



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Química

Estudi per a la proposta d'una corba d'incendi per a projectes de disseny prestacional en aparcaments.



Memòria i Annexos

Autor: Ismael Shihadeh Pastor
Director: Eulàlia Planas Cuchi
Convocatòria: Juny 2020

Resum

En aquest treball de fi de grau s'ha dut a terme un estudi d'una corba d'incendi per a projectes de disseny prestacional en aparcaments tancats amb l'objectiu de trobar una corba que ens proporcioni una eina fiable a la validació de dissenys de ventiladors i de protecció contra incendis amb disseny prestacional a través de simulacions CFD.

L'estudi s'ha desenvolupat en dos apartats:

a. Estudi bibliogràfic i presentacions de les corbes proposades

En aquest apartat s'ha dut a terme una recerca bibliogràfica i s'han proposat 5 corbes: tres corbes experimentals i dues corbes teòriques, i s'han presentat dues simplificacions de cada corba experimental basant-nos en dos punts de vista diferents:

- Presa de dades en intervals de dos minuts.
- Màxims i mínims locals.

b. Estudi de les corbes proposades

En aquest apartat s'ha fet una comparació entre les cinc corbes proposades basant-nos en valors extrems de les mateixes corbes proposades a l'apartat anterior.

Paraules clau: Simulació CFD, validació de PCI, disseny prestacional.

Resumen

En este trabajo final de grado se ha llevado a cabo un estudio de una curva de incendio para proyectos de diseño prestacional en aparcamientos cerrados con el objetivo de encontrar que nos proporcione una herramienta fiable a la validación de diseños de ventiladores y de protección contra incendios con diseño prestacional a través de simulaciones CFD.

El estudio se ha desarrollado en dos apartados:

- a. Estudio bibliográfico y presentaciones de las curvas propuestas

En este apartado se ha llevado a cabo una búsqueda bibliográfica y se han propuesto 5 curvas: tres experimentales y dos teóricas, y se han presentado dos simplificaciones de cada curva experimental basándonos en dos puntos de vista diferentes:

- Recopilación de datos en intervalos de dos minutos.
- Máximos y mínimos locales.

- b. Estudio de las curvas propuestas

En este apartado se ha hecho una comparación entre las cinco curvas propuestas basándonos en valores extraídos de las mismas curvas propuestas en el apartado anterior.

Palabras clave: Simulación CFD, validación de PCI, diseño prestacional.

Abstract

In this degree final project, a study of a fire curve for performance based (PBD) design in enclosed car parks projects with the objective of finding one curve which provides a reliable tool for the validation of fan designs and fire protection measures with PBD by CFD simulations.

The study has been developed in two sections:

- a. Bibliographic research and proposed curves presentation

In this section has been carried out a bibliographic research and five curves have been proposed: three experimental and two theoretical, and two simplifications of experimental curves have been presented based on two different points of view:

- Data collection at two minute intervals.
- Local maximum and minimums.

- b. Study of the proposed curves

In this section, a comparison has been made between the five curves proposed based on values extracted from the same curves proposed in the previous section.

Keywords: CFD simulation, fire protection measures validation, PBD.

Agraïments

Voldria agrair la col·laboració de moltes persones en la realització d'aquest projecte.

En primer lloc, a la meva tutora del treball de final de grau, Eulàlia Planas Cuchi per la seva col·laboració, el seu ajut incondicional, paciència i rigor professional. Les seves orientacions, correccions i crítiques han estat cabdals per tirar endavant aquesta recerca.

Tanmateix voldria nombrar el Centre d'Estudis del Risc Tecnològic pel seu acolliment, proporció de material, suport informàtic i resolució de dubtes.

Altrament, vull donar les gràcies a les meves amistats pel seu suport, interès i visió crítica externa.

Per acabar, i com no, a la meva família per recolzar-me de manera incondicional, entendre les meves absències i no dubtar en cap moment de mi.



Índex

RESUM	I
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
AGRAÏMENTS	IV
1. PREFACI	9
1.1. Origen del treball	9
1.2. Motivació.....	10
1.3. Requeriments previs.....	10
1.3.1. Corbes d'incendi	10
2. INTRODUCCIÓ	12
2.1. Objectius del treball i abast.....	12
3. SIMULACIÓ COMPUTACIONAL	14
4. CONTEXT NORMATIU	16
4.1. Disseny prestacional a Catalunya	17
5. REVISIÓ BIBLIOGRÀFICA DE CORBES D'INCENDI	19
5.1. Corbes d'incendi experimentals	19
5.1.1. Corba d'incendi experimental 1	19
5.1.2. Corba d'incendi experimental 2	24
5.1.3. Corba d'incendi experimental 3	30
5.2. Corbes d'incendi simplificades proposades a estudis	35
5.2.1. Corba E4	35
5.2.2. Corba E5	38
6. COMPARATIVA DE LES CORBES PROPOSADES	39
6.1. Temps i pic màxim del HRR	40
6.2. Energia total despresa i temps total de incendi	41
6.3. Resultat.....	42
7. PROPOSTA DE CORBA D'INCENDI	43
8. ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL	45

CONCLUSIONS	47
ANÀLISI ECONÒMICA	49
ÍNDIX D'IMATGES	51
ÍNDIX DE TAULES	52
1. Índex de taules de la memòria	52
2. Índex de taules de l'annex A	53
3. Índex de taules de l'annex B	53
BIBLIOGRAFIA	54
ANNEX A. DADES ADDICIONALS DE LES CORBES PRESENTADES	56
ANNEX B. OBJECTIUS I CRITERIS A TENIR EN COMPTE EN EL DISSENY PRESTACIONAL	69

1. Prefaci

1.1. Origen del treball

L'origen d'aquest treball de fi de grau prové de la necessitat de renovació constant en les mesures de protecció contra incendis degut al constant canvi dels materials a la fabricació de vehicles i la creació de projectes civils cada cop més grans.

Per a la construcció, tant civil com industrial, hi ha dos tipus de mesures de protecció contra incendis, el model prescriptiu i el model basat en prestacions, o prestacional.

El model prescriptiu busca una seguretat sòlida i es basa en la sobreprotecció dels espais amb materials molt resistents i material de seguretat suficient com per poder mantenir vies d'escapament per a la gent en cas d'incendi. El problema apareix en la generalització de les mesures per tal de poder legislar: moltes vegades els sistemes estan sobredimensionats i no s'adeqüen a les necessitats reals de cada edificació.

El disseny prestacional es basa en les necessitats específiques per a cada projecte, tenint la llibertat de proporcionar les mesures de protecció contra incendis necessàries sempre que compleixin un mínim, però aquest mínim no sempre està clarament definit o legislat, i per això ha de passar per mans dels bombers per a que validin les mesures de protecció proposades.

L'instrument utilitzat per a la comprovació de l'efectivitat de les mesures d'extinció i evacuació i la ventilació al disseny prestacional són les simulacions d'incendis en programes amb models de dues zones o CFD, i aquests programes utilitzen corbes d'incendi de diferents materials. A l'àmbit dels aparcaments n'hi ha relativament pocs estudis i no són molt actuals ja que son datats fa uns 10 - 20 anys.

El disseny prestacional ha estat molt utilitzat i promocionat des de les dècades del 1960 i 70 a diferents països com ara el Regne Unit, Japó i els Estats Units. Pel que fa a Espanya tradicionalment s'ha utilitzat més el disseny prescriptiu i és actualment quan s'està implementant el disseny prestacional. Aquest és el motiu pel qual la recollida de corbes es fa necessària.

1.2. Motivació

Des de ben petit m'ha captivat el foc. He pogut observar de prop alguns incendis forestals a la zona de Can Ruti (Serralada de Marina). I, altrament, també he pogut observar en viu com s'han cremat diversos automòbils.

Aquest interès per les combustions va comportar que el treball de recerca de Batxillerat estigues relacionat amb els motors de combustió i propulsió a l'aviació.

Posteriorment, durant els meus estudis universitaris he tingut la oportunitat de cursar assignatures relacionades amb la utilització de combustibles a la indústria i el seu procés de combustió, fent que la motivació d'endinsar-me en aquest món sigui més gran, fins al punt de cursar l'assignatura "Enginyeria del foc", on vaig poder realitzar un estudi d'investigació sobre l'incendi del túnel de Montblanc l'any 1999 que ha acabat aportant la motivació necessària com per dur aquest treball a terme.

1.3. Requeriments previs

1.3.1. Corbes d'incendi

Un incendi és una reacció de reducció-oxidació que es retro-alimenta a si mateixa, dotant-se a si mateixa de la calor necessària per continuar sempre que es disposi del combustible (substància reductora) i comburent (substància oxidant) perquè pugui continuar la reacció material.

Els incendis són progressius: presenten un creixement inicial normalment moderat, seguit d'un ràpid creixement, donant pas al flashover, punt en el que tot entra en combustió, i després del seu punt màxim decau fins a apagar-se lentament.

Tot aquest procés es pot representar en un gràfic que relacioni la magnitud que volem avaluar, en el cas dels incendis la taxa d'alliberament de calor (HRR) o la temperatura, a l'eix de les ordenades, i el temps de durada al eix de les abscisses. La corba resultant de la relació d'aquestes magnituds és l'anomenada corba d'incendi.

En aquest treball utilitzarem les corbes d'incendi amb el *heat release rate* (HRR) a l'eix de les ordenades.

Per poder crear aquest gràfic necessitem les dades de l'incendi el qual volem representar i, per obtenir-les, necessitem mètodes per a enregistrar les dades.

1.3.1.1. Determinació del HRR de la corba d'incendi de cotxes

En el cas de proves d'incendi amb vehicles en un aparcament es poden aplicar tres mètodes diferents per a determinar el HRR. Aquests mètodes es basen en la disminució de massa, l'anàlisi d'oxigen i el flux de calor.

Per a una major exactitud a l'hora de determinar el HRR de l'incendi, es poden combinar els resultats d'aquests mètodes.

- Mètode de disminució de massa

El mètode de disminució de massa es basa en determinar la massa del vehicle durant la prova i, basant-se en la quantitat d'energia que s'allibera per kg de producte cremat (valor que s'ha d'establir en experiments previs), es determina el HRR de l'incendi.

Aquest mètode és raonablement precís i causa pocs problemes respecte als altres mètodes donat a que la instrumentació emprada es veu menys exposada a les situacions extremes inevitables durant un incendi com la humitat i les altes temperatures del doll de fum.

- Anàlisi d'oxigen (mètode d'esgotament)

En el cas de l'anàlisi d'oxigen, el HRR es determina en base a la quantitat d'oxigen emprat i la quantitat de productes de combustió que es creen. Aquest mètode es basa en el principi que es requereix una certa quantitat fixa d'oxigen per a produir 1 MJ d'energia a través de la combustió, independentment del producte (plàstic, fusta, propà). El HRR es pot determinar mesurant el cabal i determinant la concentració d'O₂.

En principi, aquest és un mètode de mesurament més precís que la disminució de massa perquè ja no és necessari estimar el tipus de producte que s'està cremant. No obstant això, el desavantatge és la sensibilitat del sistema a les fluctuacions de temperatura, humitat i impactes i l'alt cost de l'equip. A més, tots els productes cremats han de ser extrets.

- Flux de calor

En el cas d'aquest mètode, la temperatura i la proporció dels productes de combustió es mesuren de manera que es pugui determinar el HRR. Per a establir el HRR de l'incendi, s'ha de fer una estimació de la fracció de la calor que és absorbit per les parets en el camí des de l'incendi fins a la sortida (radiació, convecció).

2. Introducció

El terme incendi, com s'ha esmentat anteriorment, és l'expressió descontrolada del foc i s'entén com “un foc gros que crema una casa, un bosc, etc., que es propaga, que fa estralls, és a dir; un gran dany a diferents nivells” segons el diccionari de la llengua catalana de l'Institut d'Estudis Catalans (DIEC2). Els incendis són, a més a més, un mal inevitable avui en dia tot i les mesures contra incendis que s'implementen. Malgrat els esforços per reduir-ne el nombre, segueixen ocorrent ja bé sigui per un mal funcionament elèctric d'un aparell domèstic o per un ús indegut dels boscos produint un gran impacte sobre el medi.

A part dels incendis més comuns, com els incendis forestals, també es produeixen incendis a vehicles en aparcaments, que són relativament poc habituals (Penalva 2015) dins dels diferents tipus d'incendi. No obstant, que siguin poc habituals no implica que siguin menys nocius: un vehicle es pot encendre si té algun defecte, un cop aturat al garatge, si és de gasolina i no s'encén al cap de poc temps d'haver-se aturat és poc probable que s'arribi a encendre; en canvi, el temps durant el qual un vehicle de gasoil es pot encendre és bastant més llarg i això comporta grans pèrdues monetàries i materials.

En referència als cotxes afectats, tant pel foc com per les altes temperatures de l'ambient, i els edificis, ja que a part de danys superficials poden arribar a crear danys estructurals irreparables en aquesta edificació, les superiors, si l'aparcament està situat a un centre comercial, oficines o a habitatges, o a contigües, si l'aparcament no és subterrani, i en certs casos poden comportar pèrdues personals, ja que si l'aparcament està situat sota un habitatge i les flames arriben a les cases amb rapidesa o hi ha gent present a l'aparcament en el moment del succés, poden arribar a matar a gent.

2.1. Objectius del treball i abast

L'objectiu principal d'aquest treball és l'elecció d'una corba d'incendi per tal de poder emprar-la en simulacions CFD, proporcionant així una eina per tal de poder verificar el correcte funcionament de mesures contra incendis i/o de la ventilació en un aparcament.

Per dur a terme aquest estudi ens basarem en les següents variables:

- El valor del pic màxim del HRR
- El temps en assolir el pic màxim del HRR
- La durada total de l'incendi
- L'energia total despresa per l'incendi
- HRR mitjà de l'incendi

Per altre banda es vol aconseguir servir de referència bibliogràfica per a futurs treballs que vulguin desenvolupar més la investigació en aquest àmbit o fer-lo servir en simulacions CFD en l'àmbit del disseny prestacional.



3. Simulació computacional

La necessitat d'implementar sistemes preventius contra incendis ens porta a millorar les eines amb les que treballem per investigar aquests fenòmens.

Un model és un intent de descriure un procés de certa complexitat mitjançant eines matemàtiques i/o físiques. La formulació d'aquest model normalment implica aproximacions físiques i suposicions dels successos i materials involucrats i la solució requereix simplificacions matemàtiques degut a la dificultat existent en els càlculs de la mecànica de fluids que s'apliquen als incendis, per tant, aquestes suposicions impliquen que qualsevol model tingui limitacions.

Els tipus de models es poden classificar de la següent manera:

- Models físiques: Aquests models es basen en les lleis físiques en les que es regeixen els incendis. La problemàtica amb aquest model resideix en la incompleta comprensió dels fenòmens que descrivim en aquests models
- Model empíric: Aquest tipus de model es basa en les observacions en els fenòmens. Aquestes observacions permeten crear un model per a situacions controlades, però no s'arriben a conèixer els fenòmens físics i la posada en practica d'aquests experiments és molt costosa.
- Model matemàtic: Els models matemàtics suposen que el comportament de l'incendi és aleatori i basen el seu estudi en models probabilístics, deixant de banda tota la vessant física de l'incendi.

Parlem de simulació computacional quan utilitzem eines informàtiques per calcular els diferents tipus de models explicats. Aquests models utilitzen les propietats físiques i les corbes d'incendi experimentals dels materials per dur a terme els càlculs de les equacions de conservació físiques.

Els models de simulació computacional es poden dividir en dos tipus:

- Models de zona: Els models de zona divideixen el recinte en dues regions: una regió superior i una regió inferior.

La regió superior està constituïda pel gasos calents procedents de la combustió.

La regió inferior conté l'aire fresc que encara no ha reaccionat amb el foc.

Aquests models s'utilitzen per calcular la distribució de fum, de gasos d'incendi i de temperatura en un compartiment durant un incendi, ja que, programes com el CFAST del *National Institute of Standards and Technology* (NIST), et permeten fer un petit disseny del

compartiment, col·locar portes, ventilacions i materials diferents a les parets, objectes i obstacles.

- **Models de camp:** Els models de camp es diferencien dels models de zona per la gran quantitat de volums de control en els que divideixen els compartiments dissenyats. Aquesta gran segmentació permet dur a terme càlculs més complexos, però també fa que el disseny de l'experiment sigui més difícil.

Un dels programes més utilitzat dels models de camp és el FDS, programa lliure creat també pel NIST.

4. Context normatiu

Existeixen dues metodologies a l'hora de fer el disseny de la seguretat contra incendis d'una estructura: el disseny prescriptiu i el disseny prestacional.

El disseny que s'ha utilitzat tradicionalment és el disseny prescriptiu. Aquest disseny es basa en l'aplicació de les mesures de protecció contra incendis estipulades per la normativa tècnica i la legislació de cada país.

Aquest tipus de disseny utilitza una corba normalitzada de temperatura-temps per determinar els nivells mínims de resistència dels elements estructurals. Aquesta corba és una simplificació de la realitat, ja que la resistència dels elements es calcula en forns d'assaig i no en experiments reals, que, tot i evitar en molts casos el col·lapse de l'edificació durant l'evacuació, crea un cost extra evitable en la construcció degut a l'ús irracional o al sobredimensionament dels materials de protecció.

A més a més s'han de tenir en compte les limitacions en la protecció que pot presentar un disseny simplificat i generalitzat basat en comportaments dels materials individualment per a edificacions en les que es necessiten prestacions més específiques i adequades per les seves dimensions, utilitats, etc.

A Espanya la normativa que recull les regles i procediments necessaris per complir les exigències bàsiques per a activitats no industrials estan recollides al "Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio" (DB SI) integrat al Codi Tècnic d'Edificació (CTE).

Aquesta normativa de protecció contra incendis prescriptiva també regula les mesures que s'han de prendre com quantitat d'extintors i distància entre aquests, senyalització del material contra incendi i de sortides d'emergència.

Tot i els desavantatges mencionats abans, el disseny prescriptiu és efectiu i fàcilment aplicable en edificis petits i mitjans o amb pocs requeriments especials, no obstant això, no és tant efectiu quan es plantegen edificacions de grans mesures ni amb requeriments especials, com poden ser un estadi olímpic o el nou col·lisionador del CERN, que tindrà uns 100 km de circumferència i estarà construït sota terra. Edificis d'aquestes envergadures no es poden plantejar mesures contra incendi que impliquin una sortida d'emergència cada 25 ò 75 metres, ja que creen un sobrecost al fer que s'hagi de les sortides pertinents a l'exterior, tenint en compte que la major part del seu funcionament no està concorregut per gent.

