

Enric Serrano Celma

**ANÀLISIS TÈCNIC - ECONÒMIC DE LA INSTAL·LACIÓ
D'UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA I
D'EVACUACIÓ DE FUMS EN UN MAGATZEM LOGÍSTIC**

**Treball Fi de Màster
dirigit pel Dr. Carlos Turón**

Màster en Enginyeria Industrial



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2020

Índex

1. Objectiu	7
2. Descripció del cas d'estudi	8
2.1 Dimensions dels sectors.....	8
2.2 Aplicació de la Norma UNE 23585:2017.....	9
2.3 Limitacions sobre els sectors	10
3. Elements de Protecció Contra Incendi.....	11
3.1 Airejadors.....	11
3.1.1 Airejadors Naturals	11
3.1.1.1 Claraboia	11
3.1.1.2 Finestra	12
3.1.1.3 Lames	12
3.1.2 Airejadors Mecànics	13
3.2 Barreres de fums.....	13
3.3 Conductes d'extracció de fums	16
3.4 Control del SCTEF	16
3.5 Admissió d'aire.....	17
4. Solució adoptada pel disseny	18
4.1 Ventilació Natural o Forçada.....	18
4.2 Depòsits de fums	18
4.3 Tipus d'emmagatzematge	18
5. Categorització, dimensionament d'incendi i càlcul d'airejadors segons la Norma UNE 23585	19
5.1 Duració del creixement del incendi.....	19
5.2 Àrea teòrica d'incendi. Categoria de disseny	19
5.3 Dimensions del incendi de disseny	20
5.4 Valors de taxa de calor alliberat.....	21
5.5 Alçada lliure fums (Y)	22
5.6 Alçada baix sostre (H)	23
5.7 Profunditat de la capa de fums (d_1)	23
5.8 Cabal màssic de fums (M_f)	23
5.9 Flux de calor per convecció (Q_f).....	24
5.10 Temperatura mitjana dels gasos per sobre de la temperatura ambient de la capa flotant en un depòsit de fums.....	24
5.11 Superfície total dels airejadors naturals d'extracció de fums	25
5.12 Nombre mínim d'exutoris a instal·lar N.....	26

6.	Guia de funcionament del programa Excel basat en els càlculs de la Norma UNE 23585	28
6.1	Duració del creixement de l'incendi	28
6.2	Dimensions del incendi de disseny	29
6.3	Determinació del flux de calor alliberat.....	31
6.4	Dades dels sectors de l'edifici	32
6.5	Alçada baix sostre	32
6.6	Alçada lliure de fums	33
6.7	Profunditat de la capa de fums.....	33
6.8	Càlcul del cabal de fums	33
6.9	Obtenció de la Superfície aerodinàmica total lliure d'airejadors.....	34
6.10	Determinació del número d'airejadors	35
7.	Programació del Excel	37
8.	Càlcul del número d'exutoris pel cas d'estudi.....	44
8.1	Dades a introduir o seleccionar.....	44
8.2	Resultats del programa	45
8.3	Admissió d'aire.....	45
9.	Pressupost	47
9.1	Selecció de l'airejador	47
9.1.1	Paràmetres de selecció.....	47
9.1.1.1	Confiabilitat	47
9.1.1.2	Carga de neu	47
9.1.1.3	Baixa temperatura ambient.....	47
9.1.1.4	Carga de vent	47
9.1.1.5	Resistència a la calor	47
9.1.2	Airejador seleccionat	48
9.2	Selecció de la cortina de fum.....	48
9.3	Pressupost del projecte.....	49
10.	Simulació dels gasos de combustió en els depòsits de fums del magatzem logístic.....	51
10.1	Introducció	51
10.2	Limitacions del programa	51
10.3	Entrada de dades	52
10.3.1	Valors generals de la Simulació.....	52
10.3.2	Geometria de les superfícies	52
10.3.3	Apertures de paret.....	55
10.3.4	Apertures del sostre.....	56
10.3.5	Incendi	57
10.4	Valors de sortida	58

10.5 Simulació d'incendi en el magatzem logístic d'estudi.....	59
10.6 Resultats de la simulació.....	60
11. Bibliografia.....	66
A.1 Plànols del projecte.....	69
A.2 Fulles de càlcul del Programa Excel	76

1. Objectiu

Aquest projecte busca dissenyar un Sistema de Control de Temperatura i Evacuació de Fums per una nau d'emmagatzematge logístic, la qual presenta un risc d'incendi alt segons l'estudi de la seva carga de foc.

Els Sistemes de Control de Temperatura i Evacuació de Fums (SCTEF) són mitjans de protecció davant el risc d'incendi. El fum, per la seva gran mobilitat i elevada temperatura, afavoreix a la propagació de l'incendi, posant amb perill l'estabilitat estructural i representant un risc d'atrapament i/o dany per les persones al inundar les vies d'evacuació.

Els SCTEF limiten els efectes negatius dels fums i els gasos tòxics derivats dels incendis. A més a més, faciliten l'evacuació i afavoreixen la intervenció dels professionals.

El disseny dels sistemes de control de temperatura i evacuació de fums es durà a terme segons la Norma UNE 23585:2017. A fi de aconseguir un bon disseny també s'estudiaran el conjunt de Normes UNE 12101 per tal d'escollir els diversos elements que formaran part del SCTEF.

Inicialment és realitzarà una petita descripció de la nau industrial i els sectors en que es divideix. Tot seguit, es descriuran els diversos components que formen un sistema de control de fums.

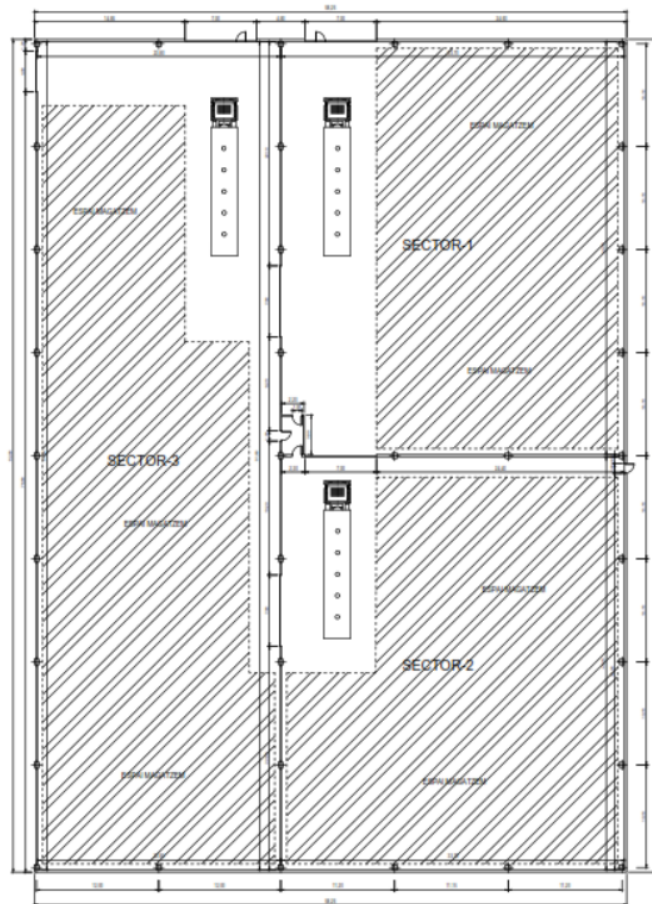
A posterior, es definirà la solució adoptada per la instal·lació i es mostrarà el procediment de càlcul per dimensionar els equips a instal·lar. És crearà un programa *Excel* capaç de realitzar tots els càlculs de dimensionament, conjuntament amb la seva guia de funcionament i taules on s'explica la programació de les cel·les.

Tot seguit, es detallarà els valors introduïts pel càlcul i la solució proporcionada pel programa *Excel*. Es realitzarà un pressupost detallat de la instal·lació del projecte i una breu explicació sobre els paràmetres de selecció dels airejadors i cortines de fum.

Finalment, s'utilitzarà el programa CFAST per simular el comportament d'un incendi en cada sector.

2. Descripció del cas d'estudi

El cas d'estudi ens presenta una nau industrial la qual es troba dividida amb tres sectors d'incendi. Tots els sectors compten amb una entrada per carga/descàrrega de camions i espai d'emmagatzematge. La imatge 2.1 mostra la distribució en planta d'aquests sectors, aquesta és una captura extreta del plànol 1, que podeu consultar al annex A.1.



Imatge 2.1. Vista en planta del cas d'estudi

2.1 Dimensions dels sectors

Per tal de saber si es obligatori o no el sistema SCTEF, en la taula 2.1.1 es mostren les dimensions dels sectors.

Taula 2.1.1 *Dimensions dels diversos sectors*

	Llargada (m)	Amplada (m)	Superfície (m²)	Alçada punt més baix de coberta (m)	Alçada punt més alt de coberta (m)
Sector 1	41	34	1394	8,75	9,55
Sector 2	41	34	1394	8,75	9,55
Sector 3	82	24	1968	8,75	9,55

2.2 Aplicació de la Norma UNE 23585:2017

El punt 7.1 del Reglament de Seguretat Contra Incendis en Establiments Industrials del 2019, conegut com RSCI[1], estableix els requeriments o situacions en les quals serà necessari disposar d'un SCTEF i per tant, quan s'aplicarà la norma.

Es disposarà de Sistemes de Control de Temperatura i Evacuació de Fums en els següents casos:

- a) Els sectors amb activitats de producció:
 1. De risc intrínsec mitjà i superfície construïda $\geq 2000 \text{ m}^2$.
 2. De risc intrínsec alt i superfície construïda $\geq 1000 \text{ m}^2$.
- b) Els sectors amb activitats d'emmagatzematge:
 1. De risc intrínsec mitjà i superfície construïda $\geq 1000 \text{ m}^2$.
 2. De risc intrínsec alt i superfície construïda $\geq 800 \text{ m}^2$.

Per naus de menor superfícies, es podran aplicar els següents valors mínims de la superfície aerodinàmica d'evacuació de fums.

- a) Sectors d'incendi amb activitats de producció, muntatge, transformació, reparació i altres diferents del emmagatzematge si:
 1. Estan situats en planta baix rasant i el seu nivell de risc intrínsec es alt o mitjà, a un mínim de superfície aerodinàmica de $0,5 \text{ m}^2 / 150 \text{ m}^2$ o fracció.
 2. Estan situats en qualsevol planta sobre rasant i el seu nivell de risc intrínsec es alt o mitjà, amb un mínim de superfície aerodinàmica de $0,5 \text{ m}^2 / 200 \text{ m}^2$ o fracció.
- b) Els sectors d'incendi amb activitats d'emmagatzematge si:
 1. Estan situats en planta baix rasant i el seu nivell de risc intrínsec es alt o mitjà, a un mínim de superfície aerodinàmica de $0,5 \text{ m}^2 / 100 \text{ m}^2$, o fracció.
 2. Estan situats en qualsevol planta sobre rasant i el seu nivell de risc intrínsec es alt o mitjà, amb un mínim de superfície aerodinàmica de $0,5 \text{ m}^2 / 150 \text{ m}^2$, o fracció.

La ventilació serà natural a no ser que la ubicació ho impedeixi; en tal cas, podrà ser forçada.

Els forats es disposaran uniformement en la part alta del sector, ja sigui en zones altes de la façana o la coberta.

Els forats hauran de ser practicables de manera manual o automàtica.

S'haurà de disposar, a més a més, de forats per l'entrada d'aire per la part baixa del sector, en la mateixa proporció de superfície requerida per la sortida de fums, i es podrà tenir en compte els forats tals com les portes d'accés als sectors.

2.3 Limitacions sobre els sectors

De l'apartat anterior es dedueix que tots els sectors necessitaran la instal·lació d'un sistema de control de temperatura i evacuació de fums el qual es dissenyarà mitjançant la UNE 23585:2017[2]. No obstant, aquesta també té certes limitacions estipulades en quant a la superfície i llargada dels mateixos. Els punts 6.6.2.6, 6.6.2.7 i 6.6.2.8 de la mateixa estipulen el següent:

- Quan l'incendi està directament davall del depòsit de fums, la superfície màxima de qualsevol depòsit haurà de ser 2000 m² si s'han adoptat airejadors naturals d'extracció de fums o, 2600 m² si s'adopten airejadors mecànics d'extracció.
- En el cas d'edificis de pública concurrència multi-planta amb atri, o edificis industrials amb altell o entresòl quan l'incendi estigui en un recinte adjacent al espai que conté al depòsit, o esta davall d'un entresòl en el mateix espai, la màxima superfície d'habitació d'incendi permesa per generar gasos de fums que flueixin dintre del depòsit de fums haurà de ser de 1000 m² si s'adopten airejadors naturals d'extracció de fums o 1300 m² si els airejadors són mecànics. Si tenen més de 1000 m² haurà de disposar del seu propi sistema d'evacuació de fums i no podrà evacuar-los al espai adjacent.
- La màxima longitud de qualsevol depòsit de fums al llarg del seu major eix no ha de ser superior a 60 m.

