surface of the facade, accelerating the process of pyrolysis and the speed of propagation of the flame heat transfer is much more effective because of the high speed transfer of heat HRR occurring by combustion of a

material with a high calorific value. When this situation occurs there can be a great danger for rescue teams and fire.

3.2 Influencing aspects in the spread of fire in facades:

3.2.1 Geometric configuration of the facades:

In the design of the façade there are several studies that form the basis. These are based on three main aspects:

- The vertical elements (strips)
- The outgoing horizontal elements (eaves and balconies)
- The geometric configuration of windows

3.2.2 The chimney effect:

It is the natural upward movement of air through the building, which takes place due to the temperature difference between the air and density of the interior and exterior of a building. In a conflagration situation what happens is that since the temperature difference is greater, this causes upward movement. This effect is important in the spread of fire in facades because this potentiates the vertical spread through the ventilated chambers or spaces between the double skin facades.

4 Flame retardant materials

The flame retardants are liquid, solid, or gaseous compounds which tend to inhibit combustion when applied to the combustible material, either mixed or combined.

4.1 Behaviour of the retardants:

Thermal effect:

Retardants reduce the accumulation of heat by:

- 1) Increase of the thermal conductivity to dissipate the heat of combustion.
- 2) Increase of the heat absorption, or rather, the reduction of the quantity of available heat.
- 3) Provides thermal isolation to diminish the heat flow to the ceilings.

Coating effect:

This creates an isolation layer on the fibres of copyrighted material, which acts excluding oxygen and inhibits the escape of combustible gases.

Dissolved gases effect:

This releases non-flammable gases such as water steam, ammoniac, CO₂, which dilutes the combustible gases.

Chemical effect:

This is associated with the cellulosic products such as wood. During the ignition stage, the combustion of flammable mixed gases formed during the pyrolysis process is visible through the flames.

The chemical retardants get involved in pyrolysis reactions, reducing the temperature of the thermal decomposition, followed directly by the formation of a carbonized layer and water, instead of the formation of flammable gases.

4.2 Type of retardants:

They exist several retardants that act of different forms. His action direct or like catalyst, increasing the effect other retardants.

Retardants halogens.

They contain atoms of chlorine or bromine, act stirring up the radicals H^+ and OH^- in the gaseous phase of the flame. This diminishes the speed and even warns the process of burned. Like this it reduces the generation of heat and the production of flammable gases.

Trioxide of antimony (Sb_2O_3).

Lack of properties retardants own, but is an effect catalyst in retardants halogens facilitating his breaking down chemical to active molecules.

Retardants inorganic.

They are the trihidrato of aluminium, hydroxide of magnesium and composed with boron, borate of zinc, zinc and lake. They interfere me it burned to fetters of physical processes like freeing water or gases no flammable that dilute to which feed to the fire, absorb the heat of the reactions that free gas (cooling) and production of a no flammable layer and resistant in the surface of the material.

Retardants with base of phosphorus.

They work efficiently in the phase been used to of the materials that burn. When being heated, the phosphorus reacts giving place to a polymeric form to the phosphoric acid, forming a crystalline layer that inhibits the process of pyrolysis and the liberation of flammable gases, necessary to keep the flames. Because of this mechanism reduces significantly the quantity of combustible put that it forms more charred zone that gas combustible.

Coatings intumescences.

They use to protect of the material fire like wood and plastic warning the burned. Also they use to protect the steel and other materials, warning or delaying the structural damage during the fire. The coatings manufacture of a combination of products that apply in the surface like a painting. Designing to expand until forming an insulating and resistant layer to the fire that covers the exposed material to the heat. These products contain some essential components:

- Sparkling: in front of the high temperatures free big quantities of gases no flammable like nitrogen, ammonia, CO_2 .
- Adhesive: they melt with the heat, creating a dense liquid that traps the gas freed in bubbles and produces a thick layer of foam.
- Source of acid or composed of carbon: during the warming, frees phosphoric sour, boric or sulphurous, that burns the compounds of carbon, causing that the layer of bubbles that toughen producing a resistant barrier to the fire.

4.3 Methods of application:

Chemical Change.

It uses in plastics and other synthetic fibres (foams PIR/PURE and polythene) with a structure that modifies in the processes of manufacture to obtain profits in his characteristics of burned.

Impregnation.

It is the technician of treatment by absorbent materials. Chemist retardants dilute, usually in water, and the material to treat submerged in this solution.

Impregnation under pressure.

Used by the treatment of materials relatively dense and no absorbent, like the wood. This process, realised in cameras of the empty, replaces the air in the interior of the wooden cells by the solution retardant. Compared with the impregnation standard, this method contributes a penetration but deep and a greater retention of the chemists.

Paintings and glaze.

They inhibit the propagation of flames, generating a surface "No combustible". They are applied in materials of construction no absorbent, that cannot be treated by other methods.

Conclusions / recommendations

It has been able to ascertain that as it was built the façade influences in the propagation of the fire, for example if it builds a façade with camera ventilated the speed of propagation of the fire increases, respect the others façades studied. This does not want to say that it has to leave to build ventilated façades, since big tea insulating qualities, wants to say that it has to build better, fixing in the small spaces by which the plume of the fire enter, can one use painting intumescent (how has done in the essay) that will inflate and will avoid the step of the fire. The same raisin in the walls curtains.

Another appearance to improve are the rules, would not have to improve after a fire with victims and a high economic cost, if no that they have to go a go through in front of the fire. A solution would be to do more to scale real studies of the propagation of fires and not stopping to investigate in the investigation of resistant materials to the fire or the way to improve the existent. One another solution with regard to the improvement of the normative would be to create an institution, separated of the government, attendant of the review stated and of the study of the fires and the propagation, as of the evacuation of the victims and of the extinction of the fire, in this way would join and would work together constructors and teams of rescues.

My recommendation would centre in the university, in the plan of studies could include a subject to be able to deepen in the dynamics of the fire, the propagation of fires, methods of extinction, the reaction of the materials to the fire, etc., in this way the student body would take consciousness of the dangerousness of the fire, in consequence will be able to improve the methods of construction to minimise the damages and try arrive to that it do not propagate the fire.