Per altre banda, el disseny prestacional és lent i consumeix molts recursos, ja que part de les simulacions necessàries abans de presentar el projecte, aquest ha d'estar validat per les autoritats pertinents.

El disseny prestacional busca plantejar les mesures adequades a cada edifici en particular, per tant, és únic per a cada edifici, tot i així, el projecte ha de garantir unes prestacions bàsiques de seguretat que siguin equiparables a la normativa que regeix el disseny prescriptiu.

Per tal d'assolir aquests objectius, el disseny basat en prestacions ha de seguir una metodologia de treball amb una estructuració que sigui fàcilment extrapolable a qualsevol altre projecte de disseny prestacional.

Si bé a països com el Regne Unit, Estats Units o el Japó promouen aquest tipus de disseny des dels anys 70, a Espanya no s'ha fomentat de la mateixa manera, ja que no s'ha incorporat al CTE fins fa poc més d'una dècada i no està gaire desenvolupat.

4.1. Disseny prestacional a Catalunya

En el procés de desenvolupament del disseny prestacional els bombers de Catalunya, amb l'ajuda de diferents empreses vinculades al món de la seguretat contra incendis i col·legis professionals, ha desenvolupat una guia tècnica per el disseny prestacional en sistemes de control per tal de definir una primera metodologia de treball efectiva.

En aquesta guia tècnica es vol definir un procés de treball en el que es marquen uns objectius, unes estratègies diferents i un diagrama de flux a seguir per tal d'assolir els objectius prèviament establerts. Aquests objectius són els següents:

“Objectiu 1. Objectiu d'evacuació dels ocupants.

L'edifici disposarà dels mitjans adequats per facilitar que els ocupants pugin abandonar-lo o assolir un lloc segur dins el mateix en condicions de seguretat. A aquest objectiu s'hi consideraran vinculats tots els sistemes de detecció, transmissió de l'alarma, evacuació dels ocupants, comprovació de presència d'ocupants, control d'extensió de l'incendi, control dels fums, etc.

Objectiu 2. Objectiu de ventilació de fums:

[*Smoke Clearance*] L'edifici disposarà dels equips i les instal·lacions adequades per fer possible l'extracció dels fums d'incendi del recinte considerat.

Objectiu 3. Objectiu d'intervenció dels bombers:

[*Smoke control*] Es facilitarà la intervenció dels equips de rescat i d'extinció d'incendis en condicions segures fins a un punt pròxim al perímetre de l'incendi i finalment es disposarà dels

equips i les instal·lacions adequades per fer possible l'extracció dels fums d'incendi del recinte considerat [*Smoke clearance*]" (Bombers de la Generalitat de Catalunya 2017).

Seguidament fan una definició de les dues estratègies proposades, i els objectius associats.

- "Estratègia 1:

Garantir l'evacuació dels ocupants i possibilitar la ventilació dels fums del recinte o edifici considerat en el disseny.

Aquesta estratègia es vincula a un escenari en el qual existeix una limitació al desenvolupament i a la propagació de l'incendi i l'aproximació dels bombers al possible focus de l'incendi no és extremadament difícil.

Els objectius a considerar són l'objectiu 1 i l'objectiu 2.

- Estratègia 2:

Garantir l'evacuació dels ocupants, facilitar una ràpida i segura intervenció dels bombers i possibilitar la ventilació dels fums del recinte o edifici considerat en el disseny.

Aquesta estratègia es vincula a un escenari en el qual no existeix una limitació al desenvolupament ni a la propagació de l'incendi i l'aproximació dels bombers al possible focus de l'incendi pot resultar difícil degut al desenvolupament no controlat de l'incendi.

Els objectius a considerar són l'objectiu 1, l'objectiu 2 i l'objectiu 3." (Bombers de la Generalitat de Catalunya 2017)

Per últim proposa un diagrama de successos a seguir per tal de desenvolupar correctament el treball, detalla més a fons els objectius i proposa criteris d'acceptació per a les mesures aplicades.

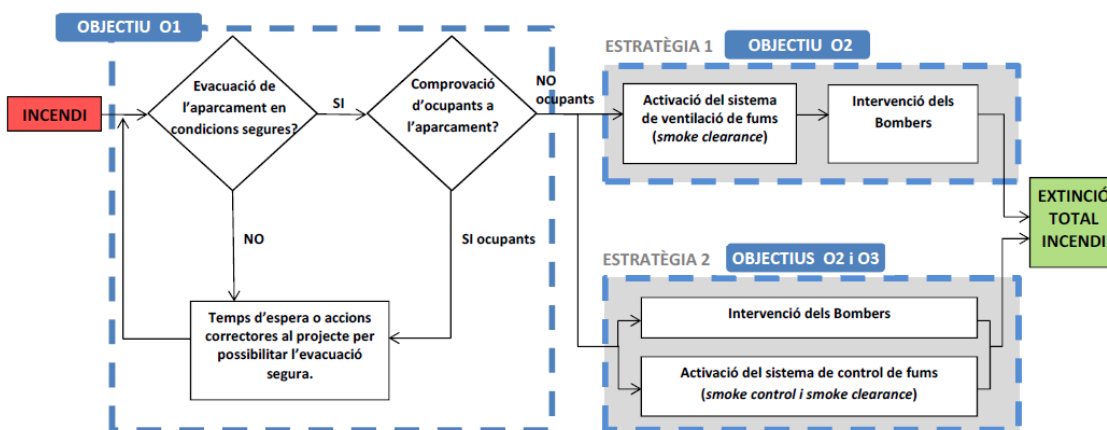


Figura 1. Diagrama de successos per al disseny prestacional proposat pels bombers de la Generalitat de Catalunya.(Bombers de la Generalitat de Catalunya 2017)

Les taules amb els objectius i els criteris d'acceptació proposats al document estan situats a l'annex B.

5. Revisió bibliogràfica de corbes d'incendi

5.1. Corbes d'incendi experimentals

En aquest apartat es fa una recopilació de diverses corbes experimentals trobades a la recerca bibliogràfica i es proposen simplificacions per aquestes amb la intenció de facilitar el treball posterior i la possible implementació en simulacions CFD.

5.1.1. Corba d'incendi experimental 1

En 2006, la Divisió d'Edificis Sostenibles de Comunitats i Govern Local d'Anglaterra va encarregar a **British Research Establishment (BRE)** dur a terme un projecte titulat "Fire Spread in Car Park" (BRE 2010) ja que va haver-hi una creixent preocupació per les conseqüències dels incendis en els estacionaments associats amb el disseny modern d'automòbils i com aquests incendis poden propagar-se a altres vehicles estacionats adjacents i pròxims. Aquesta preocupació va créixer per l'entrada en el mercat d'automòbils propulsats per combustibles alternatius com el gas líquid del petroli (GLP).

L'objectiu general del projecte va ser recopilar informació sobre la naturalesa dels incendis relacionats amb el disseny dels automòbils i utilitzar aquest nou coneixement com a base, si fos necessari, per a actualitzar l'orientació actual sobre les estratègies de seguretat contra incendis per als aparcaments, ja que la guia existent per a la seguretat contra incendis en els aparcaments d'Anglaterra i Gal·les explica la iniciació i el creixement d'incendis que involucren als automòbils els dissenys dels quals tenen dècades d'antiguitat.

L'informe que van presentar descriu el projecte, els resultats i les conclusions de la recerca duta a terme durant els tres anys del programa. Es van dur a terme onze proves a gran escala i es van cremar setze automòbils moderns.

Aquests experiments es van dur a terme al centre d'investigació situat a Liverpool, amb cotxes fabricats entre el 1998 i el 2004.

Els dos primers experiments que van dur a terme en els quals només hi hagués un sol cotxe involucrat, el test 5 i el test 6, es basen en incendis originats en el seient de l'acompanyant del conductor. Aquests dos experiments s'han descartat degut a que al crear-se a l'interior del cotxe, amb aquest tot tancat, i al no tenir contacte amb l'exterior ni trencar cap finestra per tal que hi hagi un intercanvi de gasos i hi hagi una font renovada d'oxigen per a l'incendi, aquest s'acaba apagant poc després dels 25 minuts sense haver-hi una emissió de calor rellevant o un incendi complert dels vehicles implicats.

5.1.1.1. Corba experimental 1

El setè experiment mostrat al projecte “Fire Spread in Car Parks” es va dur a terme el 27 d'agost del 2008 amb la intenció d'estudiar la propagació del foc per el cotxe en un incendi creat al motor i registrar-ne el HRR.

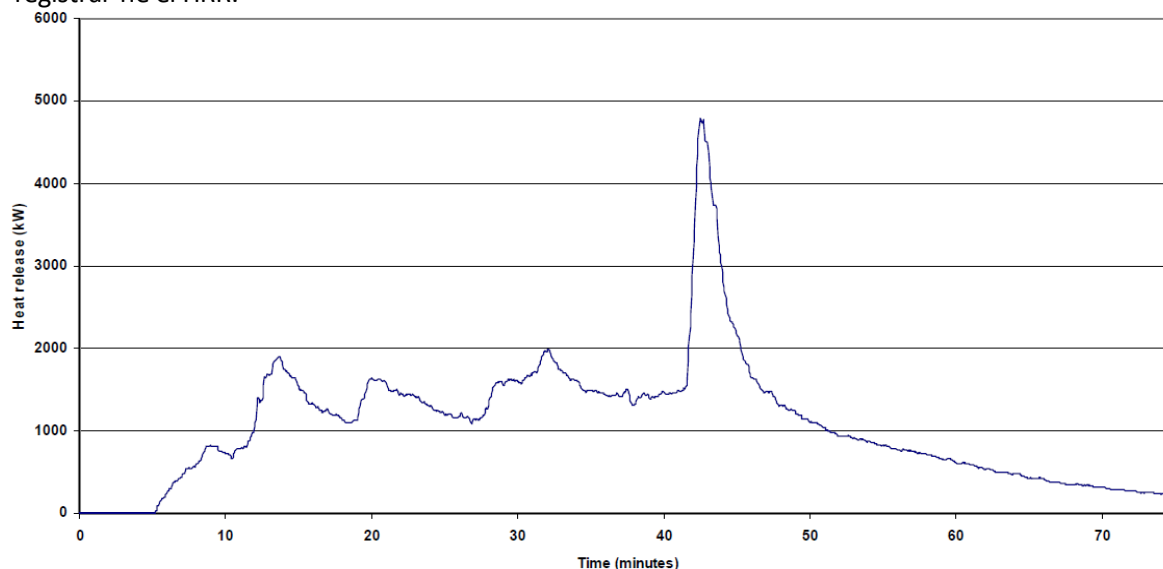


Figura 2. Corba d'incendi per un cotxe registrada al test nº 7 de l'informe del BRE del 2010. (BRE 2010)

El cotxe utilitzat a l'experiment va ser un Ford Focus del 2002.

L'incendi s'inicia al motor, amb el capó del cotxe obert fins que el foc està prou encès com per no apagar-se sol al tancar el capó per falta d'oxigen, i les finestres del cotxe estan totes tancades.

La durada de l'experiment va ser d'aproximadament uns 80 minuts. Durant els 5 primers el foc creix al motor i a partir d'aquí el foc comença a estendre's pel cotxe. Al gràfic es pot apreciar com el HRR es manté per sota dels 2 MW fins als 40 minuts i els seu pic màxim és al voltant dels 5 MW als 45 minuts. Des d'aquest moment fins els al final de l'experiment la despesa de calor decreix exponencialment fins que els investigadors donen l'experiment per acabat.

Tot i tenir els gràfics de les corbes d'incendi, no es poden utilitzar per les simulacions per la complexitat i el consum de recursos a l'hora de processar tantes dades a l'hora de fer la simulació, és per això que s'ha utilitzat el programa *Engauge digitizer* per tal d'obtenir els punts de les corbes proporcionades als estudis.

D'aquesta nova corba que es pot veure a la Figura 3 es pot observar una corba de 74 minuts i 12 segons amb una calor total despesa de 5177 MJ.

El HRR es manté per sota dels 2 MW fins als 38 minuts, moment en el que creix per donar el pic màxim de 4,8 MW als 40 minuts des de l'inici de l'experiment i posteriorment decreix exponencialment fins els 74 minuts, quan es dona per acabat l'experiment.

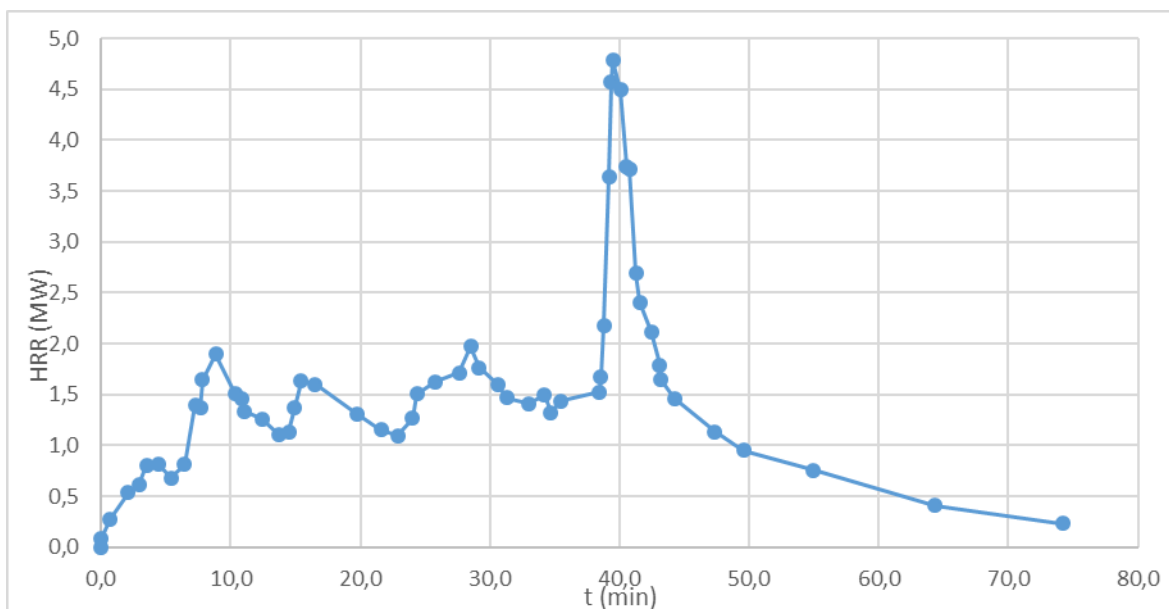


Figura 3. Recopilació de dades de la corba d'incendi 1.

A continuació es proposen dues possibles simplificacions per la corba d'incendi experimental de la Figura 3Figura 2.

5.1.1.2. Simplificació 1

La primer simplificació proposada és una corba a la qual s'agafen dades en intervals de dos minuts.

Aquesta simplificació consta dels següents pics màxims i mínims relatius que delimiten la corba:

- 1,7 MW als 8 minuts.
- 1,1 MW als 22 minuts.
- 1,8 MW als 28 minuts.
- 1,5 MW als 38 minuts.
- 4,5 MW als 40 minuts.
- 0,2 MW als 74 minuts.

En els casos en els que no hi ha una dada directa, s'han extrapolat les dades per tal d'obtenir un valor de referència.

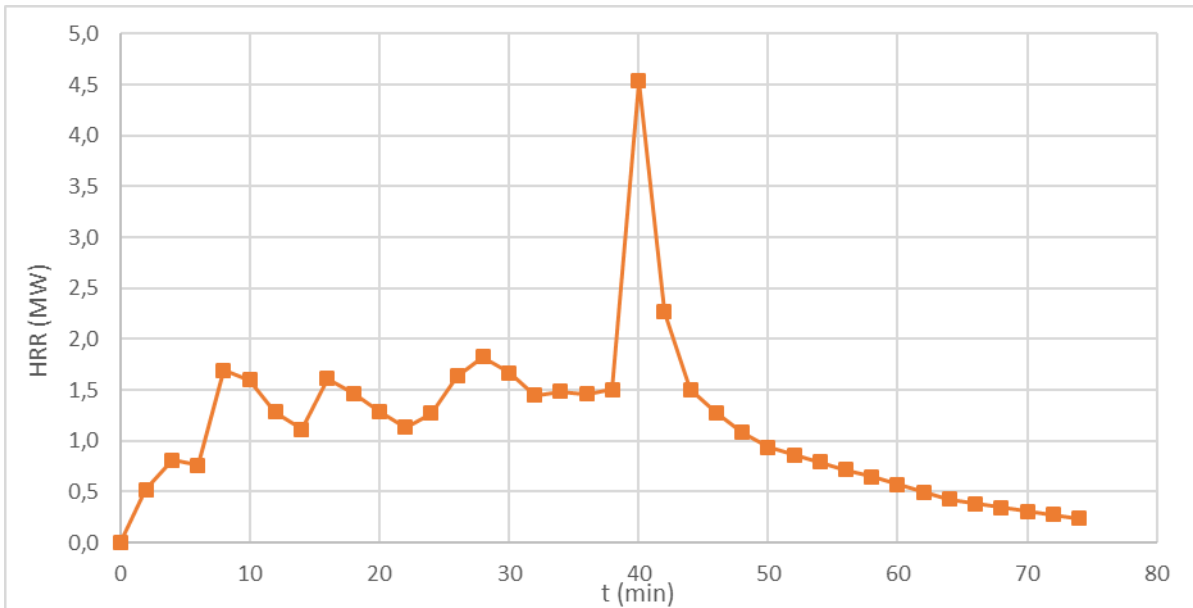


Figura 4. Simplificació 1: Primera simplificació de la corba experimental 1.

L'energia despresada en la simplificació és de 5169 MJ i el seu pic màxim és de 4,53 MW als 40 minuts.

5.1.1.3. Simplificació 2

La segona simplificació de la corba experimental de la Figura 5 fa un seguiment dels punts màxims i mínims consecutius de la corba, eliminant la fluctuació enregistrada durant l'experiment i fent una corba més neta i fàcil de processar.