3. Elements de Protecció Contra Incendi

Aquest apartat consta de l'explicació dels principals elements d'un Sistema de Control de Temperatura i Evacuació de Fums.

3.1 Airejadors

La Norma UNE 12101-2[3] identifica els airejadors com un element o mecanisme que permet el moviment de gasos cap dins o fora d'una edificació. Al mateix temps, també poden actuar com part del sistema de renovació d'aire quan no es troben realitzant la seva funció principal.

Es classifiquen aquest elements amb dos tipus: airejadors naturals i mecànics.

3.1.1 Airejadors Naturals

Els airejadors naturals es basen en l'evacuació de fums per mitjà de la flotabilitat dels gasos calents que ascendeixen del incendi. Aquests airejadors es poden col·locar tant en la façana, com en la coberta de l'edificació, mantenint l'equilibri d'aire necessari i fums en l'edifici, evitant així la despressurització. Els airejadors naturals no poden tenir doble funció, és a dir, sols poden actuar com entrada d'aire o com a sortida.

Un exutori natural és un dispositiu que s'obre de manera automàtica al rebre una senyal del sistema d'alarma, aquesta es pot accionar de forma manual o automàtica, al detectar presència de fums, per mitjà dels detectors. Al obrir-se, genera una apertura facilitant l'evacuació de fums.

La característica més important d'aquest element és el coeficient aerodinàmic del exutori. Aquest valor es la taxa del valor real del flux, mesurat baix condicions especificades en la norma UNE 12101-2, respecte al valor teòric que traspasa l'airejador o que traspasa una apertura d'entrada d'aire. Aquest valor el proporciona el fabricant.

Generalment es subdivideixen en 3 tipus: Claraboia, Finestra i Lames.

3.1.1.1 Claraboia

Es un sistema d'apertura automàtica destinat a l'evacuació de fums en cas d'incendi. És solen activar per mitja d'un sistema d'accionament elèctric o pneumàtic. També disposen d'un fusible tèrmic, el qual força l'apertura total automàtica en cas de funcionament erroni dels sistemes.

Poden instal·lar-se tant en cobertes planes com inclinades. Es tracta d'una solució que proporciona il·luminació natural, a més a més de ventilació.



Imatge 3.1.1.1.1. Claraboia sobre coberta plana[4]

3.1.1.2 Finestra

Al igual que l'anterior, es un sistema d'apertura automàtica destinat a l'evacuació de fums en cas d'incendi. Es solen activar també per mitja d'un sistema d'accionament elèctric o pneumàtic. També poden disposar d'un fusible tèrmic i són una bona solució per proporcionar il·luminació natural.



Imatge 3.1.1.2.1. Exutori tipus finestra de doble comporta[5]

3.1.1.3 Lames

A diferència dels anteriors aquest sistema es caracteritza per estar conformat per diverses lames, les quals s'obren en cas d'activació del sistema SCTEF. Aquestes lames es dissenyen estanques per tal de que no entri aigua en cas de que ploqui. S'utilitzen normalment per ús industrial.

El coeficient aerodinàmic es major que el dels exutoris de tipus finestra o claraboia, el que implica que per unes mateixes dimensions serà capaç d'evacuar més fums que els seus homònims.

Al igual que els altres airejadors naturals, també acostuma a portar un fusible tèrmic en cas de fallada del sistema d'alarma o d'accionament. A diferència dels anteriors

sistemes, no s'acostuma a considerar un element que proporcioni il·luminació natural, ja que no te les mateixes característiques de continuïtat.



Imatge 3.1.1.3.1. Exutori de Lames[6]

3.1.2 Airejadors Mecànics

Generen una extracció forçada per mitjà de ventiladors mecànics. Normalment es tracta de extractors tot o res sense variadors, aquests poden ser tant centrífugs com axials. Aquest tipus de ventilació es considera la millor per mantenir la salubritat de l'aire en espais molt contaminats.

L'alimentació d'aire als ventiladors esta protegida contra el foc. Els ventiladors han de tenir mínim classe F200, que correspon amb un temps mínim de 120 minuts a una temperatura de 200 °C.



Imatge 3.1.2.1. Airejadors mecànics[7]

3.2 Barreres de fums

La funció d'aquests elements, segons estableix la Norma UNE 12101-1[8], és controlar el moviment dels efluents de l'incendi dintre d'obres mitjançant la formació d'una barrera. Una definició menys tècnica seria; element que ens permet crear un

depòsit de fums que contingui i limiti el desplaçament dels mateixos, els canalitzi en una direcció determinada i que evita o endarrereix l'entrada dels fums en un altre sector. Dintre de les barreres de fums en tenim de dos tipus, estàtiques i actives.



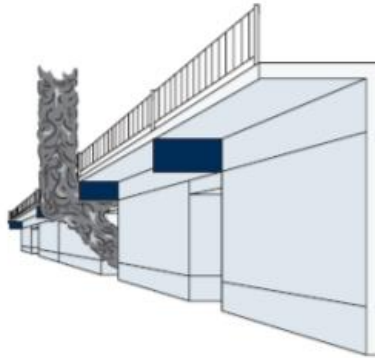
Imatge 4.2.1. Cortines de fum estàtiques[9]

Les estàtiques es troben sempre en la seva posició de funcionament en incendi, les actives, en canvi, s'han de moure a la seva posició de funcionament d'incendi, és a dir, inicialment es troben plegades i quan el sistema rep l'alarma les desplega.

Aquestes barreres actives es classifiquen en 4 tipus ASB1, ASB2, ASB3 i ASB4. Les principals diferències entre cadascuna d'elles es que tant la ASB2 com la ASB4 necessiten una font d'energia auxiliar per desplegar-se, mentre que la ASB1 i ASB3 es despleguen de forma controlada en cas que es suprimeixin les fonts d'energia, degut a un incendi, corrupció del sistema o qualsevol de les combinacions anteriors. L'altra diferència es que les ASB1 i ASB2 són barreres que es poden desplegar fins un màxim de 2,5 metres per sobre del terra, evitant així qualsevol posició perillosa per les persones, mentre que la ASB3 i ASB4 poden desplegar-se fins qualsevol altura.

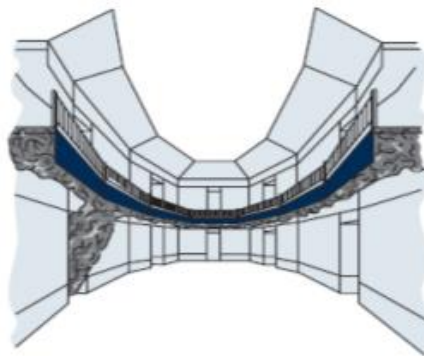
Depenent de la utilitat que es doni a les barreres podem parlar de barreres de canalització, barreres delimitadores o barreres de sectorització.

Les barreres de canalització s'empren per reduir l'expansió ascendent de la columna de fum des de el voladís del balcó en edificis amb volums de comunicació entre plantes. De gran utilitat per evitar que les plantes superiors s'omplin de fum.



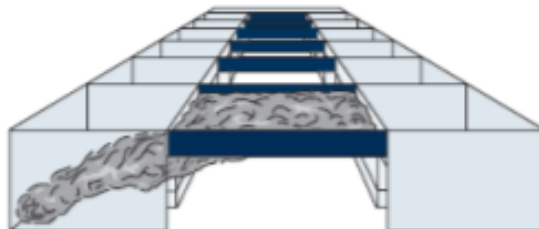
Imatge 3.2.2. Exemple de barrera de fum de canalització[10]

Les barreres delimitadores serveixen per evitar que el fum ascendeixi en edificis amb volums de comunicació entre plantes i envaeixi altres pisos superiors o zones.



Imatge 3.2.3. Exemple de barrera de fum de delimitadora[10]

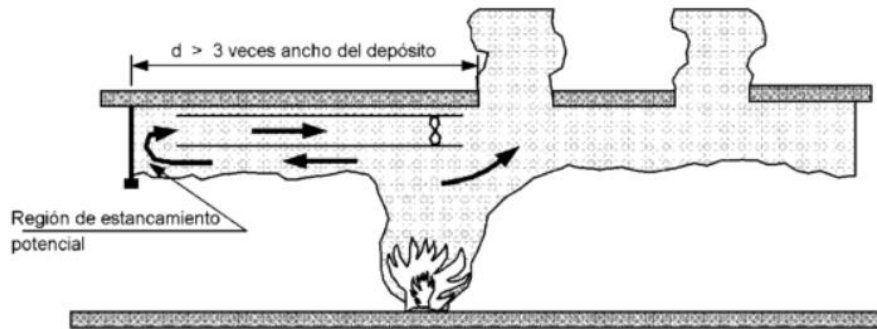
Les barreres de sectorització divideixen els diversos sectors d'un edifici. La seva principal funció es encarregar-se de crear un dipòsit de fum, on els propis gasos i fums de l'incendi es mantinguin s'acumulin i no envaeixin els altres sectors.



Imatge 3.2.4. Exemple de barrera de fum de sectoritzadora[10]

3.3 Conductes d'extracció de fums

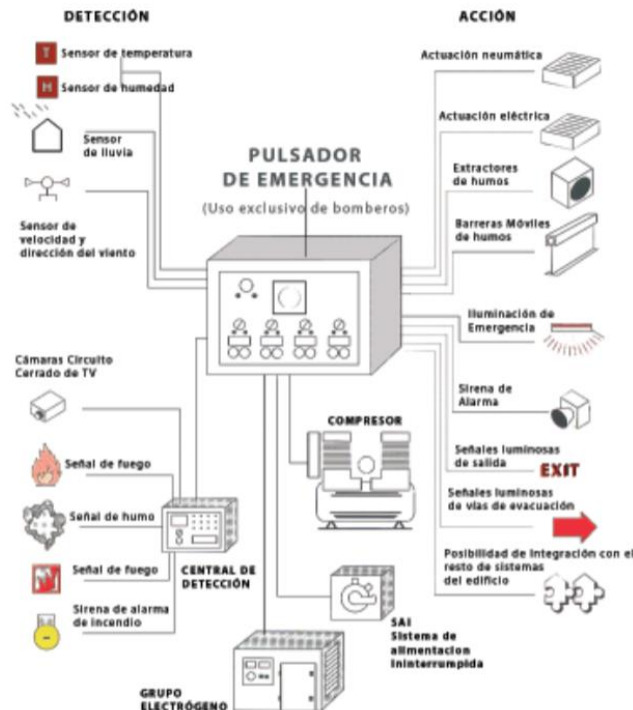
S'empren conductes d'extracció de fums quan dintre d'un mateix dipòsit de fums hi ha regions d'estancament, és a dir, zones on els fums sofreixen una pèrdua de calor continua i no poden ser evacuats. Això es succeeix si el dipòsit continua més enllà de l'apertura d'un extractor una distancia superior a 3 cops l'ample del dipòsit. La imatge 3.3.1 extreta de l'annex E.7 de la norma UNE 23585:2017 il·lustra aquest fenomen.



Imatge 3.3.1. Ús dels conductes de transferència de fums en les regions d'estancament

3.4 Control del SCTEF

La imatge 3.4.1 ens mostra un esquema d'un sistema d'evacuació de fums.



Imatge 3.4.1. Esquema SCTEF[11]

En la imatge s'observa un quadre de control d'un SCTEF, on es combina entrada natural i sortida mecànica (extractors).

El quadre de control, que en aquest cas s'identifica amb el polsador d'emergència, s'encarrega de rebre la senyal dels detectors, o del polsador manual, accionant els elements pertinents del sistema (airejadors del sector d'incendi, cortines de fums, sistemes d'alarma sonora, enllumenat i senyalització) i d'enviar una senyal d'alarma a la centraleta dels bombers.

El temps de desplegament o apertura de tots els sistemes ha de ser com a màxim 60 segons, un cop rebut el senyal dels detectors al quadre. Ens hem d'assegurar que el control manual prevalgui sempre per sobre de l'automàtic, tal i com estipula la Norma UNE 23585.

El quadre de control acostuma a estar alimentat amb una tensió de 230 V. Aquest, en cas de fallada, a de comptar amb una funció de fallada segura i amb una font d'energia auxiliar (grup electromagnètic). Al mateix temps, en cas de baixada de tensió disposa d'un SAI instal·lat en el propi quadre.

Els avisos al públic i els sistemes de alarma de veu que s'utilitzin per alertar i instruir als ocupants de l'edifici en cas d'incendi, han de tenir un volum el suficientment alt per que siguin perfectament audibles per sobre dels sorolls produïts pel propi sistema SCTEF. En el cas de la il·luminació i senyalització del sector d'incendi, l'altura lliure de fums escollida ha de ser el suficientment alta com per que la base de la capa flotant de fums quedi per sobre d'aquests elements.