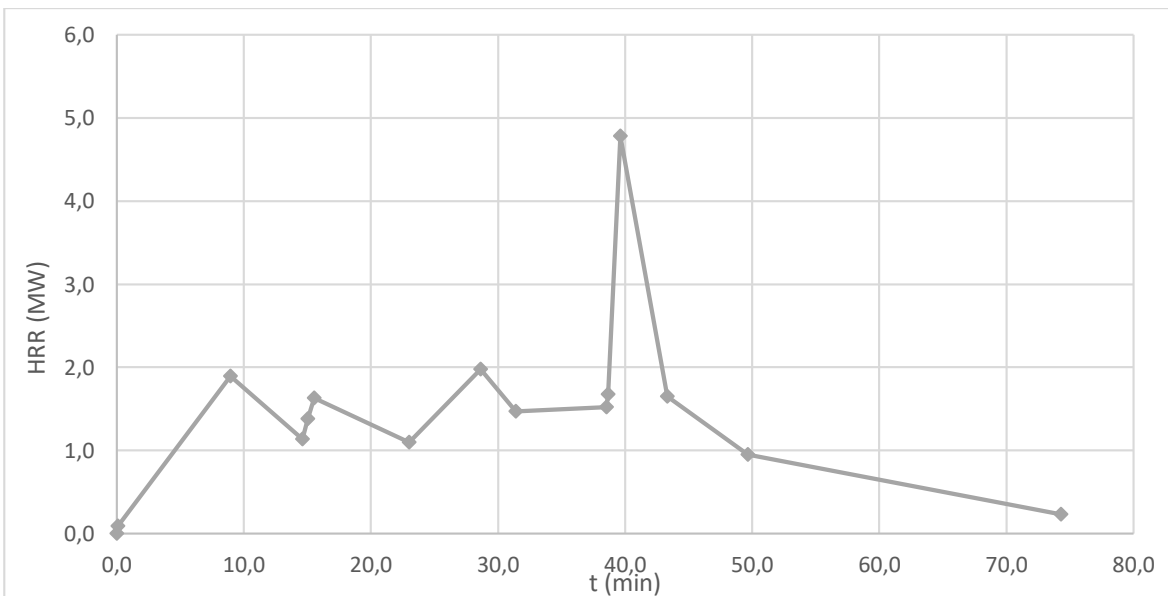


Figura 5. Simplificació 2: Segona simplificació de la corba experimental 1.

La durada de la simplificació és de 74 minuts i 18 segons amb tendència ascendent durant els primers 40 minuts i descendent la resta de la corba.

Els pics màxims i mínims de la simplificació són els següents:

- 1,9 MW als 8 minuts i 54 segons.
- 1,1 MW als 23 minuts.
- 1,5 MW als 38 minuts i 30 segons.
- 4,8 MW als 39 minuts i 36 segons.
- 0,2 MW als 74 minuts i 18 segons.

Aquesta corba té una despresa de calor total de 5454 MJ.

5.1.1.4. Comparativa 1

A la següent taula podem veure la comparació entre la corba experimental i les dues simplificacions proposades.

Taula 1. Taula comparativa entre la corba experimental 1 i les simplificacions 1 i 2.

	Pic màxim HRR (MW)	Temps del pic màxim (min)	Temps total (min)	Energia total despresa (MJ)
Corba experimental	4,8	39,6	74,3	5177
Simplificació 1	4,5	40	74	5169
Simplificació 2	4,8	39,6	74,3	5454

De les dues simplificacions el temps total i el temps del pic màxim és el mateix al de la corba experimental o són pràcticament iguals i la forma de les són semblants a la experimental.

El pic màxim de la primera simplificació 1 és inferior al de la corba experimental i al de la simplificació 2, però l'energia total despresa de la simplificació 1 és pràcticament la mateixa que la de la corba experimental, mentre que la de la simplificació 1 es desvia més.

Si mirem les semblances entre les simplificacions i la corba experimental, obtenim els següents percentatges:

Taula 2. Taula comparativa de la semblança entre les simplificacions 1 i 2 i la corba experimental 1.

	Pic màxim HRR (%)	Temps del pic màxim (%)	Temps total (%)	Energia total despresa (%)	Mitjana de la semblança (%)

Simplificació 1	93,8	99,0	99,6	99,8	98,0
Simplificació 2	100,0	100,0	100,0	94,6	98,7

Com es pot observar a la taula, les dues simplificacions són molt semblants a la corba experimental, obtenint una mitjana pràcticament idèntica entre ambdues amb una diferència entre les dues mitjanes del 0,4%, per tant, per tal d'escollir una de les dues simplificacions s'ha de decidir en funció de les variables individuals presentades.

Les diferències importants amb la corba experimental de les dues simplificacions són les següents:

- Simplificació 1: Pic màxim de *heat release rate* (desviació del 8,2%) i energia total despresa (desviació del 0,2%).
- Simplificació 2: Energia total despresa (desviació del 5,4%).

Si bé la simplificació 1 té més variables desviades que la simplificació 2, considero que és la millor elecció entre les dues perquè tot i que és més important el *heat release rate* que l'energia total alliberada, estem valorant dues simplificacions del mateix experiment i és una diferència inferior al 10%, no obstant això, la energia total despresa de de la simplificació 1 és pràcticament la mateixa que la experimental i la simplificació 2 s'allunya més, per això escullo la simplificació 1 com a simplificació de la corba experimental 1.

5.1.2. Corba d'incendi experimental 2

L'1 de setembre del 2008 es va dur a terme a les instal·lacions de Liverpool del BRE un altre experiment recollit a l'informe presentat per aquest mateix organisme al 2010 (BRE 2010). Aquest experiment, el nº 8, buscava veure i estudiar la propagació del foc entre dos cotxes col·locats un al davant de l'altre, com podrien estar situats en un aparcament.

Per tal de dur a terme aquest experiment, van col·locar els dos cotxes en fila, amb una separació de 0,5 m entre els motors, però només es va enregistrar les dades del primer cotxe que entra en ignició ja que l'objectiu era observar la propagació d'un cotxe a l'altre. Un cop succeïda la propagació, el segon cotxe es separa del primer i s'extingeix l'incendi.

Els dos cotxes utilitzats en aquest experiment és un Renault Espace i un Peugeot 406, ambdós fabricats el 2001.

El cotxe on s'inicia la combustió és el Renault Espace. L'incendi s'origina al motor del cotxe, mantenint el capó pujat fins l'assoliment d'una flama consistent que no s'apagui al tancar el capó. Un cop

aconseguida aquesta flama, es tanca el capó i es comença l'enregistrament. Aquest cotxe també té les finestres i les portes tancades.

El Peugeot 406 només està col·locat per observar la propagació, per tant, en el moment en que el foc es propaga, al minut 18 segons la bibliografia, el retiren i apaguen les flames.

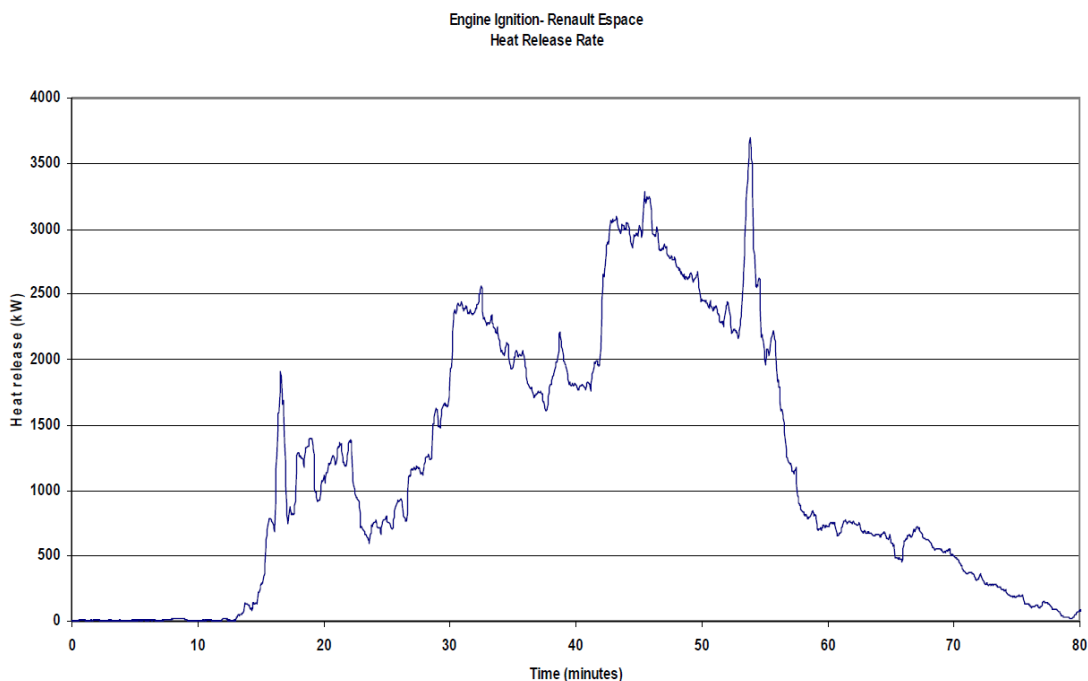


Figura 6. Corba d'incendi per un cotxe registrada al test nº 8 de l'informe del BRE del 2010 (BRE 2010).

Tal i com es pot veure a la Figura 6, el foc triga uns 12 minuts en propagar-se sòlidament, tot i això, en qüestió de 6 minuts, al minut 18, es propaga al Peugeot i un parell de minuts després, aquest cotxe es separa del Renault, d'aquí la disminució del HRR poc després dels 20 minuts.

Un cop separat el Peugeot, les flames del Renault segueixen expandint-se pel cotxe i a mesura que els vidres es van trencant, fent que el HRR creixi irregularment fins el seu flashover cap als 55 minuts. Aquest pic màxim és d'aproximadament 3,5 MW i coincideix amb la ruptura del tanc de combustible. A partir d'aquest moment, el foc comença a decreixer fins que cap als 80 minuts es dona el test per acabat.

5.1.2.1. Corba experimental 2

Utilitzant el programa *Engauge digitizer* aconseguim els punts de la corba per tal de poder utilitzar-les a simulacions i poder fer un estudi d'aquestes.

La duració de la corba digitalitzada és de 79 minuts i durant els primers 13 minuts i 28 segons el HRR no supera els $0,06 \text{ MW}$. Durant 3 minuts augmenta la despesa de calor fins arribar a un pic de $1,75 \text{ MW}$ als 16 minuts i 44 segons i oscil·la entre els $1,34 \text{ MW}$ i els $0,64 \text{ MW}$ 10 minuts següents.

S'han eliminat els primers 13 minuts i 28 segons del principi en els quals la calor emesa enregistrada és de $9,52 \text{ MJ}$ i representa un $0,17\%$ de la energia total emesa, sent un tram negligible per a l'estudi posterior.

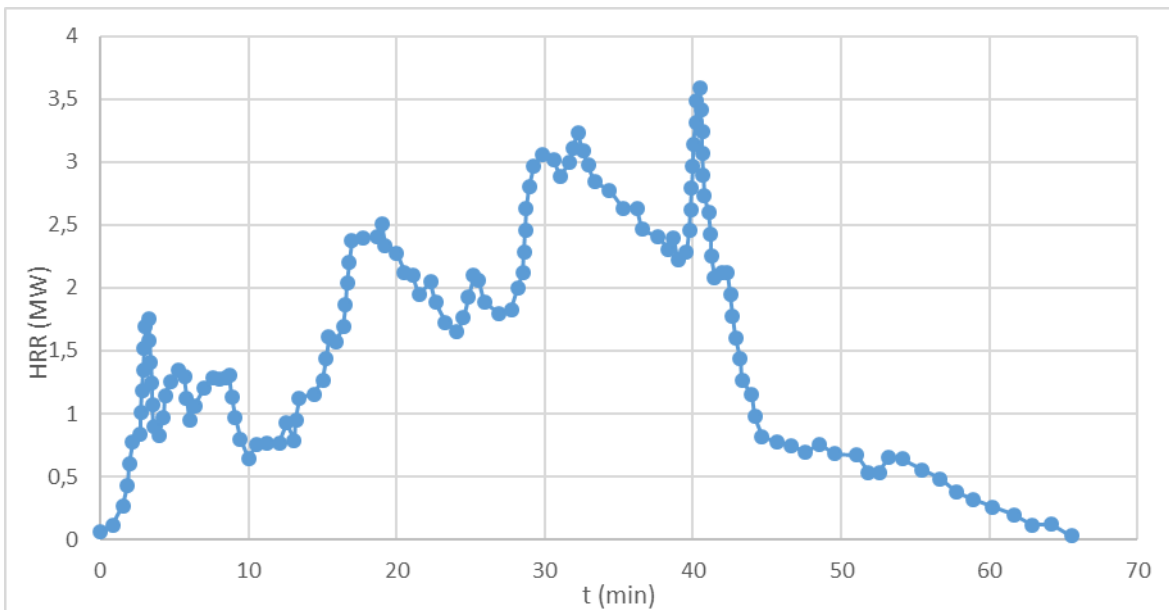


Figura 7. Recopilació de dades de la corba d'incendi 2.

Des de l'inici es pot observar una tendència de creixement que acaba als 40 minuts i 28 segons, tenint els següents pics màxims i mínims locals:

- $1,75 \text{ MW}$ als 3 minuts i 15 segons
- $0,64 \text{ MW}$ als 10 minuts i 1 segon
- $2,51 \text{ MW}$ als 19 minuts i 1 segon
- $1,65 \text{ MW}$ als 24 minuts i 42 segons
- $3,23 \text{ MW}$ als 32 minuts i 13 segons
- $2,28 \text{ MW}$ als 38 minuts i 58 segons
- $3,58 \text{ MW}$ als 40 minuts i 28 segons
- $0,82 \text{ MW}$ als 44 minuts i 40 segons

L'experiment es dona per acabat als 65 minuts i 33 segons, amb una despesa de calor total de 5464 MJ .

El flashover correspon a un HRR de $3,58 \text{ MW}$ i es dona als 40 minuts i 28 segons

Per aquesta corba es proposen les dues simplificacions següents.

5.1.2.2. Simplificació 3

A la Figura 8 es pot observar la corba corresponent a la simplificació de la

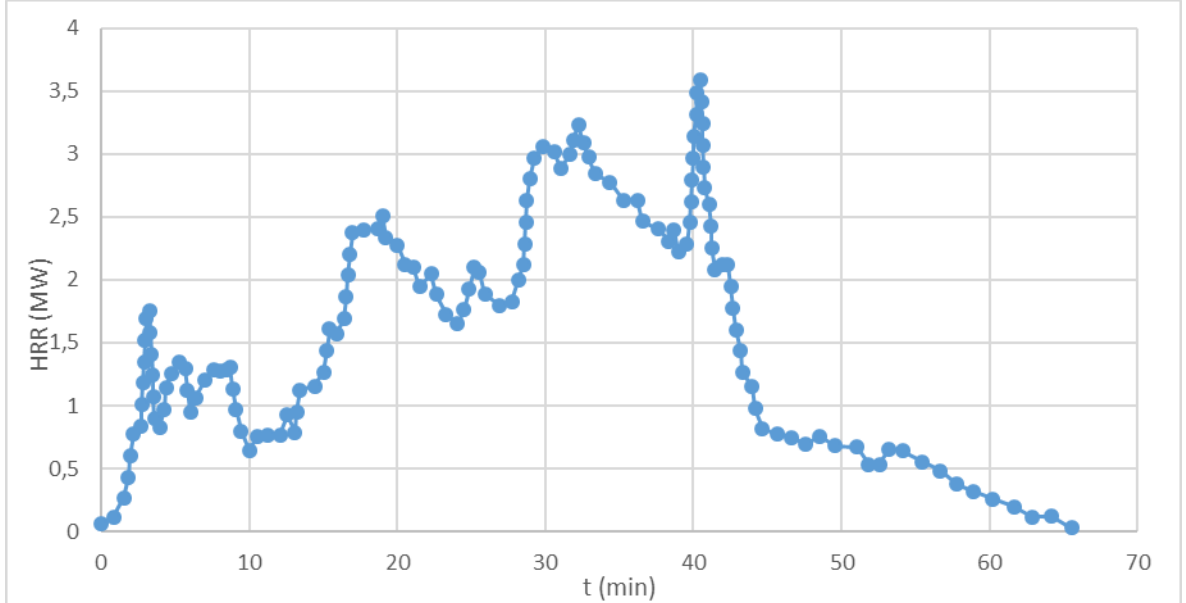


Figura 7 agafant les dades obtingudes cada dos minuts .

En aquesta simplificació s'han agafat les dades en intervals de 2 minuts i s'han extrapolat els valors dels que no es disposa directament de la presa de dades.

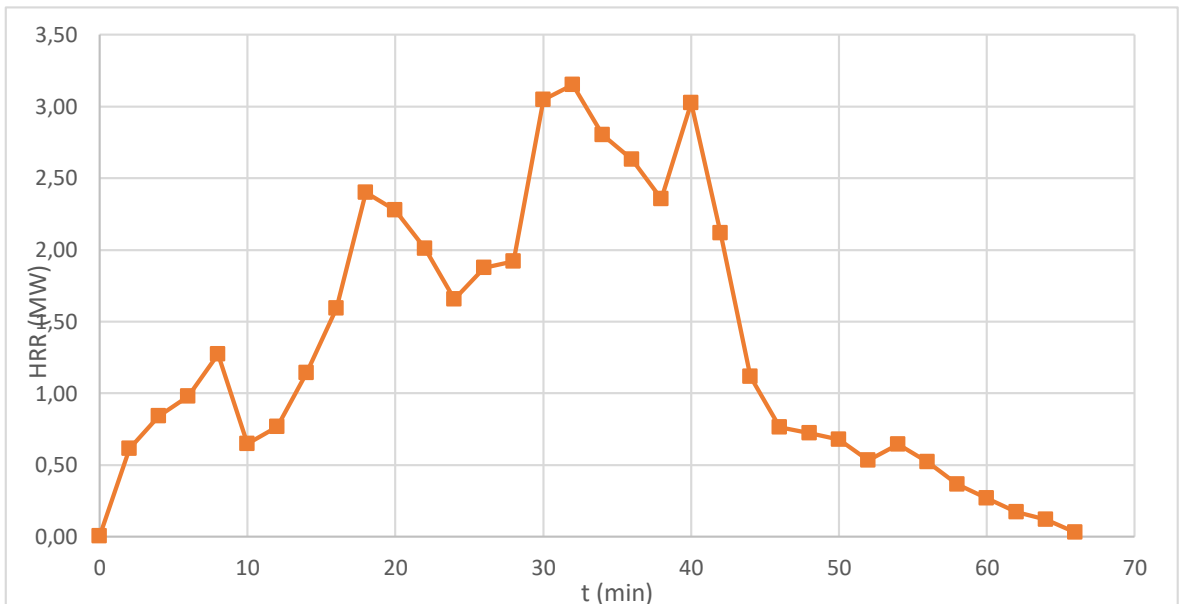


Figura 8. Simplificació 3: Primera simplificació de la corba experimental 2.

La corba té una durada total de 66 minuts, dels quals els primers 32 minuts tenen una tendència creixent i els següents 34 minuts tenen una tendència decreixent. Els valors dels pics màxims i mínims locals que donen forma a la corba són els següents:

- 1,27 *MW* al minut 8.
- 0,65 *MW* al minut 10.
- 2,40 *MW* al minut 18.
- 1,66 *MW* al minut 24.
- 3,15 *MW* al minut 34.
- 2,36 *MW* al minut 38.
- 3,02 *MW* al minut 40.
- 0,56 *MW* al minut 52.
- 0,64 *MW* al minut 54.

El valor mínim anterior al minut 8 és de 0 *MW* corresponent a l'inici de la presa de dades i el valor mínim posterior al minut 54 correspon a la dada que finalitza l'experiment al minut 66, que és de 0,3 *MW*.

El pic màxim d'aquesta corba el podem trobar als 32 minuts amb un valor de 3,15 *MW* i és el punt que representaria el flashover tot i que no concordi amb el real.

Aquesta corba d'incendi té una energia total despresada de 5406 *MJ*.

5.1.2.3. Simplificació 4

La segona simplificació de la corba experimental 2 ressegueix els pics màxims i mínims locals consecutius de la corba experimental. La durada de la simplificació és de 65 minuts i 36 segons i la corba té una tendència ascendent des de l'inici fins al minut 40, moment en el que arriba al flashover.

Els pics màxims i mínims rellevants són els següents:

- 1,7 *MW* als 3 minuts i 18 segons.
- 3,6 *MW* als 40 minuts i 30 segons.
- 0,1 *MW* als 65 minuts i 36 segons.

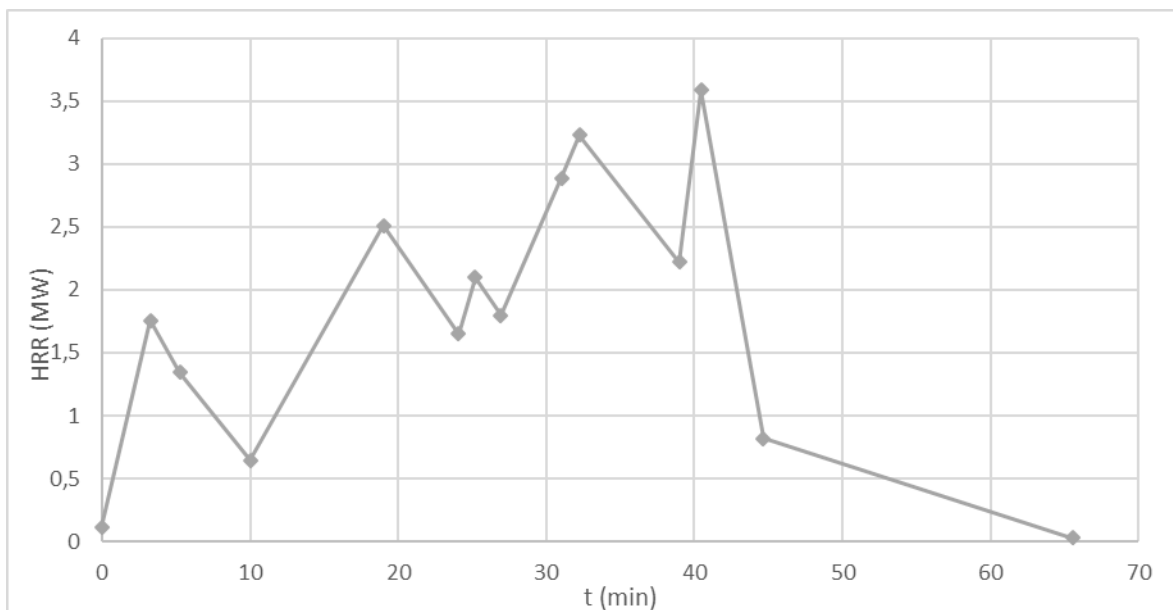


Figura 9. Simplificació 4: Segona simplificació de la corba experimental 2.

La despesa total de calor és de 5710 MJ.

5.1.2.4. Comparativa 2

A la Taula 3 podem veure la comparació de la corba experimental i les propostes de simplificació:

Taula 3. Taula comparativa entre la corba experimental 2 i les simplificacions 3 i 4.

	Pic màxim HRR (MW)	Temps del pic màxim (min)	Temps total (min)	Energia total despesa (MJ)
Corba experimental	3,6	40,5	66	5477
Simplificació 3	3,1	32	66	5406
Simplificació 4	3,6	40,5	66	5710

El temps total de les dues simplificacions és el mateix al de la corba experimental però la simplificació 3 es diferencia en la resta de variables respecte la simplificació 4.

Taula 4. Taula comparativa de la semblança entre les simplificacions 3 i 4 i la corba experimental 2.

	Pic màxim HRR (%)	Temps del pic màxim (%)	Temps total (%)	Energia total despesa (%)	Mitjana de la semblança (%)
Simplificació 3	87,9	79,1	100,0	98,7	91,4
Simplificació 4	100,0	100,0	100,0	95,7	98,9

Com es pot observar a la Taula 4, la desviació dels valor de la simplificació 3 és de més del 10% en el pic màxim i més del 20% en el temps en el que s'assoleix, fent que sembli una corba diferent i totalment independent de la corba experimental, per això escullo la simplificació 4 com a simplificació de la corba experimental 2.

5.1.3. Corba d'incendi experimental 3

En aquest experiment del BRE del 20 de setembre del 2007 es va voler estudiar la reacció d'un incendi en presència de ruixadors.

Els cotxes utilitzats per aquest experiment van un Renault Grand Espace de l'any 2000, un Seat Ibiza de l'any 2002 i un Land Rover Freelander de l'any 2002. El Renault i el Seat es van col·locar un al costat de l'altre a la banda dreta i el Land Rover es va col·locar a l'esquerra del Seat, deixant una distància equivalent entre aquests dos vehicles a la d'una plaça d'aparcament buida.

Els sis ruixadors utilitzats a l'experiment es van agrupar en parells: El primer parell es va col·locar a la banda esquerra del Renault, a dos metres de la paret dreta. El segon parell es va col·locar a l'espai buit entre el Seat i el Land Rover, a quatre metres del primer parell, i el tercer parell es va col·locar al costat esquerra del Land Rover, a 3 metres del segon parell de ruixadors.

Aquests ruixadors disposaven d'una àrea de cobertura de 12 m^2 i un flux de 5 mm/min i cada parell de ruixadors tenen una separació de 3 metres entre ells.

A la Figura 10 es pot observar la disposició dels cotxes i dels ruixadors d'aquest experiment.

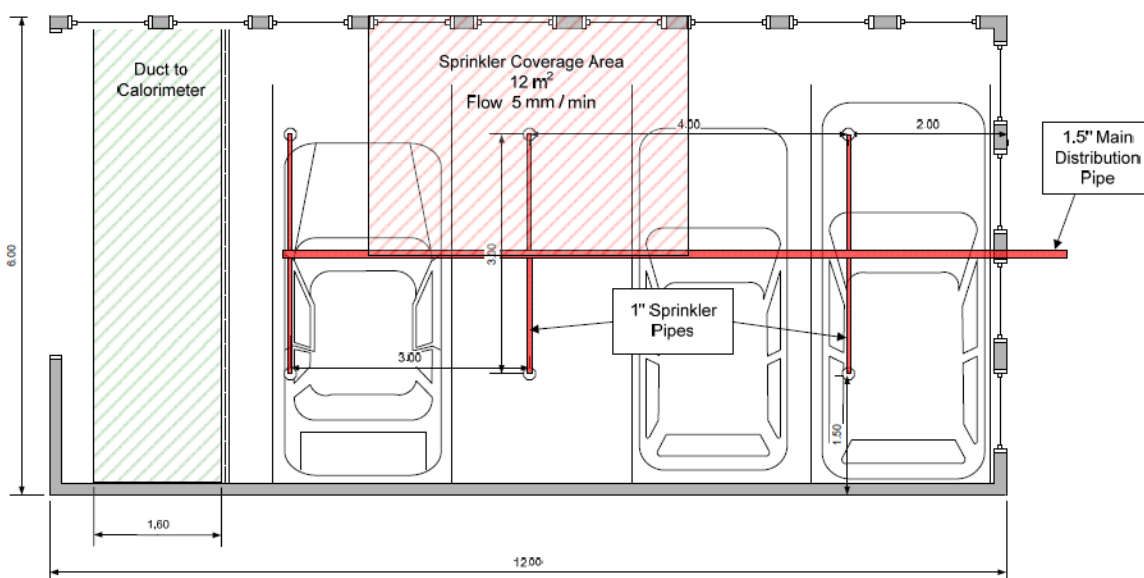


Figura 10. Esquema de la disposició dels cotxes i la distribució dels ruixadors per a l'extinció de l'incendi del test 2 de l'Informe del BRE. (BRE 2010)

En aquest incendi el foc s'inicia a l'interior del cotxe 1 i creix lliurement durant 4 minuts, quan s'activen els ruixadors propers al foc. A partir d'aquest punt el foc va en augment lentament fins haver transcorregut 40 minuts de l'inici, quan, tot i l'activació de tots els ruixadors, el Renault Grand Espace es crema assolint un pic màxim de 7,1 MW al voltant dels 53 minuts.

Després de 55 minuts de experiment, l'incendi comença a morir fins l'actuació dels cossos de bombers, poc després d'una hora. Els cotxes 2 i 3 no entren en ignició.

Els ruixadors treballen durant 60 minuts comptant des de l'activació del primer. Aquest temps representa la consumició del tanc d'abastament mínim per tal de poder extingir aquest incendi.

D'aquest experiment amb un mètode automàtic d'extinció es pot arribar a la conclusió que els ruixadors no són capaços d'extingir el foc d'un cotxe, però sí que poden evitar la propagació a la resta de vehicles propers i retarda significativament el període d'ignició, per tant, en aquest treball la valorem com una corba d'incendi d'un sol cotxe tot i l'afectació per calor que puguin patir la resta.

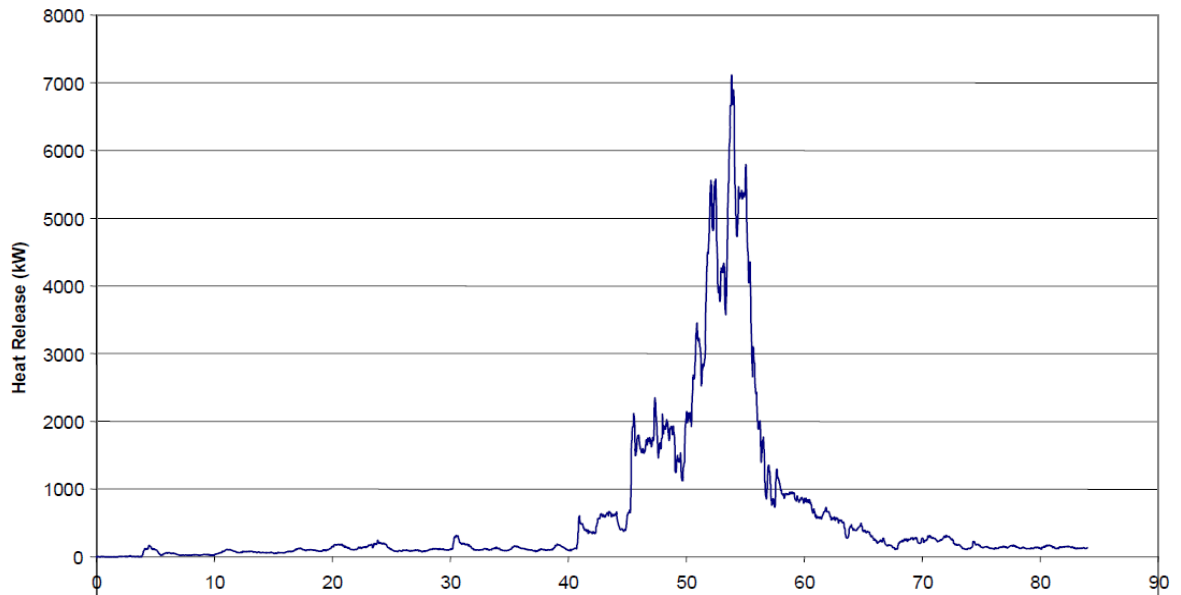


Figura 11. Corba d'incendi amb actuació de ruixadors registrada al test nº 2 de l'informe del BRE del 2010. (BRE 2010)

5.1.3.1. Corba experimental 3

Degut a l'activació dels ruixadors durant els primers 40 minuts la despesa de calor de l'incendi del Renault és molt baixa, essent només el 6,6% del total i el HRR màxim en aquests 40 minuts és de 0,309 MJ. L'incendi té el seu HRR màxim als 54 minuts i comença a decreixer fins que l'incendi és extingit, al minut 84, no obstant això, a partir del minut 74 l'aporta un 3% de la calor total emesa i el HRR no supera el 2,6%, és per això que aquests dos trams de dades experimentals no es tenen en compte a l'hora de fer l'estudi.

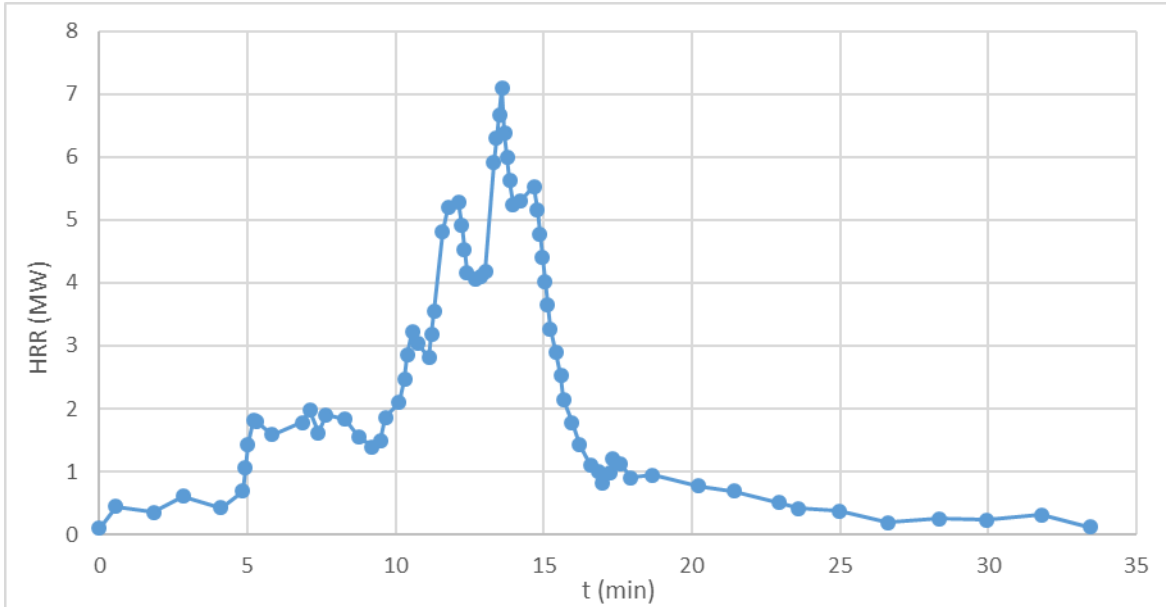


Figura 12. Recopilació de dades de la corba d'incendi 3.

Aquest retall de les dades experimentals fan que quedi una corba de 34 minuts la qual es manté per sota de 1 MW de HRR durant els cinc primers minuts. Posteriorment creix a un HRR al voltant de 2 MW i es manté fins al minut 10. A partir d'aquest moment el HRR creix fins a arribar al seu pic màxim de 7,1 MW als 13 minuts i 35 segons.

Després del pic màxim, el HRR disminueix ràpidament fins al valor de 1 MW als 18 minuts, moment al que decreix lentament fins arribar al seu final als 34 minuts.

La despesa total de calor mostrada a aquesta corba és de 2698 MJ.

5.1.3.2. Simplificació 5

La primera simplificació de la corba experimental 3 està feta recollint les dades cada dos minuts.

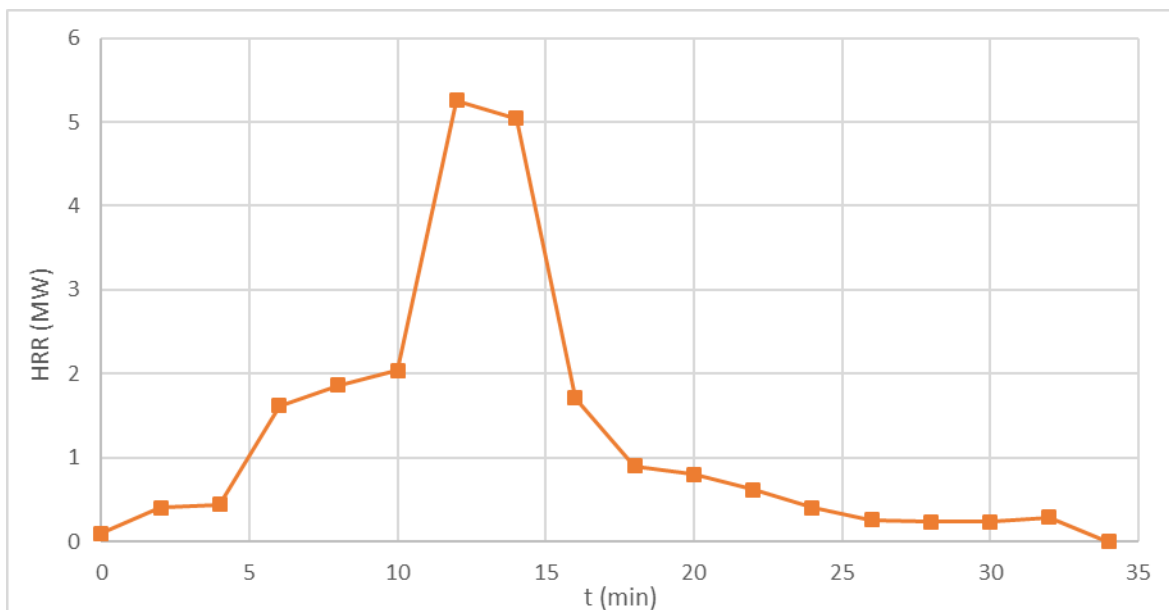


Figura 13. Simplificació 5: Primera simplificació de la corba experimental 3.