3.5 Admissió d'aire

El punt 6.8 de la Norma UNE 23585 estipula que qualsevol sistema de ventilació de fums i calor ha d'estar previst del suficient recolzament d'entrada d'aire fred al edifici, per tal de reemplaçar la quantitat de gasos calents dels fums que s'ha extret. Això pot aconseguir-se mitjançant:

- a) Apertures d'admissió permanentment obertes.
- b) Apertures d'admissió que s'obren automàticament (portes, finestres, airejadors d'admissió).
- c) Airejadors naturals d'extracció de fums i calor en depòsits de fums adjacents com a mínim en un dels dos costats.
- d) Una combinació de qualsevol d'aquests o d'airejadors naturals i mecànics tal i com estipula el punt 4.3 de la mateixa norma.
- e) Utilitzar ventiladors mecànics d'alimentació d'aire d'admissió (i conductes si es necessari).

El reemplaçament de l'aire sempre tindrà lloc per sota de la capa de fums on aquesta entra en contacte amb els fums. No s'utilitzarà mai la mateixa apertura com entrada i sortida d'aire simultàniament.

4. Solució adoptada pel disseny

D'acord amb el punt 2.2 de l'informe serà necessari realitzar l'estudi i instal·lació de sistemes SCTEF per cadascun dels sectors del magatzem industrial, degut a que és tracta d'àrees destinades al emmagatzematge amb un risc alt i la seva superfície és major de 800 m².

Si rememorem la taula 2.1.1 on es plasmaven les dimensions dels sectors, podem observar que tots compleixen el requeriment de que la superfície sigui menor de 2000 m². No obstant, el sector 3 infringeix la normativa d'extensió màxima d'un depòsit de fums, ja que es superior a 60 m. Així doncs, el sector 3 s'haurà de dividir mínim en 2 depòsits de fum.

Es preveu que l'entrada d'aire de reposició es dugui a terme mitjançant exutoris de lames els quals es col·locaran en la façana i de mode que es trobin amb disposició de façanes enfrontades, concretament es col·locarà en les parets més llargues.

El SCTEF doncs es trobarà compost per airejadors naturals, una o més cortines de fums que dividiran el sector 3 i del control automàtic que gestionarà el funcionament de tots els elements.

4.1 Ventilació Natural o Forçada

Seguint les indicacions del punt 2.2 del informe extret de la norma UNE 23585, la ventilació serà natural, a no ser que la ubicació del sector ho impedeixi. Així doncs per aquest cas s'optarà per un sistema de ventilació natural.

4.2 Depòsits de fums

Com anteriorment em citat, el sector 3 s'haurà de dividir en un mínim de dos depòsits de fums, ja que la seva extensió es superior a 60 m. Així doncs per tal de simplificar el càlcul s'ha dividit per la meitat per així tenir 2 depòsits de fums iguals. Els altres sectors romandran sense cap tipus de divisió.

4.3 Tipus d'emmagatzematge

El magatzem es dedica a l'emmagatzematge de *big bags*, degut a això s'ha opta per l'emmagatzematge en estanteries. Els *big bags* es disposaran sobre palets, la dimensió dels quals es 120 x 100 cm [12]. S'estima que les dimensions dels propis *big bags* són de 90 x 90 x 100 cm [13]. Les estanteries seleccionades són de fons simple[14], consten de 4 pisos dividits al llarg de 6 metres (alçada màxima amb *big bag* en l'últim pis) i un ample de total de 2 metres.

5. Categorització, dimensionament d'incendi i càlcul d'airejadors segons la Norma UNE 23585

5.1 Duració del creixement del incendi

Basant-nos amb l'annex L.1 de la normativa UNE 23585:2017 es determina que els temps de creixement d'incendi serà de 10 minuts.

Segons la normativa el temps que transcorre entre l'inici del foc i la comunicació del la alarma s'haurà d'estimar com 10 minuts. No obstant, si es disposa d'un sistema automàtic de detecció de fums i transmissió al parc de bombers, el qual té assistència en qualsevol moment del dia, aquest temps pot reduir-se a 5 minuts. De la mateixa forma el temps entre la comunicació i l'inici de les mesures contra incendis s'estima de 10 minuts, però si hi ha un parc de bombers en les proximitats de l'emplaçament que permeti que aquests arribin en menys de 5 minuts, s'autoritza la reducció d'aquests 10 minuts a 5.

5.2 Àrea teòrica d'incendi. Categoria de disseny

L'àrea d'incendi s'obté a partir de la velocitat de propagació de l'incendi i el temps de duració del creixement del incendi. La Taula 5.2.1 que correspon a la Taula L.1 de l'annex L.2 de la normativa UNE 23585:2017 ens mostra quina seria la classificació en el cas d'estudi.

Taula 5.2.1 *Categoria de disseny per la velocitat específica de propagació d'incendi*

Durada assumida del creixement de l'incendi (segons annex L.1)	Velocitat de propagació de l'incendi < 0,25 m/min
(min)	Categoria de disseny per la velocitat específica de propagació de l'incendi
≤ 5	1a
≤ 10	2
≤ 15	3
≤ 20a	4b
> 20	4c

- a. No s'ha de dissenyar un SCTEH per unes dimensions d'incendi inferiors a la corresponent categoria 1.
- b. Valors mitjans sense verificació específica; la categoria de disseny 4 s'obté si es fan servir valors mitjans.
- c. En aquests estos casos els objectius de protecció d'aquesta norma no poden aconseguir-se solament amb un SCTEH i es requereixen altres mesures de protecció. En cas de no disposar d'aquestes mesures de protecció adicional el risc d'incendi serà considerable i l'evacuació de fums i calor no representaria més que el temps necessari per evacuar als ocupants, i molt poc temps més per que els serveis d'extinció intervinguin abans de la ignició generalitzada

Nota. Extreta de la Asociación Española de Normalización. UNE 23585:2017 Annex L.1 pàgina 165, Taula L.1.

Realitzant la classificació de l'apartat 5.2 pel cas d'estudi, el projecte correspondria a una categoria 2, ja que el temps s'estima de 10 minuts. No obstant, en el mateix apartat de la normativa on es troba la taula, troben un paràgraf on ens insta a escollir un valor de creixement d'incendi de 15 minuts, en cas de tenir un sistema automàtic de detecció d'incendis. Aquest temps pertany a una categoria de disseny 3. Entre aquests dos valors s'escull el més desfavorable a l'hora de categoritzar l'incendi.

5.3 Dimensions del incendi de disseny

Les dimensions d'incendi depenen de les mesures de protecció contra incendi existents, així com de l'existència o no, de materials emmagatzemats en forma d'apilament amb embalatges combustibles, segons la taula L.2 del annex L.3 de la normativa. La taula 5.3.1 es una traducció de la mateixa.

Taula 5.3.1 *Classificació dels apilaments*

Apilament dels materials		Instal·lacions de PCI		
		S2	S3	S4
C1	Tipus d'embalatges Embalatges incombustibles, eventualment col·locats sobre palets de fusta	SC2	SC3	SC4
C2	Embalatges combustibles (de paper, cartró ondulat, fusta o matèries plàstiques incloent les espumes plastificades) col·locats eventualment sobre palets de fusta	SC2	SC4	SC4 ^a

^a. En aquests casos els objectius de protecció d'aquesta norma no poden aconseguir-se solament amb un SCTEH i es requereixen altres mesures de protecció. En cas de no disposar d'aquestes mesures de protecció addicional el risc d'incendi serà considerable i l'evacuació de fums i calor no representaria més que el temps necessari per evacuar als ocupants, i molt poc temps més per que els serveis d'extinció intervinguin abans de la ignició generalitzada

Nota. Extreta de la Asociación Española de Normalización. UNE 23585:2017 Annex L.3 pàgina 166, Taula L.2.

Es considerarà S2 en cas de tenir una instal·lació de ruixadors conforme la norma UNE-EN 12845[15]. En cas de tenir una instal·lació de detecció de fums automàtica conforme a la sèrie de normes UNE-EN 54[16] i comunicació automàtica de la alarma a la central de recepció d'alarmes, es considera S3. Quan no tingui cap d'aquestes dues instal·lacions es considerarà S4.

En funció d'aquesta classificació s'obtiniran els valors màxims del incendi de disseny, en funció del ús o la classificació d'espai a protegir. La taula 5.3.2 correspon a la taula L.4 de l'annex L.3 la qual ens mostra aquest valors segons el tipus d'apilament.

Taula 5.3.2 *Valors màxims de l'incendi de disseny*

	Fabricació	Apilament	Dimensions del incendi (m · m)	Àrea Af (m²)	Perímetre Pf (m)	Altura màxima d'apilament (m)
Categoria 2	S2	SC2	4,5 · 4,5	20,25	18	5
Categoria 3	S3	SC3	6,5 · 6,5	42,25	26	2,4
Categoria 4	S4	SC4	9 · 9	81	36	1,2

Nota. Extreta de la Asociación Española de Normalización. UNE 23585:2017 Annex L.3 pàgina 167, Taula L.4.

5.4 Valors de taxa de calor alliberat

En el cas de mantenir-nos dintre del valor de l'altura màxima d'apilament, vist en l'apartat 5.3, emprarem la taula 1.3 de l'apartat 6.1.2 de la normativa per tal de determinar el flux de calor alliberat segons les anteriors classificacions del incendi de disseny. La taula 5.4.1 és una transcripció de la mateixa.

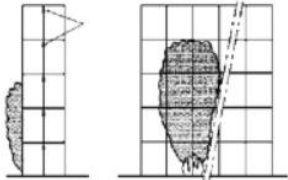
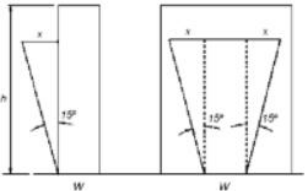
Taula 5.4.1. *Flux de calor alliberat en àrees de producció i amb altura limitada*

Àrees de producció i/o apilament amb altura limitada				
	Altura crítica d'apilament	Àrea Af (m²)	Perímetre Pf (m)	Flux de calor alliberat (qf) kW/m²
Categoria 2 segons annex L	5	20,25	18	Conjunts de combustibles fins 2 m d'altura $q_f(\text{baix}) = 250$ $q_f(\text{alt}) = 625$ Conjunts de combustibles entre 2 m i 5 m (h_f) $q_f(\text{baix}) = 250 \cdot (h_f - 1)$ $q_f(\text{alt}) = 625 \cdot (h_f - 1)$
Categoria 3 segons annex L	2,4	42,25	26	Conjunts de combustibles fins 2 m d'altura $q_f(\text{baix}) = 250$ $q_f(\text{alt}) = 1250$ Conjunts de combustibles entre 2 m i 2,4 m (h_f) $q_f(\text{baix}) = 250 \cdot (h_f - 1)$ $q_f(\text{alt}) = 1250 \cdot (h_f - 1)$
Categoria 4 segons annex L	1,2	81	36	$q_f(\text{baix}) = 250$ $q_f(\text{alt}) = 1250$

Nota. Extreta de la Asociación Española de Normalización. UNE 23585:2017 Apartat 6.1.2 pàgina 38, Taula 1.3.

Per altures d'apilaments majors a les crítiques, segons la categoria o en el cas de l'existència de ruixadors, s'ha de realitzar el càlcul segons la taula 1.4 del apartat 6.1.2 de la normativa (Taula 5.4.2), substituint l'ample de les estanteries per l'amplada del material apilat. Les dimensions en cap cas podran ser superiors a $A_f = 81 \text{ m}^2$, $P_f = 36 \text{ m}$.

Taula 5.4.2 Flux de calor alliberat en edificis d'emmagatzematge en altura

Edifici d'emmagatzematge en altura			
Emmagatzematge amb productes en estanteries (w = amplada de l'estanteria, pel càlcul, màxim 3 m) (h = alçada de l'estanteria) ($x = \frac{2}{3} \cdot h \cdot \text{tangent } 15^\circ = 0,18 \cdot h$)			
			
Sitges: (w = amplada de l'estanteria, pel càlcul, màxim 3 m) (Y = alçada lliure de fum)			
			
(x = Y · tangent 15° = 0,27 · Y) $Y = \frac{2}{3} \cdot h$			
	Àrea d'incendi (Af) m²	Perímetre d'incendi (Pf) m	Flux de calor alliberat (qf) kW/m²
Ruixadors de sostre, independentment de la tipologia	$\frac{4}{3} \cdot h \cdot (w + x)$	$2 \cdot (w + 4 \cdot x)$	qf (baix) = 250 qf (alt) = 625
Ruixadors intermedis	$\frac{2}{3} \cdot h \cdot (w + x)$	w + 4 · x	
Sense ruixadors	81	36	qf (baix) = 250 qf (alt) = 1250

Nota. Extreta de la Asociación Española de Normalización. UNE 23585:2017 Apartat 6.1.2 pàgina 39, Taula 1.4.

5.5 Alçada lliure fums (Y)

Es refereix a l'alçada d'aire net per davall la capa de fums flotants del dipòsit de fums. El punt 6.2.2 de la normativa ens insta a no fixar una alçada lliure de fums menor a 1/10 de l'alçada de la base de la nau fins el sostre, ni major de 9/10. La taula 2 del mateix apartat (Taula 5.5.1) ens fixa l'alçada mínima lliure de fums per damunt dels recorreguts d'evacuació.