La simplificació té una durada de 34 minuts i té el seu flashover als 12 minuts, tenint un perfil ascendent fins aquest punt i un perfil descendent des d'aquest moment fins al final, sense tenir canvis de sentit.

El flashover és de 5,1 MW i té una despesa de calor total de 2659 MJ.

5.1.3.3. Simplificació 6

La segona simplificació proposada per aquesta corba experimental es fa agafant els màxims i mínims locals, simplificant la corba i fent que sigui més fàcil de processar.

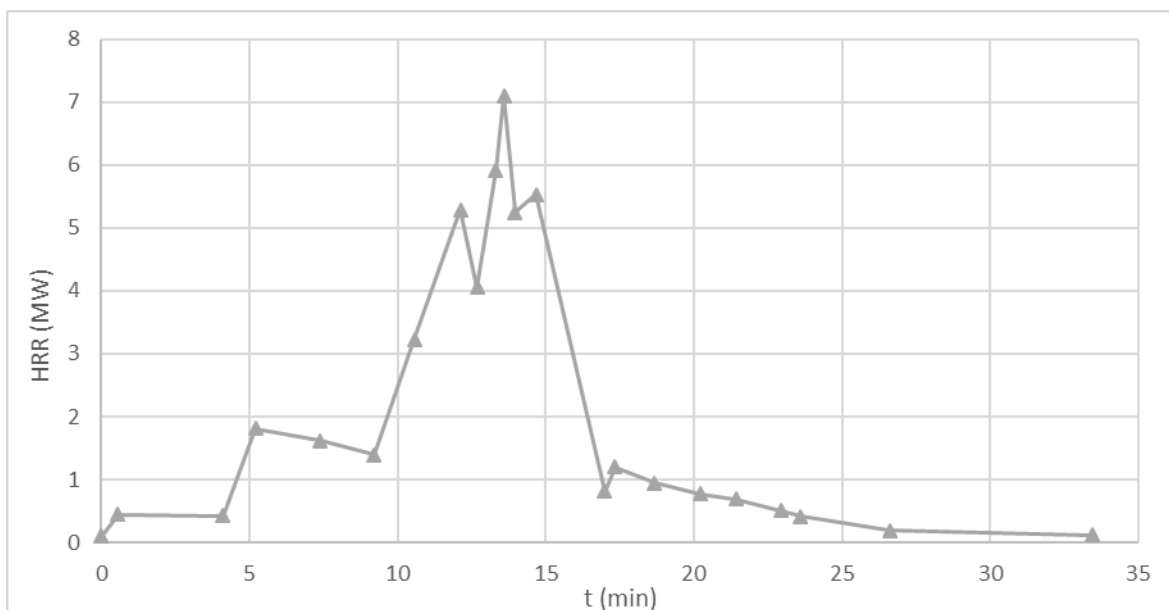


Figura 14. Simplificació 6: Segona simplificació de la corba experimental 3.

Aquesta simplificació té una tendència creixent, amb fluctuacions, des de l'inici fins els 13 minuts i 36 segons, moment en el que arriba al flashover amb un HRR de 7,1 MW.

Els punts que delimiten la corba són els següents:

- 0,1 MW a l'inici de l'experiment.
- 1,8 MW als 5 minuts i 12 segons.
- 1,4 MW als 9 minuts i 12 segons.
- 7,1 MW als 13 minuts i 36 segons.
- 0,1 MW als 33 minuts i 24 segons.

Aquest últim punt es en el que s'acaba l'experiment, sent així la durada total de la corba.

La despesa total de calor d'aquesta simplificació és de 2840 MJ.

5.1.3.4. Comparativa 3

A la següent taula comparativa podem observar les dades de la corba experimental i les dues simplificacions proposades.

Taula 5. Taula comparativa entre la corba experimental 3 i les simplificacions 5 i 6.

	Pic màxim HRR (MW)	Temps del pic màxim (min)	Temps total (min)	Energia total despesa (MJ)
Corba experimental	7,1	13,6	33,4	2698
Simplificació 5	5,3	12	34	2659
Simplificació 6	7,1	13,6	33,4	2840

El temps de durada de la total de la simplificació 5 és semblant al de la corba experimental, i aquesta variació esdevé de la presa de dades cada dos minuts, i el de la simplificació 6 és el mateix.

La energia total despesa de la simplificació 5 té una variació del 1,4% respecte la corba experimental i la de la simplificació 6 és desvia més, un 5,3%, no obstant això, el pic màxim de HRR i el temps de assoliment d'aquest és molt diferent, com es pot observar a la Taula 6.

Taula 6. Taula comparativa de la semblança entre les simplificacions 5 i 6 i la corba experimental 3.

	Pic màxim HRR (%)	Temps del pic màxim (%)	Temps total (%)	Energia total despesa (%)	Mitjana de la semblança (%)
Simplificació 5	74,0	88,2	98,2	98,6	89,8

Simplificació 6	100,0	100,0	100,0	94,7	98,7
------------------------	-------	-------	-------	------	------

Aquestes variacions tan grans fan que la simplificació 5 no sigui una bona representació de la corba experimental, per tant escullo la simplificació 6 com a representació de la corba experimental 3.

5.2. Corbes d'incendi simplificades proposades a estudis

En aquest apartat es presenten dues corbes trobades repetidament a diferents documents en la recerca bibliogràfica. En aquests mateix documents es troben taules amb les mateixes dades que conformen les corbes.

5.2.1. Corba E4

Entre el 1998 i el 2001 els grups d'investigació *TNO Building and Construction Research*, *Centre Technique Industriel de la Construction métallique* i *ProfilArbed Recherches* van dur a terme tot un treball d'investigació sobre incendis de cotxes en pàrquings, oberts i tancats, i els seus efectes en l'estructura dels edificis en els que estaven situats (Joyeux et al. 2002) amb l'intenció de demostrar la veracitat de la conclusió de l'*European Coal and Steel Community* que afirma que no és necessari aïllar les seccions d'acer (bigues i/o columnes) per tal de obtenir un nivell de seguretat satisfactori.

Per aquesta investigació es van dur a terme diferents experiments:

- Incendis locals en grans compartiments
- Un escenari d'incendi en un aparcament obert amb diversos cotxes involucrats
- Un escenari d'incendi en un aparcament tancat amb diversos cotxes involucrats

D'aquests tres escenaris en aquest apartat ens centrarem en els resultats obtinguts en els experiments de l'escenari d'incendi en un aparcament obert, ja que ens proporciona unes corbes d'incendi realistes per poder aplicar-les a altres tipus de situacions.

Els cotxes europeus de l'època es poden classificar en 5 categories (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) segons l'energia teòrica després a l'incendi:

Taula 7. Classificació de cotxes en funció de la energia teòrica emesa. (Joyeux et al. 2002)

Marca	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4	Categoria 5
Peugeot	106	306	406	605	806
Renault	Twingo-Clio	Megane	Laguna	Safrane	Espace
Citroën	Saxo	ZX	Xantia	XM	Evasion

Ford	Fiesta	Escort	Mondeo	Scorpio	Galaxy
Opel	Corsa	Astra	Vectra	Omega	Frontera
Fiat	Punto	Bravo	Tempra	Croma	Ulysse
Volkswagen	Polo	Golf	Passat	//	Sharan
Pes del cotxe	850 kg	1000 kg	1250 kg	1400 kg	
Materials combustibles	200 kg	250 kg	320 kg	400 kg	
Energia teòrica	6000 MJ	7500 MJ	9500 MJ	12000 MJ	

Per dur a terme aquest treball es va utilitzar una corba simplificada provinent d'un estudi del mateix *CTICM* (Zhao and Kruppa 2004), el qual busca actualitzar les corbes d'incendi als cotxes utilitzats durant els anys 90.

Aquests experiments consten de 10 tests duts a terme entre el 1995 i el 1996, utilitzant cotxes antics (dels anys 70 i 80) i nous (dels anys 90): 5 tests amb un sol cotxe i 5 tests amb 2 cotxes implicats. Tots els cotxes tenien 4 rodes amb neumàtics i el dipòsit estava omplert a $2/3$ de la seva capacitat

En els primers 7 tests, els cotxes incendiats tenien la finestra del conductor oberta completament i la de l'acompanyant del davant oberta per la meitat, amb totes les portes tancades i el foc s'iniciava amb un dipòsit de 1,5 l de benzina sota el seient del conductor. En els casos on hi havia un segon cotxe implicat, aquest tenia les finestres tancades.

En els 3 últims tests el foc s'originava amb 1 l de benzina situat a la caixa de canvis.

D'aquests test es van escollir dues corbes d'incendi, una per els cotxes de nova generació i una per cotxes de velles generacions, obtingudes amb la tècnica de consum d'oxigen.

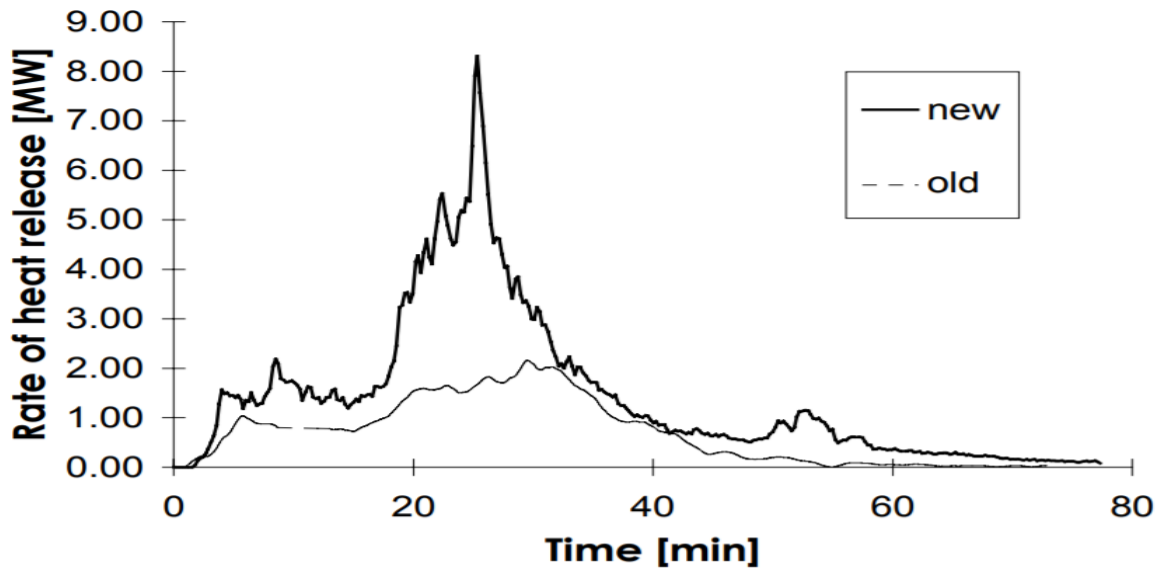


Figura 15. Corbes experimentals en les que es basa la corba E4. (Zhao and Kruppa 2004)

D'aquests tests van proposar la següent corba de referència per a incendis en un sol vehicle.

Aquesta corba de referència proposada pel CTICM té una durada de 70 minuts i té una tendència ascendent des de l'inici fins al minut 25, moment en el que arriba al flashover i des d'aquest moment decau fins als 70 minuts, moment en el que donen l'experiment per acaba.

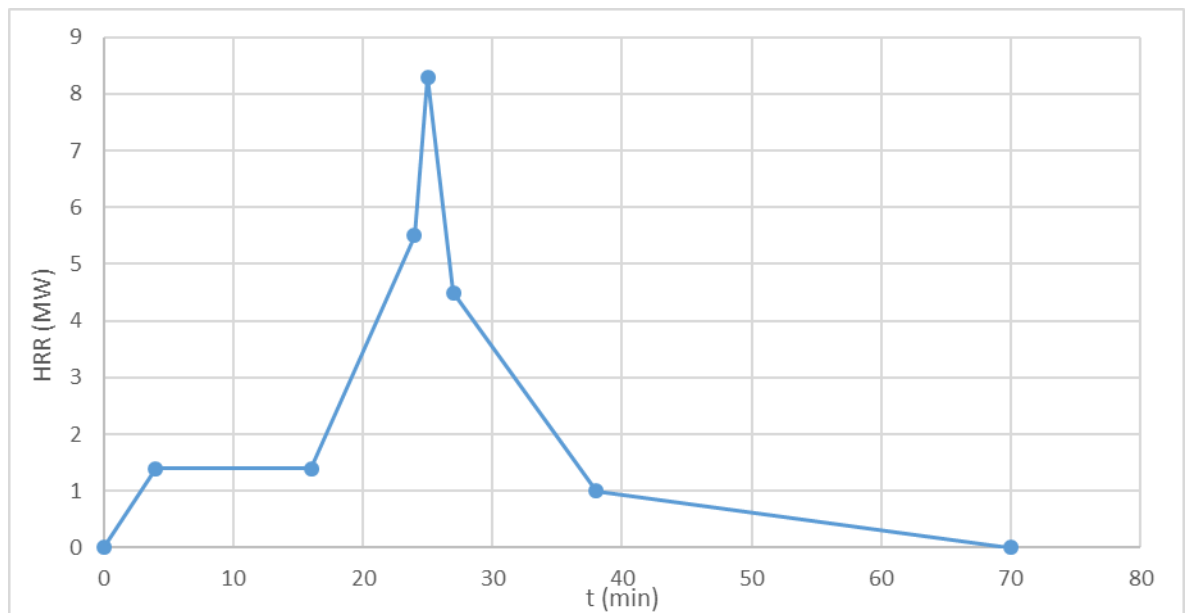


Figura 16. Corba d'estudi E4.

La despesa total de calor d'aquesta corba és de 1396 MJ.

5.2.2. Corba E5

El 20 de juny del 1999 el *TNO Building and Construction Research* va presentar un informe patrocinat per Novenco B. V., sobre l'efectivitat de l'empenta dels ventiladors en aparcaments tancats a l'hora de conduir els fums i la calor durant un incendi en dos models diferents de ventiladors.

Per la realització d'aquest informe van dur a terme la recaptació de dades de quatre incendis a través del mètode de pèrdua de massa i d'aquesta recopilació de dades van proposar una corba per a poder reproduir en simulacions CFD.

La corba proposada és la següent:

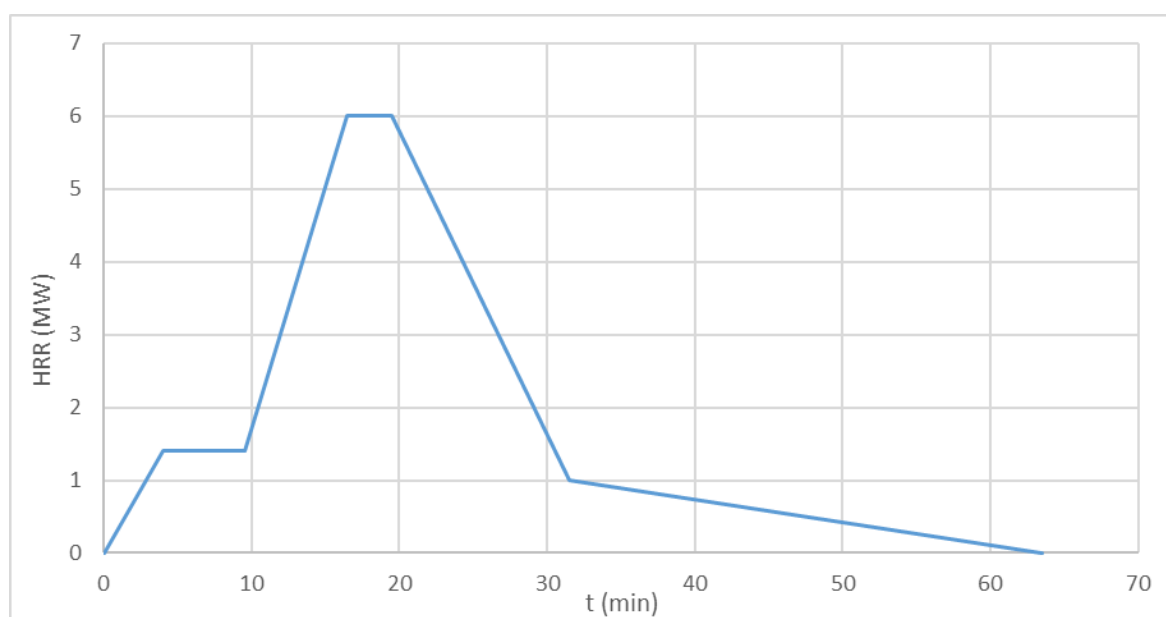


Figura 17. Corba d'estudi E5.

Aquesta corba està ajustada a una corba presentada pel *European CCP* i la presenten com la actualització d'aquesta ja que, tot i estar ajustada, correspon amb les dades obtingudes als experiments.

6. Comparativa de les corbes proposades

Un cop escollides les corbes presentades en els apartats anteriors les recollim per tal de fer una valoració de quina creiem que és la més adequada.

A la Figura 18 podem veure les cinc corbes proposades una a sobre de l'altra que ens permet fer una primera comparació visual d'aquestes.

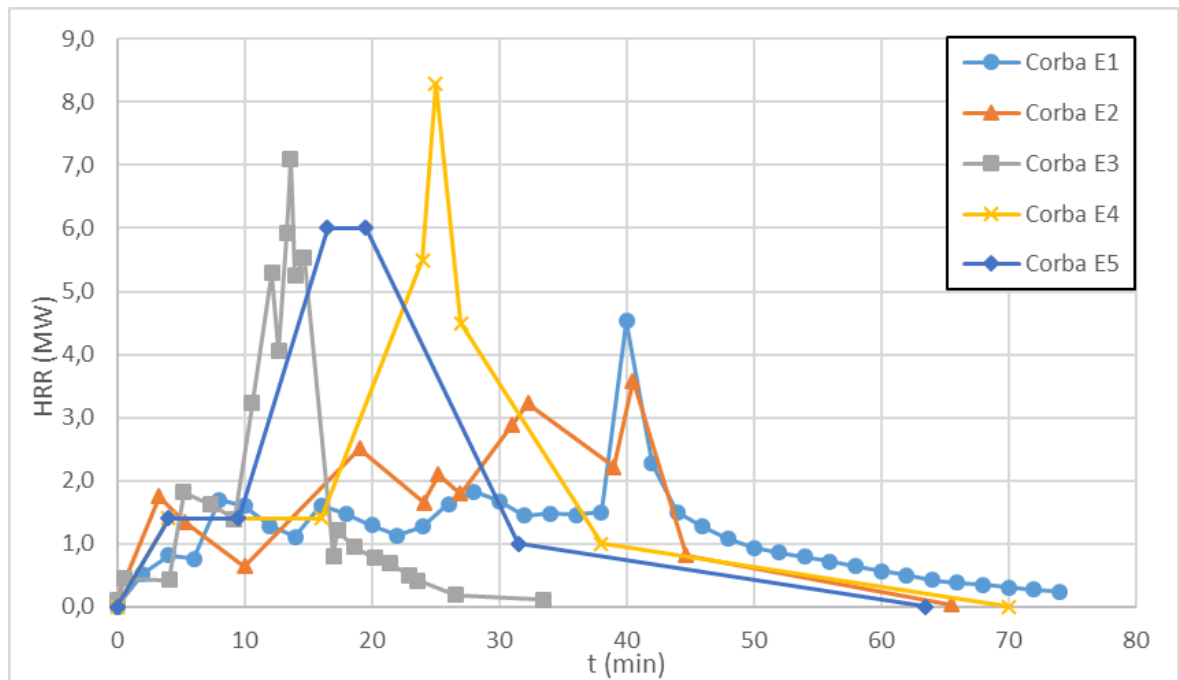


Figura 18. Recull de les 5 corbes proposades que seran comparades.

Aquestes corbes són les següents:

- Corba E1: La corba E1 correspon a la simplificació 1, la primera simplificació de la corba experimental 1.
- Corba E2: La corba E2 correspon a la simplificació 4, la segona simplificació de la corba experimental 2.
- Corba E3: La corba E3 correspon a la simplificació 6, la segona simplificació de la corba experimental 3.
- Corba E4: La corba E4 és la corba exposada a l'apartat 5.2.1.
- Corba E5: La corba E5 és la corba exposada a l'apartat 5.2.2.

A la següent taula podem observar les variables valorades anteriorment per a fer l'elecció de les corbes simplifiades de les 5 corbes presentades en aquest treball.

Taula 8. Recopilació de variables de les cinc corbes considerades.

	Pic màxim HRR (MW)	Temps del pic màxim (min)	Temps total (min)	Energia total despresa (MJ)
Corba E1	4,5	40,0	74,0	5169
Corba E2	3,6	40,5	66,0	5710
Corba E3	7,1	13,6	33,4	2840
Corba E4	8,3	25,0	70,0	1396
Corba E5	6,0	16,5	63,5	1012

A partir d'aquestes variables intentarem determinar quina és la corba que creiem més adient per a un disseny prestacional en aparcaments. Valorarem aquestes dades en dos grups:

- Pic màxim del HRR i temps del pic màxim.
- Temps total i Energia total.

La corba que busquem és una corba que tingui un pic màxim gran i tingui una durada llarga, per tal de que sigui una posada a prova estricta de la simulació en la que s'arribi a utilitzar, i per avaluar això s'ordenarà del més petit al més gran, assignant un número del 1 al 5 en cada variable avaluada, i es farà la mitjana.

6.1. Temps i pic màxim del HRR

El pic màxim del *heat release rate* ens indica el moment en el que s'està alliberant més calor per segon. Aquest alliberament de calor tan gran es produeix perquè tot els voltants de l'incendi entren en ignició i esdevé el punt d'inflexió de l'incendi, ja que a partir d'aquí l'incendi comença a extingir-se. També s'ha de tenir en compte que la gran majoria de l'energia emesa durant l'incendi és abans d'aquest pic

El temps en el que arriba aquest pic màxim per si sol no ens diu res, però en comparació amb el temps total de incendi ens indica si l'alliberament ha sigut ràpid o ha prolongat en el temps. Per poder valorar això calculem el temps d'aparició del pic màxim respecte del temps total.

Taula 9. Temps d'aparició del pic màxim de les corbes proposades.

	Temps del pic màxim (min)	Temps total (min)	Temps d'aparició (%)
Corba E1	40,0	74,0	54,1
Corba E2	40,5	66,0	61,4
Corba E3	13,6	33,4	40,7
Corba E4	25,0	70,0	35,7
Corba E5	16,5	63,5	26,0

Tenint en compte aquests dos valors, procedim a organitzar les cinc corbes en un ordre que s'adeqüi a les prestacions mencionades en l'apartat anterior:

En el valor de pic màxim, tenim que la corba que té el valor més gran és la corba E4, seguit de la corba E3, la corba E5, la corba E1 i per últim, la corba E2.

Per altre banda, l'ordre de les corbes respecte al temps d'aparició és el següent: corba E2, corba E1, corba E3, corba E4 i corba E5.

Per tant, l'ordre d'aquestes dues variables és el següent:

Taula 10. Ordre de les corbes respecte al pic màxim i el temps d'aparició.

	Pic màxim HRR (MW)	Temps d'aparició (%)
Corba E1	2	4
Corba E2	1	5
Corba E3	4	3
Corba E4	5	2
Corba E5	3	1

6.2. Energia total despresa i temps total de incendi

L'energia total despresa i el temps total d'incendi es poden avaluar per separat, però és més simple i té més sentit avaluar-los junts, calculant el HRR mitjà de cada corba. Aquesta dada ens proporciona informació sobre quina seria la quantitat de calor que s'alliberaria si la corba fos constant i ens dona una idea de a quina velocitat es desprèn la calor alliberada durant l'incendi.

Taula 11. HRR mitjà de les corbes proposades.

	Temps total (min)	Energia total despresa (MJ)	HRR mitjà (MW)	HRR mitjà (MW)
Corba E1	74,0	5169,0	1,16	3
Corba E2	66,0	5710,0	1,44	5
Corba E3	33,4	2840,0	1,42	4
Corba E4	70,0	1396,0	0,33	2
Corba E5	63,5	1012,0	0,27	1

A la Taula 11 es pot observar que l'ordre de les corbes és el següent: corba E2, corba E3, corba E1, corba E4 i corba E5.

6.3. Resultat

Per concloure aquest apartat, procedim a comparar les tres notes obtingudes de cadascuna de les 5 corbes per decidir veure quina d'elles s'adapta més al nostre objectiu.

A la següent taula podem veure aquesta comparació:

Taula 12. Comparació de les notes posades a les corbes i mitjana de les notes.

	Pic màxim HRR (MW)	Temps d'aparició (%)	HRR mitjà (MW)	Mitjana
Corba E1	2	4	3	3,0
Corba E2	1	5	5	3,7
Corba E3	4	3	4	3,7
Corba E4	5	2	2	3,0
Corba E5	3	1	1	1,7

Les dues corbes amb més nota són la corba E2 i la corba E3, per tant, s'ha de tenir en compte les variables individualment.

La corba E2 té el pic màxim de HRR més baix de totes les corbes proposades (3,6 MW), mentre que la corba E3 té el segon pic més gran (7,1 MW), no obstant això, la corba E2 té una aparició del pic màxim més tardana que la E3 tant en temps, trigant 27 minuts més, com en percentatge respecte el total, apareixent un 20,6% més tard. L'aparició més tardana implica una major despresa de calor durant més temps, cosa que es pot observar també en la despresa de calor total, on la corba E2 emet un 101% més de calor que la corba E3.

Tenint en compte els motius exposat proposem la corba E2 com la corba que s'ajusta més al nostre objectiu.

7. Proposta de corba d'incendi

En aquest apartat fem una recopilació de les dades corresponents a la corba que hem proposat com a corba de referència per a projecte de disseny prestacional a aparcaments:

- Proposta de corba:

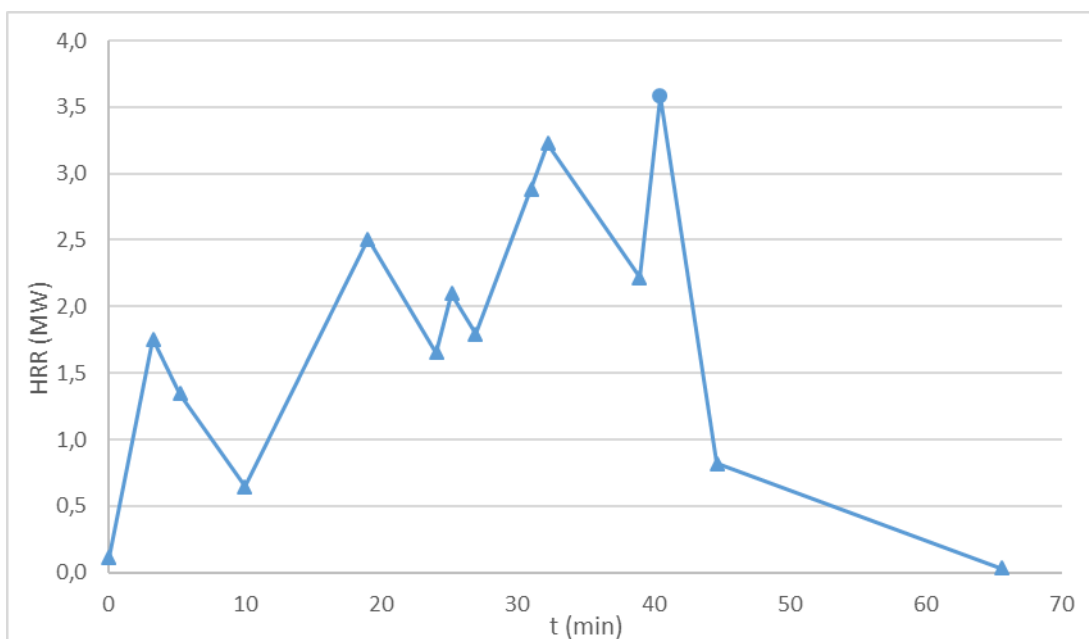


Figura 19. Proposta de corba d'incendi per a projectes de disseny prestacional a aparcaments

- Dades de la corba:
- Taula 13. Dades de la corba proposada.

Corba E2		
Temps (min)	HRR (MW)	Energia despesa (MJ)
0	0,1	0,0
3,2611	1,8	182,9
5,2513	1,3	184,9
10,0125	0,6	283,7
19,0261	2,5	852,2
24,0719	1,7	629,6
25,2067	2,1	127,6
26,9124	1,8	199,1
31,028	2,9	577,8

32,2342	3,2	221,2
38,9852	2,2	1103,3
40,4719	3,6	258,9
44,6721	0,8	555,1
65,5563	0,0	533,8
Total	5710	

Taula 14. Dades utilitzades a la valuació de la corba.

	Pic màxim HRR (MW)	Temps del pic màxim (min)	Temps total (min)	Energia total despresa (MJ)	HRR mitjà (MW)
Corba proposada	4	41	66	5710,0000	1

-

8. Anàlisi de l'impacte ambiental

En els apartats anteriors d'aquest treball es relaten diferents incendis provocats per tal de registrar dades per millorar les eines de treball davant d'incendis, per tant, es pot afirmar que en aquest treball existeix un impacte ambiental.

Degut a que la tecnologia avança i els materials amb els que es fabriquen els vehicles canvien, les propietats i les corbes d'incendi canvien també, és per això que, si es volen obtenir eines de treball per a fer simulacions en models de dues zones o simulacions CFD, és difícil reduir l'impacte ambiental. És per això que aquest treball busca donar una opció vàlida per poder fer les simulacions i així intentar reduir l'impacte ambiental derivat de la investigació dels incendis.

A continuació es farà una estimació de la massa de diòxid de carboni (CO₂) emesa a l'atmosfera en l'incendi amb l'alliberament de calor més gran d'aquest treball, ja que és l'incendi que ha creat més impacte ambiental.

Primer de tot, s'han realitzar unes estimacions per dur a terme el càlcul:

- Tot el combustible cremat és fuel amb un poder calorífic de 11,16 kWh/kg de fuel
- L'energia total despresa és de 10352 MJ.
- Les emissions de CO₂ són de 3,05 kg CO₂/kg fuel.

$$20,256 * 10^6 \text{ kJ} * \frac{1 \text{ kg fuel}}{11,16 \text{ kWh}} * \frac{1 \text{ kWh}}{3600 \text{ kJ}} * \frac{3,05 \text{ kg CO}_2}{1 \text{ kg fuel}} = 785,88 \text{ kg CO}_2$$

En aquest incendi de tres cotxes es van abocar 785,88 kg de CO₂ a l'atmosfera.

Tampoc podem oblidar-nos de la petjada de carboni que s'ha deixat durant l'elaboració d'aquest treball, ja que l'energia elèctrica també genera CO₂.

Per fer aquest càlcul s'han realitzat les següents estimacions:

- El consum d'un ordinador és de 0,55 kW.
- El temps utilitzat per tots els ordinadors en els quals s'ha fet revisat i corregit aquest treball és de 700 hores
- La producció de CO₂ per l'energia elèctrica és de 0,3 kg CO₂/kWh.

$$0,55 \text{ kW} * 700 \text{ h} * 0,3 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}} = 115,5 \text{ kg CO}_2$$

Tot i que en comparació amb la petjada de CO₂ que deixa l'incendi, el consum energètic sembla petit, no podem obviar que el fet de elaborar aquest treball també contamina en grans quantitats.

Conclusions

Tal i com he anomenat a l'apartat 2.1 l'objectiu principal d'aquest treball de fi de grau és trobar una corba que pugui ser utilitzada de referència per disseny prestacional en aparcaments tancats.

L'estudi s'ha dut a terme en dues fases: en la primera s'ha fet una proposta de cinc corbes i en la segona s'ha fet l'elecció d'una d'aquestes corbes segons els següents paràmetres:

- El valor del pic màxim del HRR
- El temps en assolir el pic màxim del HRR
- La durada total de l'incendi
- L'energia total despesa per l'incendi
- HRR mitjà de l'incendi

Basant-nos en aquestes variables s'ha pres la decisió d'escollir una de les simplificacions de la segona corba experimental presentada com a proposta de corba d'incendi per a la validació a través de simulacions CFD de mesures de protecció contra incendis basats en disseny prestacional en aparcaments tancats

Cal remarcar que el disseny prestacional no és absolut ni està desenvolupat en la seva totalitat, i no es pot afirmar que sigui millor que el disseny prescriptiu, no obstant això, al tenir un cost material inferior al disseny prescriptiu pot reduir els costos dels projectes d'edificació a costa de consumir més recursos humans i informàtics.

També ha de quedar clar que em escollit aquesta corba com a proposta sota les condicions que nosaltres mateixos hem imposat. La elecció d'aquesta corba no invalida cap investigació anterior ni posterior a aquest estudi, ni tampoc invalida la possibilitat de que es trobi vàlida l'elecció d'una altre corba sota uns altres criteris, i, a més, creiem oportú que en un futur es torni a fer un estudi semblant recollint noves dades per tal de mantenir actualitzat el camp del disseny prestacional.

Anàlisi Econòmica

En l'anàlisi econòmic hi ha diferents tipus de despeses que es produeixen durant la realització del Treball Final de Grau. A continuació es presentaran en forma de taules. Cal recordar que són valors aproximats a la realitat i ajustats a l'ús aplicat.

Taula 15. Costos associats amb els actius.

ACTIUS	QUANTITAT	PREU (€)
Ordinadors CERTEC	2	250
Portàtil	1	450
Subtotal		950 €

Es poden considerar actius tots aquells béns que puguin ser intercanviats per efectiu, per tant, aquests són els actius utilitzats durant el projecte.

Taula 16. Costos associats al personal.

PERSONAL	SOU (€/h)	HORES
Directora	30	100
Projectista	15	600
Subtotal		12.000 €

En l'anàlisi econòmic s'han de tenir en compte les despeses produïdes amb el personal, la retribució que tenen aquells membres que han participat en el projecte

Taula 17. Costos associats al consum energètic.

ELECTRICITAT	PREU (€/kWh)	HORES
Portàtil personal	0,13	500
Ordinador CERTEC	0,13	200
Subtotal		91 €

Aquestes són les despeses energètiques produïdes per l'activitat dels dispositius amb els quals s'ha dut a terme el projecte.

Taula 18. Costos totals de l'elaboració del treball final de carrera.

	TOTAL DESPESES
Actius	950 €
Personal	12.000 €
Electricitat	91 €
Total	13.041 €

Degut a que en aquest projecte no s'ha utilitzat una gran quantitat d'actius ni d'energia, és totalment raonable que el gruix dels costos estigui dedicat a la retribució del personal que ha participat en el projecte.

Es determina que la quantitat total a la que ascendeix el cost del Treball Final de Grau és de TRETZE MIL QUARANTA-UN EUROS.