Taula 5.5.1. *Mínima alçada neta per damunt dels recorreguts d'evacuació*

Tipus d'edifici	Alçada mínima (Y) m
Edificis públics de concurrència	2,5
Edificis d'ús industrial	2,5
Aparcaments de cotxes	2,5 o 0,8 · H (Qualsevol que sigui major)

Nota. Extreta de la Asociación Española de Normalización. UNE 23585:2017 Apartat 6.2.2 pàgina 41, Taula 2.

La alçada d'ascens fins la base de la capa de fums en el depòsit de fums ha de tenir previstos com a mínim 0,5 m d'alçada neta de fums per damunt de la part superior dels materials emmagatzemats, a excepció de les sitges, la qual es calcula en la Taula 5.4.2 del apartat anterior.

5.6 Alçada baix sostre (H)

Es la mitja de l'alçada entre el terra i el sostre. En el cas que d'estudi, la nau industrial té una alçada màxima de 9,8 metres i una mínima de 8,9 m. Així doncs seria de 9,34 m en el cas d'estudi.

5.7 Profunditat de la capa de fums (d_1)

La Norma defineix la profunditat de la capa de fums en un depòsit de fums com al mesura des del sostre fins la base visible de la capa de fums en metres. Així doncs, queda definida amb la expressió 5.7.1.

$$d_1 = H - Y \quad (5.7.1)$$

5.8 Cabal màssic de fums (M_f)

A fi de calcular el cabal màssic de fums emprarem l'annex A.1 de la Norma. L'annex A es basa en el vessament de la columna de fums directament des d'un incendi dintre d'un depòsit de fums. L'annex A.1 ens indica com calcular el cabal quan la columna de fum es troba sobre un gran incendi.

Per tal de complir que la columna de fums es troba davall un gran incendi haurà de complir la expressió A.1 del annex (expressió 5.8.1 del informe).

$$Y \leq 10 \cdot \sqrt{A_f} \quad (5.8.1)$$

El cabal d'aire que entra dintre la columna (és a dir la quantitat d'aire que es mescla dintre dels gasos d'incendi quan ascendeixen) es gran. Per tots els fins pràctics, la massa real dels productes de combustió pot ignorar-se i els gasos dels fums poden ser tractats

com aire calent contaminat. El valor del cabal d'aire que entra dintre d'una columna de fum ascendent per sobre d'un incendi (M_f) s'obté emprant l'expressió (5.8.2) extreta de l'annex A.1.

$$M_f = C_e \cdot P \cdot Y^{3/2} \quad (\text{kg/s}) \quad (5.8.2)$$

On,

$C_e = 0,188 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}\right)$ per recintes de gran espai tals com auditoris, estadis, oficines de gran planta oberta, etc., on el sostre esta molt per sobre de l'incendi.

$C_e = 0,337 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}\right)$ per recintes d'espai petit tals com unitats de tendes, oficines cel·lulars, habitacions d'hotels, etc., amb apertures d'aeració predominants en un costat de l'incendi.

P és el perímetre d'incendi en metres (m).

Y és l'alçada des de la base de l'incendi fins la capa de fums amb metres (m).

5.9 Flux de calor per convecció (Q_f)

Es tracta del calor convectiu als gasos i fums que surten de les flames per sobre de l'incendi. El calor convectiu que transportat pels gasos dels fums que penetren al depòsit de fums, segons el punt 6.2.2 apartat d) de la Norma, es calcularà amb l'expressió 5.9.1, a no ser que el projectista pugui demostrar amb fets o raons que poden fer-se valors diferents.

$$Q_f = 0,8 \cdot q_f \cdot A_f \quad (5.9.1)$$

5.10 Temperatura mitjana dels gasos per sobre de la temperatura ambient de la capa flotant en un depòsit de fums

L'annex A.2 de la Norma ens permet calcular la temperatura mitjana dels gasos del depòsit de fums per damunt de la temperatura ambient (θ_1). Així doncs podem obtenir aquest valor aïllant l'expressió (5.10.1), obtenint l'expressió (5.10.2).

$$M_f = \frac{Q_f}{c \cdot \theta_1} \quad (5.10.1)$$

$$\theta_1 = \frac{Q_f}{c \cdot M_f} \quad (5.10.2)$$

On c és el valor del calor específic de l'aire a pressió constant en $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$.

A partir d'aquest valor podem obtenir la temperatura a la capa flotant d'un depòsit de fums amb l'expressió (5.10.3).

$$T_1 = T_{amb} + \theta_1 \quad (5.10.3)$$

5.11 Superfície total dels airejadors naturals d'extracció de fums

Els sistemes naturals de ventilació empren la flotabilitat dels fums per proporciona la força d'extracció del mateixos. Aquest valor depèn de la profunditat de la pròpia capa de fums i de la temperatura mitja de la capa flotant dels gasos dels fums.

Per calcular la superfície aerodinàmica total lliure d'airejador necessària fem l'expressió 5.11.1, extreta de l'annex E.5 de la norma UNE 23585.

$$A_{vtot} \cdot C_V = \frac{M_1 \cdot T_1}{\left[2 \cdot \rho_{amb}^2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb} - \frac{M_1^2 \cdot T_1 \cdot T_{amb}}{[A_i \cdot C_i]^2} \right]^{0.5}} \quad (5.11.1)$$

On:

A_{vtot} és la superfície geomètrica total lliure de tots els airejadors d'extracció de fums en un depòsit de fums.

C_V és el coeficient de descarrega d'un airejador natural.

M_1 és el valor de la massa circulant de gasos de fums que entra a la capa flotant de depòsit de fums.

ρ_{amb} és la densitat de l'aire a temperatura ambient en kg/m^3 .

g és la gravetat.

T_{amb} és la temperatura ambient absoluta.

A_i és la superfície geomètrica total lliure de totes les entrades d'aire en m^2 .

C_i és el coeficient de descarrega d'una apertura d'entrada d'aire.

Com no es disposa de dades sobre els valors de A_i i C_i , simplifiquem la expressió 5.11.1 de la següent forma.

$$\alpha = \frac{A_{vtot} \cdot C_V}{A_i \cdot C_i} \quad (5.11.2)$$

$$A_i \cdot C_i = \frac{A_{vtot} \cdot C_V}{\alpha} \quad (5.11.3)$$

$$A_{vtot} \cdot C_V = \frac{M_1 \cdot T_1}{\left[2 \cdot \rho_{amb}^2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb} - \frac{M_1^2 \cdot T_1 \cdot T_{amb}}{\left[\frac{A_{vtot} \cdot C_V}{\alpha} \right]^2} \right]^{0.5}} \quad (5.11.4)$$

$$(A_{vtot} \cdot C_V)^2 = \frac{M_1 \cdot T_1 \cdot \left(\frac{A_{vtot} \cdot C_V}{\alpha}\right)^2}{\left(\frac{A_{vtot} \cdot C_V}{\alpha}\right)^2 \cdot 2 \cdot \rho_{amb}^2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb} - M_1^2 \cdot T_1 \cdot T_{amb}} \quad (5.11.5)$$

$$\left(\frac{A_{vtot} \cdot C_V}{\alpha}\right)^2 \cdot 2 \cdot \rho_{amb}^2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb} - M_1^2 \cdot T_1 \cdot T_{amb} = \left(\frac{M_1 \cdot T_1}{\alpha}\right)^2 \quad (5.11.6)$$

$$\left(\frac{A_{vtot} \cdot C_V}{\alpha}\right)^2 \cdot 2 \cdot \rho_{amb}^2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb} = \left(\frac{M_1 \cdot T_1}{\alpha}\right)^2 + M_1^2 \cdot T_1 \cdot T_{amb} \quad (5.11.7)$$

$$(A_{vtot} \cdot C_V)^2 \cdot 2 \cdot \rho_{amb}^2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb} = M_1^2 \cdot T_1^2 + M_1^2 \cdot T_1 \cdot T_{amb} \cdot \alpha^2 \quad (5.11.8)$$

$$(A_{vtot} \cdot C_V)^2 = \frac{M_1^2 \cdot T_1^2 + M_1^2 \cdot T_1 \cdot T_{amb} \cdot \alpha^2}{2 \cdot \rho_{amb}^2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb}} \quad (5.11.9)$$

$$A_{vtot} \cdot C_V = \frac{M_1}{\rho_{amb}} \cdot \left(\frac{T_1^2 + T_1 \cdot T_{amb} \cdot \alpha^2}{2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb}}\right)^{0.5} \quad (5.11.10)$$

Ens interessa que α sigui igual a 1, ja que al treballar amb airejadors naturals i amb entrades d'aire naturals el seu coeficient de descarrega serà igual. De la mateixa forma l'àrea obtinguda en el càlcul serà igual a l'àrea necessària per les entrades d'aire.

5.12 Nombre mínim d'exutoris a instal·lar N

L'annex E.6 de la Norma ens mostra com realitzar el càlcul del valor crític d'extracció. El valor crític d'extracció es aquell punt a partir del qual es generaria l'efecte vòrtex o "plugholing"[17]. Aquest efecte produeix que l'exutori succioni aire net de sota de la capa de fums, desestabilitzant-la, provocant una major acumulació de fums i una via d'evacuació preferent d'aire net.

Es calcula el valor crític d'extracció (M_{crit}) mitjançant l'expressió 5.12.1, extreta de l'annex anteriorment citat.

$$M_{crit} = 1,3 \cdot \left[\frac{g \cdot d_n^5 \cdot T_{amb} \cdot \theta_1}{T_1^2}\right]^{1/2} \quad (5.12.1)$$

On

d_n es la profunditat de la capa de fums davall del punt d'extracció en (m)

Per airejadors més separats de a paret que l'amplada característica del propi airejador es realitza el càlcul amb l'expressió 5.12.2, extreta del mateix annex.

$$M_{crit} = \frac{2,05 \cdot \rho_{amb} \cdot [g \cdot T_{amb} \cdot \theta_1]^{0.5} \cdot d_n^2 \cdot D_V^{0.5}}{T_1} \quad 5.12.2$$

On:

D_V és el diàmetre hidràulic de l'orifici d'extracció de fums. El qual es calcula de la amb la fórmula (5.12.3) forma per un conducte de secció rectangular.

$$D_V = \frac{2 \cdot L \cdot W}{L + W} \quad (5.12.3)$$

On:

L és la longitud en metres de l'airejador.

W és l'amplada en metres de l'airejador.

El nombre requerit d'orificis d'extracció (N) s'extreu de l'expressió (5.12.4).

$$N \geq \frac{M_1}{M_{crit}} \quad (5.12.4)$$

6. Guia de funcionament del programa Excel basat en els càlculs de la Norma UNE 23585

La finalitat del programa que s'ha creat exclusivament per aquest Treball de Final de Màster es establir el número de airejadors naturals per depòsit de fums. Aquesta objectiu es durà a terme seguint la norma UNE 23585:2017.

Abans de començar amb l'explicació, veig necessari citar que el propi programa té un codi de colors per les cel·les Excel. Així doncs es poden diferenciar 3 tipus de cel·les:

- Cel·les blaves: Es tracta de cel·les on hi ha una llista desplegable. En aquestes s'haurà de seleccionar una opció del desplegable.
- Cel·les grogues: En aquestes cel·les s'ha d'introduir informació relativa al projecte com per exemple l'alçada d'emmagatzematge, les dimensions dels sectors, les dimensions dels airejadors...
- Cel·les blanques: Aquestes cel·les han de romandre sense tocar ja que estan programades per què en funció de les cel·les grogues i blaves ens doni els resultats dels càlculs o classificacions d'incendi.

Feta aquesta incisió prèvia és procedeix a l'explicació del programa.

6.1 Duració del creixement de l'incendi

Aquest valor es un dels utilitzats per establir les dimensions de l'incendi per el disseny d'un SCTEF. Es relaciona amb el temps que transcorre entre l'inici del incendi i l'inici de l'actuació de les mesures contra incendis.

En la imatge 6.1.1 s'observa les diverses opcions de la llista desplegable.

	A	B
1		
2		
3	Càlcul d'un SCTEH Natural per un magatzem logístic i d'ús industrial	
4		
5	Durada assumida del creixement de l'incendi (min)	≤15
6	Categoria de disseny per la velocitat específica de propagació de l'incendi?	<ul style="list-style-type: none"> ≤5 ≤10 ≤15 ≤20 >20

Imatge 6.1.1. Captura del desplegable cel·la B6 de la fulla Programa del Excel

S'ha de seleccionar una de les anteriors opcions seguint les indicacions de l'Annex L.1 de la normativa.

Segons la normativa, el temps que transcorre entre l'inici del foc i la comunicació del la alarma s'haurà d'estimar en 10 minuts, no obstant, si es disposa d'un sistema automàtic de detecció de fums i transmissió al parc de bombers, el qual ha de tenir assistència les 24 hores, pot reduir-se a 5 minuts.

De la mateixa forma, el temps entre la comunicació i l'inici de les mesures contra incendis s'estima de 10 minuts, però si hi ha un parc de bombers en les proximitats es permet reduir el temps a 5 minuts.

En funció d'aquests temps, la cel·la B6 ens generarà un valor automàtic corresponent a una categoria de disseny. Aquest valor concordarà amb la Taula L.1 de l'annex L.2 de la Norma. Al mateix temps la cel·la B7 ens podrà genera avisos en funció de les cel·les B5 i B6. Aquest avisos són els mateixos que apareixien en la Taula L.1.

6.2 Dimensions del incendi de disseny

Tal i com es cita en l'apartat 5.3, les dimensions d'incendi depenen de les mesures de protecció contra incendis i de l'existència dels materials emmagatzemats. És per això que el propi programa ens pregunta diverses qüestions relatives a aquests ítems en les cel·les B8, B9, B10, B11.

S'han de contestar aquestes preguntes per mitjà de les opcions desplegable tal i com s'observa en les Imatges 6.2.1, 6.2.2, 6.2.3 i 6.2.4.

	A	B
1		
2		
3	Càlcul d'un SCTEH Natural per un magatzem logístic i d'ús industrial	
4		
8	Tenim una instal·lació de ruixadors?	No
9	Quin tipus de ruixadors?	Sí
10	Tenim una instal·lació automàtica de detecció de fums?	No
11	Tipus d'emblatges	C2 = Embalatges combustibles (de paper, cartró ondulat, fusta o matèries plàstiques incloent les espumes plastificades) col·locats eventualment sobre palets de fusta

Imatge 6.2.1. Captura del desplegable cel·la B8 de la fulla Programa del Excel

	A	B
1		
2		
3	Càlcul d'un SCTEH Natural per un magatzem logístic i d'ús industrial	
4		
8	Tenim una instal·lació de ruixadors?	No
9	Quin tipus de ruixadors?	No
10	Tenim una instal·lació automàtica de detecció de fums?	De sostre Intermedis
11	Tipus d'emblatges	No plàstiques incloent les espumes plastificades) col·locats eventualment sobre palets de fusta

Imatge 6.2.2. Captura del desplegable cel·la B9 de la fulla Programa del Excel

ANÀLISIS TÈCNIC - ECONÒMIC DE LA INSTAL·LACIÓ D'UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA I D'EVACUACIÓ DE FUMS EN UN MAGATZEM LOGÍSTIC

	A	B
1		
2		
3	Càlcul d'un SCTEH Natural per un magatzem logístic i d'ús industrial	
4		
8	Tenim una instal·lació de ruixadors?	No
9	Quin tipus de ruixadors?	No
10	Tenim una instal·lació automàtica de detecció de fums?	Sí
11	Tipus d'emblatges	Sí No plàstiques incloent les espumes plastificades) col·locats eventualment sobre palets de fusta

Imatge 6.2.3. Captura del desplegable cel·la B10 de la fulla Programa del Excel

	A	B
1		
2		
3	Càlcul d'un SCTEH Natural per un magatzem logístic i d'ús industrial	
4		
8	Tenim una instal·lació de ruixadors?	No
9	Quin tipus de ruixadors?	No
10	Tenim una instal·lació automàtica de detecció de fums?	Sí
11	Tipus d'emblatges	C2 = Embalatges combustibles (de paper, cartró ondulat, fusta o matèries plàstiques incloent les espumes plastificades) col·locats eventualment sobre palets de fusta
12	Classificació	C1 = Embalatges incombustibles, eventualment col·locats sobre palets de fusta C2 = Embalatges combustibles (de paper, cartró ondulat, fusta o matèries plàstiques incloent le

Imatge 6.2.4. Captura del desplegable cel·la B11 de la fulla Programa del Excel

En funció de les respostes obtindrem una classificació o una altra dels apilaments, al seu temps també ens proporcionarà els valors màxims de l'incendi disseny. Dintre d'aquest és troben valors com la categoria d'incendi, les dimensions d'incendi, l'àrea d'incendi i el seu perímetre. Aquest valors s'extreuen segons les classificacions de les taules L.3 i L.2 de l'Annex L.4 de la Norma. En la imatge 6.2.5 s'observen els valors obtinguts pel cas d'estudi.

	A	B
1		
2		
3	Càlcul d'un SCTEH Natural per un magatzem logístic i d'ús industrial	
4		
11	Tipus d'emblatges	C2 = Embalatges combustibles (de paper, cartró ondulat, fusta o matèries plàstiques incloent les espumes plastificades) col·locats eventualment sobre palets de fusta
12	Classificació	SC4
13	Avis	OK
14	Categoria	Categoria 4
15	Fabricació	S4
16	Dimensions del incendi (mxm)	9x9
17	Àrea Af (m2)	81
18	Perímetre Pf (m)	36
19	Altura màxima d'apilament (m)	1.2

Imatge 6.2.5. Captura dels valors obtinguts pel cas d'estudi

6.3 Determinació del flux de calor alliberat

Per poder determinar el flux de calor alliberat cal primer determinar si és tractarà d'un magatzem que respecti l'altura crítica d'emmagatzematge o bé es tracti d'emmagatzematge en altura. En la cel·la B20 seleccionarem una opció del desplegable per indicar si tenim emmagatzematge amb altura o no. Aquesta elecció afectarà, posteriorment, al algoritme. La imatge 6.3.1 mostra el desplegable de la cel·la B20.

	A	B
1		
2		
3	Càlcul d'un SCTEH Natural per un magatzem logístic i d'ús industrial	
4		
20	Tenim emmagatzematge en altura o es supera l'altura crítica d'apilament?	Si
21	Altura d'emmagatzematge (m)	Sí
22	Emmagatzematge en sitges o en estanteries?	No Estanteries

Imatge 6.3.1. Captura del desplegable cel·la B20 de la fulla Programa del Excel

En la cel·la B21 haurem de posar l'altura d'emmagatzematge, tenint en compte que aquesta es l'alçada total de l'estanteria amb el producte a sobre de la mateixa.

En cas de no tenir emmagatzematge en altura, les cel·les de la B25 a la B28 ens donarien els valors de l'àrea d'incendi, perímetre d'incendi i els fluxos de calor baix i alt.

Si per el contrari tenim emmagatzematge en altura, haurem de determinar si aquest es dur a terme mitjançant sitges o estanteria, ja que això afectarà al algoritme i ens donarà uns valors o altres. En la cel·la B22 escollirem una de les dues opcions.

Tor seguit, determinarem també l'ample de la estanteria. En cas que aquest sigui superior a 3 metres s'usarà l'ample del material emmagatzemat.

	A	B
1		
2		
3	Càlcul d'un SCTEH Natural per un magatzem logístic i d'ús industrial	
4		
20	Tenim emmagatzematge en altura o es supera l'altura crítica d'apilament?	Si
21	Altura d'emmagatzematge (m)	6
22	Emmagatzematge en sitges o en estanteries?	Estanteries
23	Amplada d'estanteria (màxim 3 m)	Estanteries Sitges

Imatge 6.3.2. Captura del desplegable cel·la B22 de la fulla Programa del Excel

En funció de totes aquestes dades l'algoritme generarà un nou valor de de l'àrea d'incendi i el perímetre d'incendi, sempre i quant el magatzem tingui algun tipus de ruixadors. Aquest nou valor generat és calcula tal i com estipula la Taula 1.4 del apartat 6.1.2 de la Norma el qual fa referència a edificis d'emmagatzematge en altura. Al mateix temps també s'obtidrà els valors de flux de calor alliberat. En la Imatge 6.3.3 s'observa els valors obtinguts.

	A	B
1		
2	Càlcul d'un SCTEH Natural per un magatzem logístic i d'ús industrial	
3		
4		
23	Amplada d'estanteria (màxim 3 m)	1,2
24	x	1,08
25	Af (recalc.) (m2)	81
26	Pf (recalc.) (m)	36
27	qf (baix) kW/m2	250
28	qf (alt) kW/m2	1250

Imatge 6.3.3. Captura dels valors de flux de calor alliberat, la nova àrea d'incendi i perímetre

6.4 Dades dels sectors de l'edifici

L'algoritme està dissenyat per un màxim de 5 sectors inicialment, se'n poden afegir o reduir sense cap tipus de problema, ja que això no afecta al càlcul. Aquest apartat ha estat creat per comprovar que es compleixen les dimensions màximes d'un depòsit de fums.

Aquestes dimensions màximes corresponen a una elongació màxima de 60 metres en qualsevol dels seus eixos o una superfície màxima de 2000 m². Qualsevol infracció d'aquests dos ítems farà que la corresponent cel·la Excel on s'hagi introduït la informació es torni vermella, la qual cosa ens indicarà que aquell sector serà necessari dividir-lo mínim en dos depòsits de fums. A més a més, les cel·les B32 o B34 ens mostraran un avís en cas que això succeeixi. La imatge 6.4.1 il·lustra aquest fenomen.

1				
2				
3	Càlcul d'un SCTEH Natural per un magatzem logístic i d'ús industrial			Selecciona una op
4				Introduïr valors d
29	Quants Sectors d'incendi hi ha?	3		
30	Llargada del Sector	40,8	40,8	81,6
31	Amplada del Sector	33,7	33,7	23,6
32	Avis	Supera les dimensions màximes de llargada, s'ha de dividir el depòsit		
33	Superfície sector (m2)	1374,96	1374,96	1925,76
34	Avis		OK	

Imatge 6.4.1. Comprovació dels depòsits de fums

6.5 Alçada baix sostre

L'alçada baix sostre, sempre i quan no estem parlant d'una coberta plana, serà la mitjana entre el punt més alt i el més baix del sostre. Així doncs, en cas de tenir una coberta inclinada introduïrem aquests valors en les cel·les B35 i B36. El propi algoritme ens donarà el seu valor en la cel·la B37. En la Imatge 6.5.1 s'observa les cel·les citades.

	A	B
1		
2	Càlcul d'un SCTEH Natural per un magatzem logístic i d'ús industrial	
3		
4		
35	Alçada en el punt més alt de la nau (m)	9,8
36	Alçada en el punt mes baix de la nau (m)	8,9
37	Alçada baix sostre H (m)	9,35

Imatge 6.5.1. Determinació de l'alçada baix sostre

6.6 Alçada lliure de fums

El programa determina l'alçada lliure de fums en funció del punt 6.2.2 de la Norma, on insta a que aquesta alçada no pot ser menor de 1/10 de l'alçada total de la nau, ni major a 9/10. Al mateix temps té en compte l'alçada mínima neta per damunt dels recorreguts d'evacuació quan no es tracta d'emmagatzemaments en alçada.

En referència aquest tipus, la norma cita que s'haurà de deixar una distància mínima de 0,5 m per sobre de la part superior dels materials emmagatzemats. Per major seguretat el programa deixa 1 metre per sobre.

Si es tracta d'un emmagatzematge en altura amb sitges el programa calcula l'alçada lliure de fums segons la taula 1.4 de l'apartat 6.1.2.

En funció dels valors anteriorment introduïts el programa ens proporcionarà automàticament l'alçada lliure de fums en la cel·la B38.

6.7 Profunditat de la capa de fums

Aquest paràmetre s'obté automàticament mitjançant la cel·la B39.

6.8 Càlcul del cabal de fums

L'algoritme està dissenyat per realitzar el càlcul per una columna de fum sobre un gran incendi o un petit incendi, tal i com estipula l'Annex A de la normativa. A fi de distingir entre les dues metodologies de càlcul pel cabal de fums, la cel·la B41 ens fa diferenciar si ens trobem en espais grans o petits. La imatge 6.8.1 il·lustra aquest fet.

ANÀLISIS TÈCNIC - ECONÒMIC DE LA INSTAL·LACIÓ D'UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA I D'EVACUACIÓ DE FUMS EN UN MAGATZEM LOGÍSTIC

	A	B
1		
2		
3	Càlcul d'un SCTEH Natural per un magatzem logístic i d'ús industrial	
4		
36	Alçada en el punt mes baix de la nau (m)	8,75
37	Alçada baix sostre H (m)	9,15
38	Alçada lliure de fums Y (m)	7
39	Profunditat capa de fums (d1)	2,15
40	Altura des del terra fins la part més baixa de la capa de fums	7,9
41	Espais grans o petits?	Grans
42	Coefficient de cabal d'entrada de fums C_e ($kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	Grans Petits
43	Calor convectiu dels gasos i fums expulsats per les flames d'incendi Q_f	81000
44	Columna de fum damunt gran incendi o petit incendi?	Columna de fum damunt gran incendi

Imatge 6.8.1. Captura del desplegable cel·la B40 de la fulla Programa del Excel

Aquesta decisió influirà a la aparició de certs paràmetres com la D, que es el diàmetre eficaç de l'incendi, i zo, que es l'altura del origen virtual de la columna de fum. Aquest paràmetres sol apareixeran en cas de tractar-se de petits incendis. En cas contrari apareixeran, tal i com s'observa a la imatge 6.8.2.