Índex d'imatges

Figura 1. Diagrama de successos per al disseny prestacional proposat pels bombers de la Generalitat de Catalunya.(Bombers de la Generalitat de Catalunya 2017)	18
Figura 2. Corba d'incendi per un cotxe registrada al test nº 7 de l'informe del BRE del 2010.(BRE 2010)	20
Figura 3. Recopilació de dades de la corba d'incendi 1.	21
Figura 4. Simplificació 1: Primera simplificació de la corba experimental 1.	22
Figura 5. Simplificació 2: Segona simplificació de la corba experimental 1.	22
Figura 6. Corba d'incendi per un cotxe registrada al test nº 8 de l'informe del BRE del 2010 (BRE 2010).	25
Figura 7. Recopilació de dades de la corba d'incendi 2.	26
Figura 8. Simplificació 3: Primera simplificació de la corba experimental 2.	27
Figura 9. Simplificació 4: Segona simplificació de la corba experimental 2.	29
Figura 10. Esquema de la disposició dels cotxes i la distribució dels ruixadors per a l'extinció de l'incendi del test 2 de l'Informe del BRE. (BRE 2010)	30
Figura 11. Corba d'incendi amb actuació de ruixadors registrada al test nº 2 de l'informe del BRE del 2010. (BRE 2010)	31
Figura 12. Recopilació de dades de la corba d'incendi 3.	32
Figura 13. Simplificació 5: Primera simplificació de la corba experimental 3.	33
Figura 14. Simplificació 6: Segona simplificació de la corba experimental 3.	33
Figura 15. Corbes experimentals en les que es basa la corba E4. (Zhao and Kruppa 2004)	37
Figura 16. Corba d'estudi E4.	37
Figura 17. Corba d'estudi E5.	38
Figura 18. Recull de les 5 corbes proposades que seran comparades.	39

Índex de taules

1. Índex de taules de la memòria

Taula 1. Taula comparativa entre la corba experimental 1 i les simplificacions 1 i 2. _____	23
Taula 2. Taula comparativa de la semblança entre les simplificacions 1 i 2 i la corba experimental 1. _____	23
Taula 3. Taula comparativa entre la corba experimental 2 i les simplificacions 3 i 4. _____	29
Taula 4. Taula comparativa de la semblança entre les simplificacions 3 i 4 i la corba experimental 2. _____	29
Taula 5. Taula comparativa entre la corba experimental 3 i les simplificacions 5 i 6. _____	34
Taula 6. Taula comparativa de la semblança entre les simplificacions 5 i 6 i la corba experimental 3. _____	34
Taula 7. Classificació de cotxes en funció de la energia teòrica emesa. (Joyeux et al. 2002) _____	35
Taula 8. Recopilació de variables de les cinc corbes considerades. _____	40
Taula 9. Temps d'aparició del pic màxim de les corbes proposades. _____	40
Taula 10. Ordre de les corbes respecte al pic màxim i el temps d'aparició. _____	41
Taula 11. HRR mitjà de les corbes proposades. _____	41
Taula 12. Comparació de les notes posades a les corbes i mitjana de les notes. _____	42
- Taula 13. Dades de la corba proposada. _____	43
Taula 14. Dades utilitzades a lavaluació de la corba. _____	44
Taula 15. Costos associats amb els actius. _____	49
Taula 16. Costos associats al personal. _____	49
Taula 17. Costos associats al consum energètic. _____	49
Taula 18. Costos totals de l'elaboració del treball final de carrera. _____	50

2. Índex de taules de l'annex A

Taula A1. 1. Dades de la corba experimental 1.	56
Taula A1. 2. Dades de la primera simplificació de la corba experimental 1.	57
Taula A1. 3. Dades de la segona simplificació de la corba experimental 1.	58
Taula A1. 4. Dades de la corba experimental 2.	59
Taula A1. 5. Dades de la primera simplificació de la corba experimental 2.	63
Taula A1. 6. Dades de la segona simplificació de la corba experimental 2.	64
Taula A1. 7. Dades de la corba experimental 3.	64
Taula A1. 8. Dades de la primera simplificació de la corba experimental 3.	66
Taula A1. 9. Dades de la segona simplificació de la corba experimental 3.	67
Taula A1.10. Dades de la corba E4. (CTICM) Joyeux, 2002.	68
Taula A1. 11. Dades de la corba E5.	68

3. Índex de taules de l'annex B

Taula B1. 1 Descripció dels objectius d'evacuació dels ocupants (Bombers de la Generalitat de Catalunya 2017).	69
Taula B1. 2. Descripció dels objectius de ventilació de fums d'incendi (Bombers de la Generalitat de Catalunya 2017).	70
Taula B1. 3. Descripció dels objectius per a la intervenció dels bombers (Bombers de la Generalitat de Catalunya 2017).	71

Bibliografia

- “Calculation of CO₂ Emissions.” Accessed May 2, 2019. [https://people.exeter.ac.uk/TWDavies/energy_conversion/Calculation of CO₂ emissions from fuels.htm](https://people.exeter.ac.uk/TWDavies/energy_conversion/Calculation_of_CO2_emissions_from_fuels.htm).
- “Guía Práctica Para El Cálculo de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) GUÍA PRÁCTICA PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI).” Accessed April 26, 2019. https://descubrelaenergia.fundaciondescubre.es/wp-content/blogs.dir/9/files/2013/07/Guia-practica-calcul-emisiones_rev_ES.pdf.
- “Tipus @ Portal-Aenormas-Aenor-Com.Recursos.Biblioteca.Upc.Edu,” n.d. <https://portal-aenormas-aenor-com.recursos.biblioteca.upc.edu/aenor/visor.asp?pidnorma=087057057060059059060066-679097560&pidioma=ES&pidtipo=N>.
- (DIEC2). “Incendi - Diec2.” Accessed April 30, 2019. <http://mdlc.iec.cat/results.asp?txtEntrada=incendi&operEntrada=0>.
- AEN/CTN 100. “UNE 100166:2004,” 2004. <https://portal-aenormas-aenor-com.recursos.biblioteca.upc.edu/aenor/visor.asp?pidnorma=087057057060059059060066-679097570&pidioma=ES&pidtipo=N>.
- Alberto Morán Vaquero. “Documentos_PCI_Combustibles_Carburantes_final_valores_Update_2014_0830376a,” 2014. <http://www.idae.es/estudios-informes-y-estadisticas>.
- Bombers de la Generalitat de Catalunya. “Guia Tècnica de Disseny Prestacional (PBD). Sistemes de Control de Fums i Calor per Impulsos,” 2017, 1–18.
- BRE. “Fire Spread in Car Parks,” 2010.
- CEC. “Closed Car Parks, Final Report,” 1999.
- En, Norma Europea, Norma Internacional Cei, and Normas Une. “Norma Española,” 2004.
- Endesa. “Contracte Energètic,” n.d.
- Feijter, M, and A Breunese. “Investigation of Fire in the Lloydstraat Car Park, Rotterdam” 0894, no. July 2006 (2007): 1–50.
- Fomento, Ministerio De. “Documento Básico Seguridad de Incendios,” n.d.
- Heinisuo, Markku, and Mikko Partanen. Modeling of Car Fires with Sprinklers, 2013.
- Hurley, Morgan J. SFPE Handbook of Fire Protection Engineerin, 2016.
- Joyeux, D. (CTICM), J. (CTICM) Kruppa, L.-G. (ARBED Recherches) Cajot, J.-B. (ARBED Recherches) Schleich, P. (TNO) Van de Leur, and L. (TNO) Twilt. “Demonstration of Real Fire Tests in Car Parks

- and High Buildings - EU Law and Publications,” 2002, 1–172.
- Lacasta, Ana Maria. “Simuladors d’Incendis-Programa FDS,” 2009. https://www.enginyersbcn.cat/media/upload/pdf/conf_cetib_09_INSCRIP_ACTIVITATS_58_1.pdf.
- Merci, B., and M. Shipp. “Smoke and Heat Control for Fires in Large Car Parks: Lessons Learnt from Research?” *Fire Safety Journal* 57 (2013): 3–10. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2012.05.001>.
- Mitchell, Mark, Baurzhan Muftakhidinov, and Tobias Winchen et al. “Engauge Digitizer Software,” 2019. <http://markummitchell.github.io/engauge-digitizer>.
- Muñoz Blanc, C., and I. Fortea Navarro. “El Diseño Basado En Prestaciones Frente Al Incendio de Las Estructuras de Edificación.” *Informes de La Construcción* 69, no. 547 (2017): 215. <https://doi.org/10.3989/id56471>.
- NIST. “Fire Dynamics | NIST.” Accessed April 30, 2019. <https://www.nist.gov/el/fire-research-division-73300/firegov-fire-service/fire-dynamics>.
- NIST. “CFAST, Fire Growth and Smoke Transport Modeling | NIST.” Accessed May 2, 2019. <https://www.nist.gov/el/fire-research-division-73300/product-services/consolidated-fire-and-smoke-transport-model-cfast>.
- Pablo, Juan. “¿Cuánta Energía Gasta Un Ordenador? (Aproximaciones).” Accessed May 1, 2019. <http://www.leantricity.es/cuanta-energia-gasta-un-ordenador-aproximaciones/>.
- Penalva, Antonio Galán. “Estadísticas de Incendios,” 2015. <https://es.slideshare.net/antoniogalanpenalva/estadsticas-de-incendios-55414910>.
- Portela Pastoriza, Antonio. “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO EN CASO DE INCENDIO DE LAS DIFERENTES TIPOLOGÍAS DE EDIFICIOS DE GRAN ALTURA CONSTRUIDOS EN EL SIGLO XX EN BARCELONA Y SU ÁREA METROPOLITANA.” https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/18183/TFM_TESINA_ANÁLISIS_DEL_COMPORTAMIENTO_EN_CASO_DE_INCENDIO_DE_LAS_DIFERENTES_TIPOLOGÍAS_DE_EDIFICIOS_DE.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Rch, Steel Resea. “Science Research Development,” n.d.
- Oerle, N J Van, Lange Kleiweg, and P.H.E. Van de Leur. “TNO-Report Lee-CvB-R|442 (E) TNO Building and Construction Research,” 1999.
- Voluntaris, Bombers. “La Teoría Del Foc.” *Bomberts voluntaris*, 2009. http://www.bombersvoluntaris.com/images/Images-quefem/EL_TRIANGLE_DEL_FOC.pdf.
- Zahirasri, Mohd. “Multiple Vehicle Design Fire Scenarios in Car Parking Buildings,” 2015.
- Zhao, Bin, and Joël Kruppa. 2004. “Structural Behaviour of an Open Car Park under Real Fire Scenarios.” *Fire and Materials* 28 (2–4): 269–80. <https://doi.org/10.1002/fam.867>.
- Mark Mitchell, Baurzhan Muftakhidinov and Tobias Winchen et al, "Engauge Digitizer Software." Webpage: <http://markummitchell.github.io/engauge-digitizer>

Annex A. Dades addicionals de les corbes presentades

Taula A1. 1. Dades de la corba experimental 1.

Corba Experimental 1		
Temps (min)	HRR (MW)	Energia despesa (MJ)
0,0	0,0	0,0
0,0	0,1	0,0
0,7	0,3	7,5
2,1	0,5	34,5
2,9	0,6	28,4
3,5	0,8	25,4
4,4	0,8	45,3
5,4	0,7	43,0
6,4	0,8	45,0
7,3	1,4	57,9
7,7	1,4	31,6
7,8	1,6	14,5
8,8	1,9	106,8
10,3	1,5	153,4
10,8	1,5	43,2
11,0	1,3	16,8
12,4	1,3	107,9
13,7	1,1	95,5
14,5	1,1	50,9
14,9	1,4	32,1
15,4	1,6	44,5
16,5	1,6	106,6
19,7	1,3	277,8
21,6	1,2	139,7
22,9	1,1	86,9
24,0	1,3	79,3
24,4	1,5	29,2
25,8	1,6	134,5
27,6	1,7	182,5
28,5	2,0	99,7
29,2	1,8	73,5
30,7	1,6	150,1
31,3	1,5	57,6

33,0	1,4	144,4
34,2	1,5	110,1
34,7	1,3	40,2
35,5	1,4	66,0
38,4	1,5	262,1
38,6	1,7	10,9
38,8	2,2	27,3
39,2	3,6	69,0
39,4	4,6	43,8
39,5	4,8	39,8
40,1	4,5	158,6
40,6	3,7	117,6
40,8	3,7	53,1
41,3	2,7	97,2
41,6	2,4	45,1
42,4	2,1	116,0
43,1	1,8	78,0
43,2	1,6	10,8
44,3	1,5	96,5
47,4	1,1	241,4
49,6	1,0	137,7
54,9	0,8	275,9
64,4	0,4	329,2
74,2	0,2	189,7
Total		5162,2

Taula A1. 2. Dades de la primera simplificació de la corba experimental 1.

Simplificació 1		
Temps (min)	HRR (MW)	Energia despesa (MJ)
0,0	0,0	0,0
2,0	0,5	31,1
4,0	0,8	79,8
6,0	0,8	94,2
8,0	1,7	146,9
10,0	1,6	197,2
12,0	1,3	172,7
14,0	1,1	143,7

16,0	1,6	163,6
18,0	1,5	184,8
20,0	1,3	165,3
22,0	1,1	145,3
24,0	1,3	144,0
26,0	1,6	174,1
28,0	1,8	207,6
30,0	1,7	209,6
32,0	1,4	186,8
34,0	1,5	175,6
36,0	1,5	176,4
38,0	1,5	177,8
40,0	4,5	362,2
42,0	2,3	408,0
44,0	1,5	226,4
46,0	1,3	166,8
48,0	1,1	141,3
50,0	0,9	120,9
52,0	0,9	107,8
54,0	0,8	99,1
56,0	0,7	90,4
58,0	0,6	81,6
60,0	0,6	72,8
62,0	0,5	64,0
64,0	0,4	55,2
66,0	0,4	48,3
68,0	0,3	43,5
70,0	0,3	39,2
72,0	0,3	34,8
74,0	0,2	30,5
Total		5169

Taula A1. 3. Dades de la segona simplificació de la corba experimental 1.

Simplificació 2		
Temps (min)	HRR (MW)	Energia despesa (MJ)
0,0	0,0	0,0
0,1	0,1	0,3

8,9	1,9	525,7
14,6	1,1	515,6
15,0	1,4	32,1
15,5	1,6	44,5
23,0	1,1	609,7
28,6	2,0	517,7
31,4	1,5	286,5
38,5	1,5	642,6
38,7	1,7	10,9
39,6	4,8	184,2
43,3	1,6	715,5
49,7	1,0	494,3
74,3	0,2	874,9
Total		5454,6

Taula A1. 4. Dades de la corba experimental 2.

Corba Experimental 2		
Temps (min)	HRR (MW)	Energia despesa (MJ)
0,0	0,1	0,0
0,9	0,1	4,5
1,6	0,3	8,1
1,8	0,4	5,9
2,0	0,6	4,4
2,2	0,8	8,8
2,7	0,8	24,0
2,8	1,0	3,9
2,8	1,2	4,6
2,9	1,3	5,3
3,0	1,5	6,1
3,0	1,7	6,8
3,3	1,8	22,0
3,3	1,6	7,2
3,4	1,4	6,4
3,5	1,2	5,7
3,5	1,1	5,0
3,6	0,9	4,2
4,0	0,8	18,4

4,3	1,0	15,3
4,4	1,1	9,0
4,8	1,3	25,5
5,3	1,3	38,7
5,7	1,3	33,7
5,8	1,1	10,4
6,0	1,0	13,3
6,4	1,1	21,4
7,0	1,2	43,4
7,6	1,3	42,4
8,0	1,3	32,7
8,4	1,3	32,7
8,7	1,3	22,1
8,9	1,1	10,5
9,1	1,0	13,5
9,4	0,8	18,9
10,0	0,6	24,6
10,6	0,8	23,9
11,3	0,8	32,5
12,1	0,8	35,9
12,6	0,9	25,2
13,1	0,8	25,5
13,2	1,0	7,4
13,4	1,1	13,2
14,4	1,2	68,0
15,1	1,3	46,5
15,3	1,4	17,2
15,4	1,6	12,9
15,9	1,6	47,4
16,4	1,7	48,6
16,5	1,9	15,1
16,7	2,0	16,5
16,8	2,2	18,0
17,0	2,4	19,4
17,7	2,4	111,8
18,7	2,4	133,1
19,0	2,5	52,3
19,2	2,3	31,1
20,0	2,3	108,1
20,5	2,1	65,7
21,1	2,1	72,1

21,5	1,9	51,8
22,3	2,0	93,6
22,7	1,9	42,0
23,3	1,7	69,3
24,1	1,7	79,2
24,5	1,8	43,6
24,9	1,9	39,2
25,2	2,1	42,8
25,6	2,1	44,3
25,9	1,9	42,0
26,9	1,8	109,8
27,8	1,8	92,6
28,2	2,0	48,8
28,5	2,1	43,7
28,6	2,3	9,3
28,7	2,5	10,0
28,8	2,6	10,8
29,0	2,8	34,6
29,3	3,0	49,1
29,8	3,1	102,6
30,6	3,0	142,5
31,0	2,9	75,6
31,7	3,0	112,7
31,9	3,1	38,9
32,2	3,2	67,5
32,6	3,1	67,4
32,9	3,0	64,6
33,4	2,8	74,5
34,4	2,8	167,7
35,3	2,6	149,8
36,2	2,6	148,8
36,6	2,5	54,4
37,6	2,4	155,7
38,3	2,3	100,5
38,7	2,4	50,0
39,0	2,2	39,4
39,6	2,3	76,7
39,8	2,5	30,2
39,8	2,6	10,7
39,9	2,8	11,4
40,0	3,0	12,2

40,0	3,1	12,9
40,2	3,3	27,4
40,3	3,5	14,3
40,5	3,6	45,1
40,5	3,4	15,0
40,6	3,2	14,3
40,6	3,1	0,1
40,7	2,9	13,8
40,8	2,7	12,1
41,0	2,6	46,5
41,2	2,4	21,5
41,3	2,3	10,1
41,5	2,1	27,8
42,0	2,1	62,6
42,3	2,1	45,1
42,5	1,9	26,0
42,7	1,8	15,9
42,9	1,6	21,6
43,2	1,4	26,0
43,3	1,3	13,6
44,0	1,1	46,4
44,2	1,0	13,6
44,7	0,8	26,9
45,7	0,8	49,5
46,7	0,7	45,3
47,6	0,7	39,8
48,5	0,8	40,1
49,6	0,7	46,1
51,1	0,7	62,5
51,8	0,5	28,2
52,6	0,5	22,7
53,2	0,7	23,8
54,1	0,6	35,9
55,5	0,6	48,4
56,7	0,5	37,6
57,8	0,4	29,3
58,9	0,3	22,2
60,2	0,3	23,4
61,6	0,2	19,3
62,9	0,1	11,2
64,2	0,1	9,5

65,6	0,0	6,2
Total		5477

Taula A1. 5. Dades de la primera simplificació de la corba experimental 2.

Simplificació 3		
Temps (min)	HRR (MW)	Energia despesa (MJ)
0,0	0,0	0,0
2,0	0,6	36,8
4,0	0,8	87,3
6,0	1,0	109,2
8,0	1,3	135,2
10,0	0,6	115,3
12,0	0,8	84,8
14,0	1,1	114,6
16,0	1,6	164,1
18,0	2,4	239,6
20,0	2,3	280,6
22,0	2,0	257,2
24,0	1,7	220,1
26,0	1,9	212,1
28,0	1,9	227,8
30,0	3,0	298,1
32,0	3,2	372,0
34,0	2,8	357,1
36,0	2,6	325,9
38,0	2,4	299,2
40,0	3,0	322,7
42,0	2,1	308,4
44,0	1,1	194,1
46,0	0,8	112,9
48,0	0,7	89,1
50,0	0,7	84,0
52,0	0,5	72,7
54,0	0,6	70,6
56,0	0,5	70,0
58,0	0,4	53,3
60,0	0,3	38,0

62,0	0,2	26,4
64,0	0,1	17,5
66,0	0,0	9,1
Total		5406

Taula A1. 6. Dades de la segona simplificació de la corba experimental 2.