	A	B
1		
2		
3	Càlcul d'un SCTEH Natural per un magatzem logístic i d'ús industrial	
4		
42	Coefficient de cabal d'entrada de fums C_e ($kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	0,188
43	Calor convectiu dels gasos i fums expulsats per les flames d'incendi Q_f	81000
44	Columna de fum damunt gran incendi o petit incendi?	Columna de fum damunt gran incendi
45	Si tenim petit incendi	
46	D	-
47	Altura origen virtual de la columna de fum zo	-
48	Cabal d'aire que entra dintre d'una columna de fum (kg/s)	150,28

Imatge 6.8.2. Captura quan es selecciona espais grans en la fulla Programa del Excel

També citar que el calor convectiu dels gasos i fums expulsats per les flames, paràmetre necessari pel càlcul de la superfície aerodinàmica total lliure, s'obté de forma automàtica i es calcula segons el punt 6.2.2 de la Norma UNE 23585.

Finalment en la cel·la B48 obtindrem el valor del cabal de fums.

6.9 Obtenció de la Superfície aerodinàmica total lliure d'airejadors

Per tal de que el programa calculi la superfície aerodinàmica total es necessari introduir certs valors com el calor específic del aire a pressió constant, la temperatura ambient, la densitat de l'aire a temperatura ambient i la gravetat. Al introduir aquests valors en les cel·les corresponents es calcularà automàticament la temperatura mitjana

dels gasos del depòsit de fums per damunt de la temperatura ambient i la temperatura de la capa flotant.

Un cop generat aquest valors el propi programa donarà la superfície aerodinàmica total lliure en la cel·la B55 tal i com es mostra en la imatge 6.9.1.

	A	B
1		
2		
3	Càlcul d'un SCTEH Natural per un magatzem logístic i d'ús industrial	
4		
47	Altura origen virtual de la columna de fum zo	-
48	Cabal d'aire que entra dintre d'una columna de fum (kg/s)	150,28
49	Calor específic del aire a pressió constnat c (kJ·kg·1·K)	1,005
50	Temperatura ambient (K)	293
51	Temperatura mitjana dels gasos del depòsit de fums per damunt de la temperatura ambient	537
52	Temperatura a la capa flotant del depòsit de fums	830
53	Densitat aire a Tambient (kg/m3)	1,225
54	Gravetat (m/s2)	9,81
55	Superfície aerodinàmica total lliure d'airejadors Avtot·Cv	45,97

Imatge 6.9.1. Captura de la Superfície aerodinàmica total lliure de la fulla Programa del Excel

6.10 Determinació del número d'airejadors

Per tal de saber el número d'exutoris naturals, primer haurem de seleccionar un model comercial d'airejador. En la bibliografia trobareu les referències [18] i [19] que us portaran a dues pàgines de fabricants on podreu seleccionar un dels models. El propi Excel us preguntarà el nom del model i us farà introduir els valors d'amplada, llargada i superfície aerodinàmica del mateix. La imatge 6.10.1 us mostra les cel·les on s'han d'introduir aquests valors.

	A	B
1		
2		
3	Càlcul d'un SCTEH Natural per un magatzem logístic i d'ús industrial	
4		
53	Densitat aire a Tambient (kg/m3)	1,225
54	Gravetat (m/s2)	9,81
55	Superfície aerodinàmica total lliure d'airejadors Avtot·Cv	45,97
56	Model Airejador	EURA 180-8/GHB
57	W	2,2
58	L	3
59	Ai	4,95

Imatge 6.10.1. Captura cel·les introducció de dades del airejador de la fulla Programa del Excel

Un cop realitzat aquest pas l'Excel calcula el diàmetre hidràulic de l'apertura (Dv) i els cabal de fums evacuats pels airejadors en funció de si es troben prop o lluny de la

paret. Aquests càlculs són necessaris per determinar el nombre mínim d'airejadors (N) per evitar el fenomen de *plugholing*. Aquest fenomen es donarà sempre i quant tinguem un valor de airejadors (A_{vtot}/A_i) inferior a N.

Finalment la cel·la B64 ens proporcionarà el número d'exutoris segons el model escollit. S'ha de tenir en compte que en cas de que hi hagi ruixadors en la instal·lació s'haurà de afegir un ruixador més tal i com estableix el punt J.3.4.

	A	B
1		
2	Càlcul d'un SCTEH Natural per un magatzem logístic i d'ús industrial	
3		
4		
59	Ai	4,95
60	Dv	2,54
61	Mcrit vora paret	13,19
62	Mcrit en punts allunyats de la paret	27,7
63	N	10
64	Avtot/Ai	10

Imatge 6.10.2. Obtenció del número d'exutoris de la fulla Programa del Excel

7. Programació del Excel

En aquest apartat es detalla el llenguatge usat en les cel·les Excel del programa. Mitjançant les taules 7.1, 7.2 i 7.3.

	A	B	C	D	E
2					
3	Càlcul d'un SCTEH Natural per un magatzem logístic i d'ús industrial				
4					
5	Durada assumida del creixement de l'incendi (min)	≤15			
6	Categoria de disseny per la velocitat específica de propagació de l'incendi?	3			
7	Avis	OK			
8	Tenim una instal·lació de ruixadors?	No			
9	Quin tipus de ruixadors?	No			
10	Tenim una instal·lació de automàtica de detecció de fums?	Si			
11	Tipus d'emblatges	C2 = Embalatges combustibles (de paper, cartró ondulat, fusta o matèries plàstiques incloent les espumes plastificades) col·locats eventualment sobre palets de fusta			
12	Classificació	SC4			
13	Avis	OK			
14	Categoria	Categoria 4			
15	Fabricació	S4			
16	Dimensions del incendi (mxm)	9x9			
17	Àrea Af (m2)	81			
18	Perímetre Pf (m)	36			
19	Altura màxima d'apilament (m)	1,2			

Imatge 7.1. Captura de pantalla de la fila 1 a 19 Fulla Programa de l'Excel

Taula 7.1 Paràmetre, cel·la i fórmules emprades fins la fila 19 de la fulla Programa

Paràmetre	Cel·la Excel	Fórmula
Categoria de disseny per la velocitat específica de propagació de l'incendi?	B6	=SI.CONJUNTO(B5='Val. datos'!C3;'Val. datos'!B3;B5='Val. datos'!C4;'Val. datos'!B4;B5='Val. datos'!C5;'Val. datos'!B5;B5='Val. datos'!C6;'Val. datos'!B6;B5='Val. datos'!C7;'Val. datos'!B7)
Avis	B7	=SI.CONJUNTO(B6='Val. datos'!B3;"OK";B6='Val. datos'!B4;"OK";B6='Val. datos'!B5;"OK";B6='Val. datos'!B6;"OK";B6='Val. datos'!B7;Taules!A10)

Taula 7.1 *Paràmetre, cel·la i fórmules emprades fins la fila 19 de la fulla Programa (cont.)*

Paràmetre	Cel·la Excel	Fórmula
Classificació	B12	=SI.CONJUNTO((Y(B11='Val. datos'!B11;B8='Val. datos'!B14));Taules!C15;(Y(B11='Val. datos'!B11;B8='Val. datos'!C14;B10='Val. datos'!B14));Taules!D15;(Y(B11='Val. datos'!B11;B8='Val. datos'!C14;B10='Val. datos'!C14));Taules!E15;(Y(B11='Val. datos'!B12;B8='Val. datos'!B14));Taules!C16;(Y(B11='Val. datos'!B12;B8='Val. datos'!C14;B10='Val. datos'!B14));Taules!D16;(Y(B11='Val. datos'!B12;B8='Val. datos'!C14;B10='Val. datos'!C14));Taules!E16)
Avís	B13	=SI.CONJUNTO(B12=Taules!C16;"OK";B12=Taules!D16;"OK";B12=Taules!D15;"OK";B12=Taules!E16;Taules!A17)
Categoria	B14	=SI.CONJUNTO(B12=Taules!C25;Taules!A25;B12=Taules!C26;Taules!A26;B12=Taules!C27;Taules!A27)
Fabricació	B15	=SI.CONJUNTO(B14=Taules!A25;Taules!B25;B14=Taules!A26;Taules!B26;B14=Taules!A27;Taules!B27)
Dimensions del incendi (m · m)	B16	=SI.CONJUNTO(B14=Taules!A25;Taules!D25;B14=Taules!A26;Taules!D26;B14=Taules!A27;Taules!D27)
Àrea Af (m ²)	B17	=SI.CONJUNTO(B14=Taules!A25;Taules!E25;B14=Taules!A26;Taules!E26;B14=Taules!A27;Taules!E27)
Perímetre Pf (m)	B18	=SI.CONJUNTO(B14=Taules!A25;Taules!F25;B14=Taules!A26;Taules!F26;B14=Taules!A27;Taules!F27)
Altura màxima d'apilament (m)	B19	=SI.CONJUNTO(B14=Taules!A25;Taules!G25;B14=Taules!A26;Taules!G26;B14=Taules!A27;Taules!G27)

ANÀLISIS TÈCNIC - ECONÒMIC DE LA INSTAL·LACIÓ D'UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA I D'EVACUACIÓ DE FUMS EN UN MAGATZEM LOGÍSTIC

	A	B	C	D
1				
2				
3	Càlcul d'un SCTEH Natural per un magatzem logístic i d'ús industrial			
4				Selecciona una opció Introduir valors d
20	Tenim emmagatzematge en altura o es supera l'altura crítica d'apilament?	Sí		
21	Altura d'emmagatzematge (m)	4		
22	Emmagatzematge en síges o en estanteries?	Estanteries		
23	Amplada d'estanteria (màxim 3 m)	2.4		
24	x	0.72		
25	Af (recalc.) (m2)	81		
26	Pf (recalc.) (m)	36		
27	qf (baix) kW/m2	250		
28	qf (alt) kW/m2	1250		
29	Quants Sectors d'incendi hi ha?	3		
30	Llargada del Sector	41	41	82
31	Amplada del Sector	34	34	24
32	Avis	Supera les dimensions màximes de llargada, s'ha de dividir el dipòsit		
33	Superfície sector (m2)	1394	1394	1968
34	Avis	OK		
35	Alçada en el punt més alt de la nau (m)	9.55	9.55	9.55
36	Alçada en el punt més baix de la nau (m)	8.75	8.75	8.75
37	Alçada baix sostre H (m)	9.15	9.15	9.15
38	Alçada lliure de fums Y (m)	7		
39	Profunditat capa de fums (d1)	2.15		
40	Altura des del terra fins la part més baixa de la capa de fums	7.9		
41	Espais grans o petits?	Grans		
42	Coefficient de cabal d'entrada de fums Ce (kg·m-2·s-1)	0.188		

Imatge 7.2. Captura de pantalla de la fila 20 a 42 Fulla Programa de l'Excel

Taula 7.2 Paràmetre, cel·la i fórmules emprades de la fila 20 fins la 42 de la fulla Programa

Paràmetre	Cel·la Excel	Fórmula
x	B24	=SI.CONJUNTO(Y(B20='Val. datos'!B14;Programa!B22='Val. datos'!B20);(0,18*B21);Y(B20='Val. datos'!B14;Programa!B22='Val. datos'!B21);(0,27*(2/3)*Programa!B21);B20='Val. datos'!C14;"-")
Àrea Af (m ²) recalculada	B25	=SI.CONJUNTO(Y(B20='Val. datos'!B14;Programa!B9='Val. datos'!B16);SI(((4/3)*Programa!B21*(Programa!B23+Programa!B24))<81;((4/3)*Programa!B21*(Programa!B23+Programa!B24));81);Y(B20='Val. datos'!B14;Programa!B9='Val. datos'!B17);SI(((2/3)*Programa!B21*(Programa!B23+Programa!B24))<81;((2/3)*Programa!B21*(Programa!B23+Programa!B24));81);Y(B20='Val. datos'!B14;Programa!B9='Val. datos'!B18);81;B20='Val. datos'!C14;"-")

Taula 7.2 Paràmetre, cel·la i fórmules emprades de la fila 20 fins la 42 de la fulla Programa (cont.)

Paràmetre	Cel·la Excel	Fórmula
Perímetre Pf (m) recalculat	B26	=SI.CONJUNTO(Y(B20='Val. datos'!B14;Programa!B9='Val. datos'!B16);SI(2*(Programa!B23+4*Programa!B24)<36;2*(Programa!B23+4*Programa!B24);36);Y(B20='Val. datos'!B14;Programa!B9='Val. datos'!B17);SI(Programa!B23+4*Programa!B24<36;Programa!B23+4*Programa!B24;36);Y(B20='Val. datos'!B14;Programa!B9='Val. datos'!B18);36;B20='Val. datos'!C14;"-"))
qf (baix) kW/m ²	B13	=SI.CONJUNTO(Y(B14=Taules!A25;Programa!B21<2;B20='Val. datos'!C14);Taules!F34;Y(B14=Taules!A25;Programa!B21>=2;B14=Taules!A25;Programa!B21<=5;B20='Val. datos'!C14);(Taules!F34*(B21-1));Y(B20='Val. datos'!C14;B14=Taules!A26;Programa!B21<2);Taules!F40;Y(B20='Val. datos'!C14;B14=Taules!A26;Programa!B21>=2;B14=Taules!A26;Programa!B21<=2,4);(Taules!F40*(Programa!B21-1));Y(B20='Val. datos'!C14;B14=Taules!A27;Programa!B21<=Taules!B45);Taules!F45;Y(B20='Val. datos'!B14;B9='Val. datos'!B16);Taules!F34;Y(B20='Val. datos'!B14;B9='Val. datos'!B17);Taules!F34;Y(B20='Val. datos'!B14;B8='Val. datos'!C14);Taules!F34)
qf (alt) kW/m ²	B14	=SI.CONJUNTO(Y(B14=Taules!A25;Programa!B21<2;B20='Val. datos'!C14);Taules!F35;Y(B14=Taules!A25;Programa!B21>=2;B14=Taules!A25;Programa!B21<=5;B20='Val. datos'!C14);(Taules!F35*(B21-1));Y(B20='Val. datos'!C14;B14=Taules!A26;Programa!B21<2);Taules!F41;Y(B20='Val. datos'!C14;B14=Taules!A26;Programa!B21>=2;B14=Taules!A26;Programa!B21<=2,4);(Taules!F41*(Programa!B21-1));Y(B20='Val. datos'!C14;B14=Taules!A27;Programa!B21<=Taules!B45);Taules!F46;Y(B20='Val. datos'!B14;B9='Val. datos'!B16);Taules!F35;Y(B20='Val. datos'!B14;B9='Val. datos'!B17);Taules!F35;Y(B20='Val. datos'!B14;B8='Val. datos'!C14);Taules!F46)
Avís	B32	=SI(O(B30>=60;C30>=60;D30>=60;E30>=60;F30>=60;B31>=60;C31>=60;D31>=60;E31>=60;F31>=60);"Supera les dimensions màximes de llargada, s'ha de dividir el depòsit";"OK")
Superfície sector 1 (m ²)	B33	=B30*B31
Superfície sector 2 (m ²)	C33	=C30*C31
Superfície sector 3 (m ²)	D33	=D30*D31

ANÀLISIS TÈCNIC - ECONÒMIC DE LA INSTAL·LACIÓ D'UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA I D'EVACUACIÓ DE FUMS EN UN MAGATZEM LOGÍSTIC

Taula 7.2 Paràmetre, cel·la i fórmules emprades de la fila 20 fins la 42 de la fulla Programa (cont.)

Paràmetre	Cel·la Excel	Fórmula
Superfície sector 4 (m ²)	E33	=E30*E31
Superfície sector 5 (m ²)	F33	=F30*F31
Avís	B35	=SI(O(B33>=2000;C33>=2000;D33>=2000;E33>=2000;F33>=2000);"Supera la superfície màxima d'un sector, s'ha de dividir en dipòsits";"OK")
Alçada baix sostre H (m)	B37	=REDONDEAR(PROMEDIO(B35:B36);2)
Alçada lliure de fums Y (m)	B38	=SI.CONJUNTO(Y(Programa!B20='Val. datos!C14;Programa!B19<2);2,5;Y(Programa!B20='Val. datos!C14;Programa!B19>2,5);B21+1;Y(Programa!B20='Val. datos!B14;Programa!B21<2);2,5;Y(Programa!B20='Val. datos!B14;Programa!B21>2,5);Programa!B21+1)
Profunditat capa de fums (d1)	B39	=B37-B38
Coefficient de cabal d'entrada de fums Ce (kg·m ⁻² ·s ⁻¹)	B42	=SI.CONJUNTO(B40='Val. datos!B23;0,188;B40='Val. datos!B24;0,337)

	A	B	C	D	E
2	Càlcul d'un SCTEH Natural per un magatzem logístic i d'ús industrial				
3				Selecciona una opció desplegable	
4				Introduir valors del cas a mà	
43	Calor convectiu dels gasos i fums expulsats per les flames d'incendi Qf	81000			
44	Columna de fum damunt gran incendi o petit incendi?	Columna de fum damunt gran incendi			
45	Si tenim petit incendi				
46	D	-			
47	Alçada origen virtual de la columna de fum zo	-			
48	Cabal d'aire que entra dintre d'una columna de fum (kg/s)	150,28			
49	Calor específica del aire a pressió constant c (kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹)	1,005			
50	Temperatura ambient (K)	293			
51	Temperatura mitjana dels gasos del dipòsit de fums per damunt de la temperatura ambient	537			
52	Temperatura a la capa flotant del dipòsit de fums	830			
53	Densitat aire a Tambient (kg/m ³)	1,225			
54	Gravetat (m/s ²)	9,81			
55	Superfície aerodinàmica total lliure d'airejadors Avtot·Cv	45,97			
56	Model Airejador	EURA 180-8/GHB			
57	W	2,2			
58	L	3			
59	Ai	4,95			
60	Dv	2,54			
61	Mcrit vora paret	13,19			
62	Mcrit en punts alluivats de la paret	27,7			
63	N	10			
64	Avtot/Ai	10			

Imatge 7.3. Captura de pantalla de la fila 43 a 64 Fulla Programa de l'Excel

Taula 7.3 Paràmetre, cel·la i fórmules emprades de la fila 43 fins la 64 de la fulla Programa

Paràmetre	Cel·la Excel	Fórmula
Calor convectiu dels gasos i fums expulsats per les flames d'incendi Qf	B43	=0,8*B28*SI(B20='Val. datos'!B14;Programa!B25;Programa!B17)
Columna de fum damunt gran incendi o petit incendi?	B44	=SI.CONJUNTO(B38<=RAIZ(SI(B20='Val. datos'!B14;Programa!B25;Programa!B17));"Columna de fum damunt gran incendi";B38>=RAIZ(SI(B20='Val. datos'!B14;Programa!B25;Programa!B17));"Columna de fum damunt de petit incendi")
D	B46	=SI.CONJUNTO(B44="Columna de fum damunt de petit incendi";4*((SI(B20='Val. datos'!B14;Programa!B25;Programa!B17))/((SI(B20='Val. datos'!B14;Programa!B26;Programa!B18)))));B44="Columna de fum damunt gran incendi";"-")
Altura origen virtual de la columna de fum zo	B47	=SI.CONJUNTO(B44="Columna de fum damunt de petit incendi";(-1,02*B46)+((0,083*(B43^0,4)));B44="Columna de fum damunt gran incendi";"-")
Cabal d'aire que entra dintre d'una columna de fum (kg/s)	B48	=SI.CONJUNTO(B44="Columna de fum damunt de petit incendi";(0,071*(B43^0,33)*((B40-B47)^1,67)*(1+0,026*((B43)^0,67)*((B40-B47)^-1,67)));B44="Columna de fum damunt gran incendi";((B42*SI(B20='Val. datos'!B14;Programa!B26;Programa!B18)*Programa!B40^(3/2))))
Temperatura mitjana dels gasos del depòsit de fums per damunt de la temperatura ambient	B51	=REDONDEAR.MAS((B43/(B49*B48));0)
Temperatura a la capa flotant del depòsit de fums	B52	=REDONDEAR.MAS((B50+B51);0)
Superfície aerodinàmica total lliure d'airejadors Avtot·Cv	B55	=(B48/B53)*RAIZ(((B52^2)+B52*B50)/(2*B54*B39*B51*B50))

Taula 7.3 *Paràmetre, cel·la i fórmules emprades de la fila 43 fins la 64 de la fulla Programa (cont.)*

Paràmetre	Cel·la Excel	Fórmula
Dv	B60	=REDONDEAR.MAS((2*B58*B57)/(B58+B57);2)
Mcrit vora paret	B61	=REDONDEAR.MAS(1,3*RAIZ((B54*(B39^5)*B50*B51)/(B52^2));2)
Mcrit en punts allunyats de la paret	B62	=REDONDEAR.MAS(((2,05*B53*((B54*B50*B51)^0,5)*(B39^2)*(B60^0,5))/B52);2)
N	B63	=REDONDEAR.MAS(B48/(SI(B62>B61;B62*0,6;B61*0,6));0)
Avtot/Ai	B64	=REDONDEAR.MAS((B55/B59);0)

8. Càlcul del número d'exutoris pel cas d'estudi

A fi de que el programa realitzi el càlcul es necessari introduir certs valors tal i com s'indica en l'apartat 6 del propi projecte. En el present apartat és detallarà els valors emprats pel cas d'estudi i la solució que el propi programa ens aporta.

8.1 Dades a introduir o seleccionar

En la Taula 8.1.1 es detalla el paràmetre seleccionat o introduït per què el programa realitzi el càlcul del cas d'estudi.

Taula 8.1.1 *Dades introduïdes al programa*

Paràmetre	Valor		
Durada assumida del creixement de l'incendi (min)	≤15		
Tenim una instal·lació de ruixadors?	No		
Quin tipus de ruixadors?	No		
Tenim una instal·lació automàtica de detecció de fums?	Sí		
Tipus d'embalatges	C2 = Embalatges combustibles (de paper, cartró ondulat, fusta o matèries plàstiques incloent les espumes plastificades) col·locats eventualment sobre palets de fusta		
Tenim emmagatzematge en altura o es supera l'altura crítica d'apilament?	Sí		
Altura d'emmagatzematge (m)	6		
Emmagatzematge en sitges o en estanteries?	Estanteries		
Amplada d'estanteria (màxim 3 m)	2		
Quants Sectors d'incendi hi ha?	3		
Llargada del Sector	41	41	82
Amplada del Sector	34	34	24
Alçada en el punt més alt de la nau (m)	9,55	9,55	9,55
Alçada en el punt més baix de la nau (m)	8,75	8,75	8,75

Taula 8.1.1 *Dades introduïdes al programa (continuació)*

Paràmetre	Valor
Altura des del terra fins la part més baixa de la capa de fums	6,5
Espais grans o petits?	Grans
Calor específic del aire a pressió constant c (kJ·kg ⁻¹ ·K)	1,005
Temperatura ambient (K)	293
Densitat aire a T ambient (kg/m ³)	1,225
Gravetat (m/s ²)	9,81
Model Airejador	PREFIRE LAMILUX F100
W	1,5
L	2,5
Ai	2,44

8.2 Resultats del programa

Tenint en compte els valors de la taula 8.1.1 introduïts en el programa, s'obté la superfície aerodinàmica d'evacuació de fums necessària per cada depòsit, en la taula 9.2.1 s'observa aquest resultat.

Taula 8.2.1 *Resultat superfície aerodinàmica d'evacuació de fums*

Paràmetre	Valor (m ²)
Superfície aerodinàmica total lliure d'airejadors (Avtot·Cv)	31,79

La superfície aerodinàmica d'evacuació depèn del coeficient aerodinàmic del exutori (Cv), que aquest al seu temps depèn del fabricant i del propi model d'exutori.

Per aquest projecte s'ha seleccionat el model PREFIRE LAMILUX F100, en l'apartat 9.1 s'observa el criteri de selecció del mateix. Aquest té un Cv de 0,75, per millorar aquest coeficient fins el valor interessat s'instal·larà conjuntament amb un sòcol.

Així doncs el número d'exutoris necessaris per cada depòsit i sector són 14 unitats segons el programa. No obstant, es decideix ampliar a 15 unitats segons el punt J.3.4 del Annex J de la norma UNE 23585:2017. En la Taula 8.2.2 s'observa un resum de la distribució.

Taula 8.2.2 *Distribució dels exutoris*

Sector	Depòsit		Número d'exutoris	
1	1		15	
2	2		15	
3	3.1	3.2	15	15
	TOTAL		60	

8.3 Admissió d'aire

Tal com cita el punt 3.5 del projecte, la Norma UNE 23585 estipula que qualsevol sistema de ventilació de fums i calor ha d'estar previst del suficient recolzament d'entrada d'aire fred al edifici, per tal de reemplaçar la quantitat de gasos calents dels fums que s'ha extret.

El reemplaçament de l'aire sempre tindrà lloc per sota de la capa de fums, en aquest cas concret el situarem el més pròxim al terra possible, a excepció del sector tres que al tenir dos depòsits de fums un actuarà d'entrada d'aire mentre l'altre o fa de sortida.

El reemplaçament del sector 1 i 2 es durà a terme mitjançant exutoris naturals, tals com exutoris de lames. La suma de la superfície dels exutoris de les façanes haurà de ser igual que la suma de superfície dels exutoris.

El model seleccionat és el BRAKEL EURA EN125 LB ONG M24 \varnothing 70 200-12. Es tracta d'un airejador de lames d'alumini amb brida per muntatge en façana s'ha seleccionat seguint els criteris de l'apartat 9.1 de selecció dels airejadors.