Simplificació 4		
Temps (min)	HRR (MW)	Energia despesa (MJ)
0,0	0,1	0,0
3,3	1,8	182,9
5,3	1,3	184,9
10,0	0,6	283,7
19,0	2,5	852,2
24,1	1,7	629,6
25,2	2,1	127,6
26,9	1,8	199,1
31,0	2,9	577,8
32,2	3,2	221,2
39,0	2,2	1103,3
40,5	3,6	258,9
44,7	0,8	555,1
65,6	0,0	533,8
Total		5710

Taula A1. 7. Dades de la corba experimental 3.

Corba Experimental 3		
Temps (min)	HRR (MW)	Energia despesa (MJ)
0,0	0,1	0,0
0,5	0,4	8,9
1,8	0,4	30,6
2,8	0,6	29,0
4,1	0,4	39,8
4,8	0,7	24,4
4,9	1,1	4,8

5,0	1,4	6,9
5,2	1,8	17,9
5,3	1,8	9,9
5,8	1,6	55,5
6,8	1,8	101,4
7,1	2,0	30,9
7,4	1,6	29,4
7,7	1,9	29,0
8,3	1,8	71,4
8,7	1,6	46,2
9,2	1,4	40,3
9,5	1,5	23,6
9,7	1,9	18,4
10,1	2,1	54,2
10,3	2,5	25,2
10,4	2,9	14,7
10,6	3,2	33,4
10,8	3,0	34,1
11,1	2,8	63,7
11,2	3,2	16,5
11,3	3,5	18,6
11,6	4,8	69,5
11,8	5,2	55,1
12,1	5,3	114,7
12,2	4,9	27,5
12,3	4,5	25,5
12,4	4,2	23,5
12,7	4,1	67,3
12,9	4,1	44,6
13,0	4,2	45,4
13,3	5,9	84,4
13,4	6,3	33,8
13,5	6,7	35,9
13,6	7,1	37,7
13,7	6,4	36,4
13,8	6,0	33,4
13,9	5,6	31,4
14,0	5,2	29,3
14,2	5,3	86,5
14,7	5,5	148,2
14,8	5,2	28,8

14,9	4,8	26,8
15,0	4,4	24,8
15,0	4,0	22,8
15,1	3,6	20,7
15,2	3,3	18,7
15,4	2,9	33,5
15,6	2,5	29,4
15,7	2,1	12,6
15,9	1,8	32,1
16,2	1,4	26,2
16,6	1,1	27,6
16,9	1,0	17,3
17,0	0,8	6,7
17,2	1,0	12,8
17,3	1,2	6,8
17,6	1,1	18,2
17,9	0,9	22,0
18,7	0,9	40,4
20,2	0,8	79,8
21,4	0,7	51,9
23,0	0,5	55,3
23,6	0,4	17,6
25,0	0,4	32,2
26,6	0,2	27,5
28,3	0,2	22,8
30,0	0,2	23,8
31,8	0,3	29,8
33,4	0,1	20,9
Total		2698

Taula A1. 8. Dades de la primera simplificació de la corba experimental 3.

Simplificació 5		
Temps (min)	HRR (MW)	Energia despesa (MJ)
0,0	0,1	0,0
2,0	0,4	29,9
4,0	0,4	50,6
6,0	1,6	123,8

8,0	1,9	209,0
10,0	2,0	234,0
12,0	5,3	437,6
14,0	5,0	617,9
16,0	1,7	405,3
18,0	0,9	156,9
20,0	0,8	102,2
22,0	0,6	85,0
24,0	0,4	61,1
26,0	0,3	39,4
28,0	0,2	29,6
30,0	0,2	28,4
32,0	0,3	31,2
34,0	0,0	17,1
Total		2659

Taula A1. 9. Dades de la segona simplificació de la corba experimental 3.

Simplificació 6		
Temps (min)	HRR (MW)	Energia despesa (MJ)
0,0	0,1	0,0
0,5	0,4	8,9
4,1	0,4	93,2
5,2	1,8	73,8
7,4	1,6	225,0
9,2	1,4	164,5
10,6	3,2	190,1
12,1	5,3	397,1
12,7	4,1	152,2
13,3	5,9	192,4
13,6	7,1	107,6
14,0	5,2	133,3
14,7	5,5	235,8
17,0	0,8	436,9
17,3	1,2	20,8
18,7	0,9	87,1
20,2	0,8	79,8
21,4	0,7	51,9

23,0	0,5	55,3
23,6	0,4	17,6
26,6	0,2	54,5
33,4	0,1	62,3
Total		2840

Taula A1.10. Dades de la corba E4. (CTICM) Joyeux, 2002.

Corba E4		
Temps (min)	HRR (MW)	Energia despesa (MJ)
0	0	0,0
4	1,4	46,0
16	1,4	96,0
24	5,5	215,0
25	8,3	415,0
27	4,5	386,0
38	1	176,0
70	0	62,0
Total		1396

Taula A1. 11. Dades de la corba E5.

Corba E5		
Temps (min)	HRR (MW)	Energia despesa (MJ)
0	0	0,0
4	1,4	46,0
9,5	1,4	89,5
16,5	6	229,0
19,5	6	363,0
31,5	1	222,0
63,5	0	62,0
Total		1012

Annex B. Objectius i criteris a tenir en compte en el disseny prestacional

En aquest annex adjunto les taules referents als objectius i als criteris d'acceptació que s'han de valorar en un projecte de disseny prestacional proposats pels bombers de la Generalitat de Catalunya (Bombers de la Generalitat de Catalunya 2017).

Taula B1. 1 Descripció dels objectius d'evacuació dels ocupants (Bombers de la Generalitat de Catalunya 2017).

1. OBJECTIU D'EVACUACIÓ DELS OCUPANTS	
Objectiu 1.1	Considerant l'acció d'incendi previsible al recinte o edifici, en un escenari normalitzat i un emplaçament més desfavorable, s'assegurarà que es pot dur a terme l'evacuació dels ocupants en condicions segures
Objectiu 1.1.1	Evitar condicions de flashover a l'àrea on s'ha originat l'incendi.
Objectiu 1.1.2	Mantenir el recorregut d'evacuació en unes condicions adequades de temperatura (°C).
Objectiu 1.1.3	Mantenir el recorregut d'evacuació amb unes condicions adequades de concentració d'oxigen (O ₂).
Objectiu 1.1.4	Mantenir el recorregut d'evacuació amb unes condicions adequades de concentració de monòxid de carboni (CO).
Objectiu 1.1.5	Mantenir el recorregut d'evacuació amb unes condicions adequades de concentració de diòxid de carboni (CO ₂).
Objectiu 1.1.6	Mantenir el recorregut d'evacuació dels ocupants amb un flux tèrmic adequat (kW/m ²).
Objectiu 1.1.7	Mantenir el recorregut d'evacuació dels ocupants amb una visibilitat adequada (m).
Objectiu 1.1.8	Garantir que les condicions de senyalització implantades a l'aparcament son suficients per evacuar l'escenari d'incendi fins a un lloc segur.
Objectiu 1.1.9	Garantir una il·luminació dels recorreguts d'evacuació adequada d'acord amb l'escenari d'incendi i ajustada a les condicions avaluades.
Objectiu 1.1.10	Garantir que les persones amb mobilitat reduïda (PMR) i les seves condicions de mobilitat han estat considerades a l'estudi d'evacuació respecte el moviment de les persones.
Objectiu 1.1.11	Garantir que les persones amb discapacitats visuals i auditives han estat considerades a l'estudi d'evacuació respecte els mitjans d'avís a les persones.
Objectiu 1.2	Garantir que el sistema de control de fums i calor no es posi en règim de funcionament complet de forma automàtica amb ocupants encara al recinte o edifici considerat.
Objectiu 1.2.1	Garantir les condicions de supervivència dels ocupants mentre no s'asseguri la completa evacuació de l'aparcament.
Objectiu 1.2.2	Assegurar l'inici de l'evacuació en el temps previst mitjançant els elements de transmissió d'alarma més adequats (visual / acústica amb so o missatge pre-

	gravat de veu) i considerant les possibles interferències entre ells i altres sistemes que puguin operar o funcionar al recinte.
Objectiu 1.3	El gestor o explotador de l'edifici disposarà de les instruccions d'ús i les limitacions o restriccions operacionals dels sistemes vinculats a garantir l'evacuació dels ocupants, així com les condicions de manteniment, interaccions o dependències respecte altres sistemes.
Objectiu 1.4	Dur a terme les comprovacions, proves o simulacions necessàries per validar l'objectiu d'evacuació dels ocupants de forma prèvia a la posada en funcionament de l'edifici.

Taula B1. 2. Descripció dels objectius de ventilació de fums d'incendi (Bombers de la Generalitat de Catalunya 2017).

2. OBJECTIU DE VENTILACIÓ DE FUMS D'INCENDI (smoke clearance)	
Objectiu 2.1	El sistema de ventilació de fums funcionarà correctament per a l'objectiu de neteja de fums del recinte o edifici considerat, durant el transcurs de l'incendi (estratègia 1) o un cop finalitzades les tasques d'extinció (estratègia 2).
Objectiu 2.1.1	Garantir que les velocitats de l'aire no superaran els límits establerts per un correcte funcionament del sistema, així com per no dificultar o impedir l'evacuació dels ocupants en l'ús dels elements d'evacuació.
Objectiu 2.1.2	Garantir que la neteja completa de fums del recinte o edifici considerat es realitza de forma efectiva.
Objectiu 2.1.3	Garantir que l'accionament del sistema de ventilació de fums, si s'activa de forma automàtica en el transcurs de l'incendi, no contribueix a una propagació desproporcionada del mateix.
Objectiu 2.1.4	Assegurar que no es produeixen zones d'estancament del fums d'incendi amb incompliment dels objectius.
Objectiu 2.2	Evitar que es produeixi cap afectació negativa sobre les prestacions i funcions previstes sobre altres elements, equips o sistemes de protecció contra incendi del recinte o edifici considerat.
Objectiu 2.3	El/s quadre/s de control i les instruccions d'accionament del sistema es situaran en un lloc segur i seran fàcilment localitzables i comprensibles pel servei d'extinció d'incendis.
Objectiu 2.4	La ventilació dels fums (smoke clearance) es farà únicament en els escenaris previstos pel disseny i sempre que s'hagin dut a terme les actuacions de comprovació de no ocupació del recinte, previstes en el mateix disseny.
Objectiu 2.5	El gestor o explotador de l'edifici disposarà de les instruccions d'ús i manteniment del sistema, de les limitacions o restriccions operacionals i de les interaccions o dependències respecte altres sistemes.
Objectiu 2.6	Dur a terme les comprovacions, proves o simulacions necessàries per validar els objectius proposats de ventilació de fums d'incendi de forma prèvia a la posada en funcionament de l'edifici.

Taula B1. 3. Descripció dels objectius per a la intervenció dels bombers (Bombers de la Generalitat de Catalunya 2017).

3. OBJECTIU INTERVENCIÓ BOMBERS (Smoke control)	
Objectiu 3.1	Facilitar la localització de l'incendi per part dels serveis d'extinció d'incendis, mantenint unes condicions segures a una determinada distància respecte del focus de l'incendi.
Objectiu 3.2	Evitar un retrocés excessiu del fum aigües amunt del focus d'incendi (efecte backlayering).
Objectiu 3.3	El sistema de control de fums i calor (smoke control) garantirà una via d'accés en condicions segures per als serveis d'extinció d'incendis, amb una ruta d'aproximació al focus de l'incendi.
Objectiu 3.4	Garantir que no es produeixi una propagació desproporcionada de l'incendi, tant a l'exterior del recinte considerat, com a d'altres zones, usos o establiments.
Objectiu 3.5	Garantir que la neteja completa de fums del recinte o edifici considerat (smoke clearance) es realitza de forma efectiva.
Objectiu 3.6	El gestor o explotador de l'edifici disposarà de les instruccions d'ús i manteniment del sistema, de les limitacions o restriccions operacionals i de les interaccions o dependències respecte altres sistemes.
Objectiu 3.7	Dur a terme les comprovacions, proves o simulacions necessàries per validar els objectius proposats de control de fums d'incendi i calor, de forma prèvia a la posada en funcionament de l'edifici.

CRITERIS D'ACCEPTACIÓ PROPOSATS	
Criteri B.1	Per una alçada lliure de fums ≥ 2 m per sobre dels recorreguts d'evacuació i fora de la zona d'incendi (radi de 10 des de el perímetre de l'incendi) les condicions de supervivència dels ocupants mesurades a 1,8 m del terra no superaran els següents valors:
Criteri B1.1	En el temps estimat d'evacuació, es garanteix una temperatura inferior a 60 °C, a 1,8 m d'alçada en els recorreguts d'evacuació dels ocupants.
Criteri B1.2	En el temps estimat d'evacuació, es garanteix una concentració d'oxigen no inferior al 18%, a 1,8 m d'alçada en els recorreguts d'evacuació d'ocupants.
Criteri B1.3	En el temps estimat d'evacuació es garanteix una concentració de monòxid de carboni (CO) inferior a 150 ppm, a 1,8 m d'alçada en els recorreguts d'evacuació dels ocupants.
Criteri B1.4	En el temps estimat d'evacuació es garanteix una concentració de diòxid de carboni (CO ₂) inferior a 0,03 mol/mol, a 1,8 m d'alçada en els recorreguts d'evacuació dels ocupants.

Criteri B1.5	En el temps estimat d'evacuació, es garanteix una radiació tèrmica no superior a 2,5 kw/m ² , a 1,8 m d'alçada en els recorreguts d'evacuació dels ocupants.
Criteri B1.6	En el temps estimat d'evacuació, es garanteix una visibilitat general superior a 20 m, a 1,8 m d'alçada dels recorreguts d'evacuació dels ocupants. I en cap cas la visibilitat de forma local serà inferior a 10 metres.
Criteri B1.7	A les vies d'evacuació es mantindrà un nivell mínim d'il·luminació horitzontal en el paviment d'1 lux a l'eix central i 0,5 lux a la banda central que compregui com a mínim la meitat de l'amplada de la via.
Criteri B1.8	La visualització de la senyalització dels recorreguts d'evacuació no serà inferior a 20 metres.
Criteri B.2	Els gasos calents generats per l'incendi són suficientment evacuats pels conductes, pous o punts d'extracció d'aire previstos pel sistema.
Criteri B2.1	La temperatura mitjana dels gasos de la capa de fums és inferior 500 °C per evitar el flashover.
Criteri B2.2	La velocitat de l'aire a les vies d'evacuació del sistema serà inferior a 5 m/s.
Criteri B2.3	Els ventiladors d'impuls funcionen en la direcció correcta.
Criteri B2.4	Els ventiladors extractors principals, quan estiguin previstos, subministren el cabal d'aire suficient.
Criteri B2.5	Els ventiladors d'aportació d'aire, quan estiguin previstos, subministren el cabal d'aire suficient i com a màxim el 80% del cabal d'extracció principal.
Criteri B2.6	Tots els equips que formen el sistema de ventilació o de control de fums i es puguin veure afectats per l'incendi tindran una classificació com a mínim F300 60.
Criteri B2.7	El cablejat del subministrament elèctric del sistema que es pugui veure afectat per l'incendi garantirà una prestació PH 90.
Criteri B.3	Les dimensions i potència de l'incendi de disseny s'establirà segons normativa o assaig de referència i estarà adaptat a les característiques del projecte.
Criteri B3.1	L'incendi de disseny serà com a mínim d'un vehicle amb potència totalment desenvolupada si el recinte disposa de ruixadors automàtics. Les dimensions d'incendi seran: 2 x 5 m (perímetre de 14 metres) i una potència de 4 MW.
Criteri B3.2	L'incendi de disseny serà com a mínim de dos vehicles amb potència totalment desenvolupada si el recinte no disposa de ruixadors automàtics. Les dimensions de l'incendi seran: 5 x 5 m (perímetre de 20 metres) i una potència de 8 MW.
Criteri B3.3	L'incendi de disseny s'estableix amb un nombre de vehicles, dimensions i potència segons assaig de referència.
Criteri B.4	En el cas de realitzar simulacions computacionals, les característiques de l'incendi simulat (potència màxima, taxa d'alliberament de calor (HRR), generació de sutges i espècies tòxiques) estaran referides a normes o textos de reconegut prestigi, o a estudis experimentals d'assaig amb foc real:
Criteri B4.1	La potència màxima assolida i la taxa d'alliberament de calor de l'incendi (HRR) simulats estaran referenciats.
Criteri B4.2	La generació de sutge de l'incendi simulat estarà referenciat
Criteri B4.3	La generació d'espècies tòxiques de l'incendi simulat estaran referenciades
Criteri B4.4	L'efecte dels ruixadors sobre la potència de l'incendi estarà referenciat pel projectista.
Criteri B4.5	L'efecte de l'activació del sistema de control de fums sobre l'incendi estarà referenciat pel projectista.

Criteri B4.6	L'efecte de l'extinció dels Bombers sobre l'incendi estarà referenciat pel projectista.
Criteri B.5	Per tal de facilitar les tasques d'intervenció dels bombers es garantiran les següents condicions:
Criteri B5.1	En el temps previst d'intervenció (amb el sistema de control de fums sense funcionar o únicament funcionant el sistema primari) es garanteix una visibilitat pels equips d'intervenció superior a 10 metres des del perímetre de l'incendi.
Criteri B5.2	En el temps previst d'intervenció, es garanteix una radiació tèrmica no superior a 5 kw/m ² , a 1,8 m d'alçada en els recorreguts d'intervenció
Criteri B5.3	En el temps previst d'intervenció, es garanteix una temperatura no superior a 100 °C, a 1,8 m d'alçada en els recorreguts d'intervenció.
Criteri B5.4	El sistema disposa d'un quadre sinòptic en el lloc de control on es visualitza la localització de l'incendi.
Criteri B.6	Garantir la no propagació desproporcionada de l'incendi.
Criteri B6.1	S'evita que la propagació segueixi una evolució més ràpida de l'esperable en condicions normals d'aportació d'oxigen en un recinte. Aquesta propagació desproporcionada és previsible quan s'activi el sistema de control de fums de forma completa (primària + jet fans) sense disposar de mesures de control o supressió complementàries, com un sistema de ruixadors o la intervenció ràpida i eficaç dels bombers.