Per tal de cobrir les necessitats serà necessari instal·lar 20 unitats d'aquests elements, 10 per sector, en l'annex A.1 es pot observa la seva distribució en les façanes.

9. Pressupost

En aquest punt s'observa en detall les característiques dels airejadors seleccionats, la cortina de fums i un pressuposts de tot el projecte.

9.1 Selecció de l'airejador

Per tal de saber quines característiques són necessàries per un airejador natural fem la norma UNE 12101-2.

En aquesta norma s'estableixen els requisits de funcionament i la classificació dels propis airejadors davant diversos paràmetres, en el punt 7.

9.1.1 Paràmetres de selecció

9.1.1.1 Confiabilitat

Aquesta característica fa referència al número de vegades en que el mecanisme d'apertura s'ha obert i tancat en buit. Es classifica com Re A, Re 50 i Re 1000.

Com volem que els exutoris actuïn com a sortides d'aire es selecciona un Re 10000, tal i com estipula el punt 7.1.3 de la pròpia norma.

9.1.1.2 Carga de neu

La carga de neu s'identifica amb el paràmetre SL i fa referència a la carga en pascals aplicada en l'assaig de l'airejador.

L'airejador que seleccionem tindrà com a mínim una SL 125, ja que no es preveu que el magatzem s'instal·li en una zona on pugui haver nevades.

9.1.1.3 Baixa temperatura ambient

Aquest s'identifica amb la lletra T i significa el número de graus centígrads baix zero al que s'ha sotmès l'airejador en l'assaig.

En aquest cas seleccionarem un T (-15).

9.1.1.4 Carga de vent

La carga de vent (WL) es un paràmetre que fa referència a la carga d'aspiració del vent, expressada en pascals, aplicada al als assajos.

L'airejador que es seleccioni tindrà com a mínim un WL 1500.

9.1.1.5 Resistència a la calor

Aquesta paràmetre fa referència a la temperatura en graus centígrads a la que l'airejador es sotmès a l'assaig.

En el cas de l'exutori a instal·lar ens hem d'assegurar que com a mínim compleixi un B 300 i estigui fabricat com un B-s1-d0.

9.1.2 Airejador seleccionat

Finalment el model seleccionat per les seves prestacions és el model CI – Exutorio F100 de Lamilux, concretament el model de 150/300. Aquest exutori s'instal·la conjuntament amb un sòcol amb aïllament tèrmic brida inferior i amb barres de connexió de PVC rígid.

9.2 Selecció de la cortina de fum

Segons la UNE 12101-1 les cortines de fum es classifiquen segons la Taula 9.2.1.

Taula 9.2.1 *Categories de classificació normalitzades*

Classificació	Temperatura (°C)	Temps (min)
D 30	600	30
D 60	600	60
D 90	600	90
D 120	600	120
DA	600	Temps real aconseguit superior a 120

Nota. Extreta de la Asociación Española de Normalización. UNE-EN 12101-1 Apartat 5.2 pàgina 14, Taula 1.

L'exposició al calor 600 °C, designada amb la lletra D, representa la temperatura constant de l'assaig de la barrera de fums. Les designacions 30, 60, 90 i 120 fan referència al temps al que s'ha sotmès l'assaig.

En cas que la barrera de fums hagi de funcionar amb intervals de temperatura o fums més elevats s'ha de classificar segons la taula 9.2.2.

Taula 9.2.2 *Categories de classificació per barreres de fums funcionant a temperatures altes*

Classificació	Temperatura (°C)	Temps (min)
DH 30	Corba d'escalfament normalitzada (EN 1363-1)	30
DH 60	Com l'anterior	60
DH 90	Com l'anterior	90
DH 120	Com l'anterior	120
DHA	Com l'anterior	Temps real aconseguit superior a 120

Nota. Extreta de la Asociación Española de Normalización. UNE-EN 12101-1 Apartat 5.2 pàgina 15, Taula 2.

En el cas de la barrera de fums necessària per separa el sector 3 en dos dipòsits de fums, emprarem una cortina de mínim tipus DA, la qual indica que ha sigut capaç d'aguantar l'assaig a durant més de 120 minuts.

En quant a les seves dimensions haurà de ser de 24 metres de llarg i haurà de tenir un ample de 2,75 metres. L' ample haurà de ser igual a la profunditat de la capa de fums amb l'addició de 0,1 metres tal i com estipula el punt el punt 6.6.2.12 de la norma UNE 23585. Així doncs serà necessària una cortina de fums de 66 m².

Degut a les seves prestacions s'ha escollit el model SSB DH-60/DA-150.

9.3 Pressupost del projecte

El següent pressupost no inclou les hores del equip d'enginyeria.

Taula 10.1 *Pressupost del projecte*

Denominació	Unitats	Preu unitari (€)	Import (€)
Subministrament d'exutori/airejador PREFIRE LAMILUX F100 (LMEF9100) amb cilindre pneumàtic	60	1.324,68	79.480,80
Subministrament de sòcol de PRFV de 30 cm (LAMZOC)	60	464,34	27.860,40
Subministrament i instal·lació d'airejador de lames BRAKEL EURA EN125 LB ONG M24 ø70 200-12	20	1.735.84	34.716,80
Barrera de fums fixa PREFIRE INTISI 3 SSB DH-60/DA-150 segons UNE EN 12101-1	66 m ²	55 €/m ²	3.630
Quadre de control electro-pneumàtic Subministrament i muntatge del quadre electro-pneumàtic pel controla distancia dels airejadors permetent les activitats de ventilació diària, evacuació de fums en cas d'incendi per accionament automàtic o manual, control dels airejadors de cada depòsit de fums. Es troba carregat amb bateries de 24 V per mantenir la maniobra del quadre operativa en cas de tall de subministrament elèctric. Inclou també senyalització acústica i òptica, indicadors de situació i d'alarma. S'inclou també placa de PVC fotoluminescent per tal d'indicar la posició on es troba.	4	3.792	7.500
Línia doble pneumàtica per coberta per l'activació dels exutoris (amb tub i accessoris de coure), incloent el muntatge dels cilindres pneumàtics en els equips.	425	40 €/ metre lineal	16.887,20
Subministrament i muntatge de línia elèctrica baix tub de PVC per connectar el quadre de control amb els airejadors.	425	63,21€/ metre lineal	26.686
Subministrament i muntatge de compressor PS3-3-230 per línia pneumàtica amb calderí de 100L inclòs.	1	4.000	4.000
Subministrament i instal·lació de vàlvula d'escapament per descarrega de línia pneumàtica	12	79.01	948,12
Subministrament de Detector Algorítmic DURÁN® FC460PC Multicriteri CO/Óptic/Tèrmic sense base	100	92,12	9.212

Taula 10.1 *Pressupost del projecte (continuació)*

Denominació	Unitats	Preu unitari (€)	Import (€)
Subministrament de Base de superfície DURÁN® amb aïllador de línia	100	10,58	1.058
Subministrament de polsadors Analògic DURÁN® FC420CP-I	32	52,03	1.664,96
		TOTAL	213.644,28

10. Simulació dels gasos de combustió en els dipòsits de fums del magatzem logístic

10.1 Introducció

En aquest apartat, mitjançant el programa CFAST, es simularà el sistema de fums obtingut per mitjà del càlcul de la UNE 23585:2017 a fi de comparar els resultats d'ambdues opcions.

El Model Consolidat de Transport de Fums i Incendis o CFAST (sigles en anglès), és un programa informàtic que utilitzen els investigadors, enginyers i arquitectes per simular l'impacte de potencials incendis i la producció de fums en entorns específics d'un edifici.

El CFAST ha estat desenvolupat pel Laboratori d'Investigació d'Incendis en Edificis (BFRL) en l'Institut Nacional de Tecnologia i Estàndards (NIST) del Estats Units d'Amèrica. El programa CFAST permet simular les condicions d'un incendi i realitzar el seguiment de diverses variables com poden ser la temperatura de la capa de fums, l'alçada de la mateixa, la composició dels fums...

Els incendis simulats en CFAST s'implementen com una massa de combustible que allibera una taxa prescrita o taxa de piròlisis. L'energia alliberada pel combustible i els productes de combustió es creen conforme a aquesta crema de combustible.

El CFAST pertany al grup dels programes d'incendis coneguts com models per zones. Un programa de model per zones es basa en un model de paràmetres concentrats en la que cada habitació o zona es divideix en dos volums diferenciats, capa inferior i capa superior. L'incendi s'origina en la capa inferior, junt a l'entrada d'aire, provocant un transport de calor i massa cap a la capa superior mitjançant la columna de fums. Aquest model utilitza la correlació de McCaffrey que relaciona la temperatura de la capa de gas calent i la taxa de calor despresa o HRR.

10.2 Limitacions del programa

El programa CFAST presenta varies limitacions les quals es tractaran en aquest apartat.

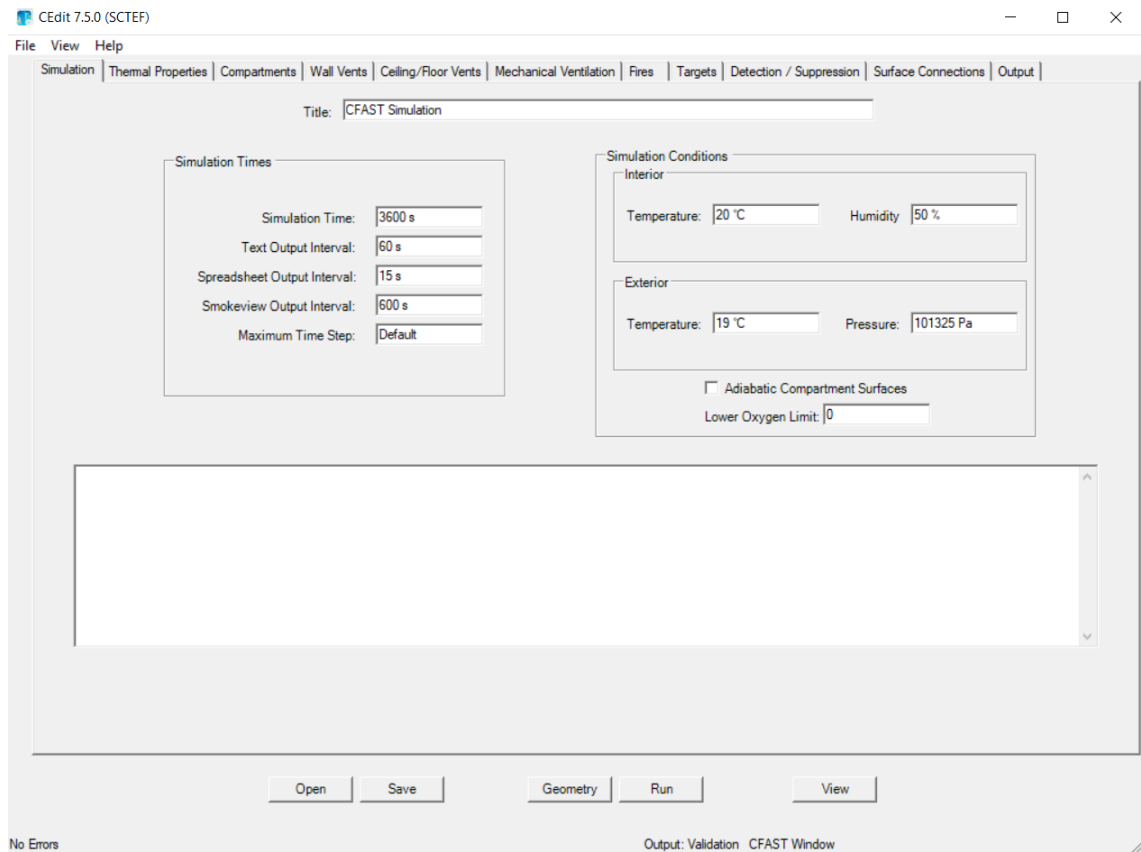
En primer lloc, els resultats obtinguts del CFAST es basen en simplificacions del comportament termodinàmic del foc. Així doncs, els resultats obtinguts no són tant precisos com en un model de zones com el que produeix un Simulador de Incendis Dinàmic (FDS), que empra la dinàmica de fluids computacional (CFD), i en el que la diferència entre la realitat i la simulació es menor, ja que utilitza un gran nombre de zones discretes.

En segon lloc, les dimensions dels recintes estan limitades. No es permeten habitacions de més de 100 metres de longitud o inferiors a 0,5 metres. Al mateix temps, tampoc poden introduir-se cortines de fum així que en el cas d'estudi s'ha optat per dividir el sector 3 en dos dipòsits amb una obertura horitzontal entre aquests dos.

10.3 Entrada de dades

10.3.1 Valors generals de la Simulació

En iniciar una simulació en el programa CFAST, se'ns mostra la finestra que s'observa en la Imatge 11.3.1.1. En aquesta finestra s'haurà d'especificar diverses dades tals com el temps de durada de la simulació, l'interval de temps de les dades de sortida i les condicions de la simulació com la temperatura, humitat i pressió entre altres.



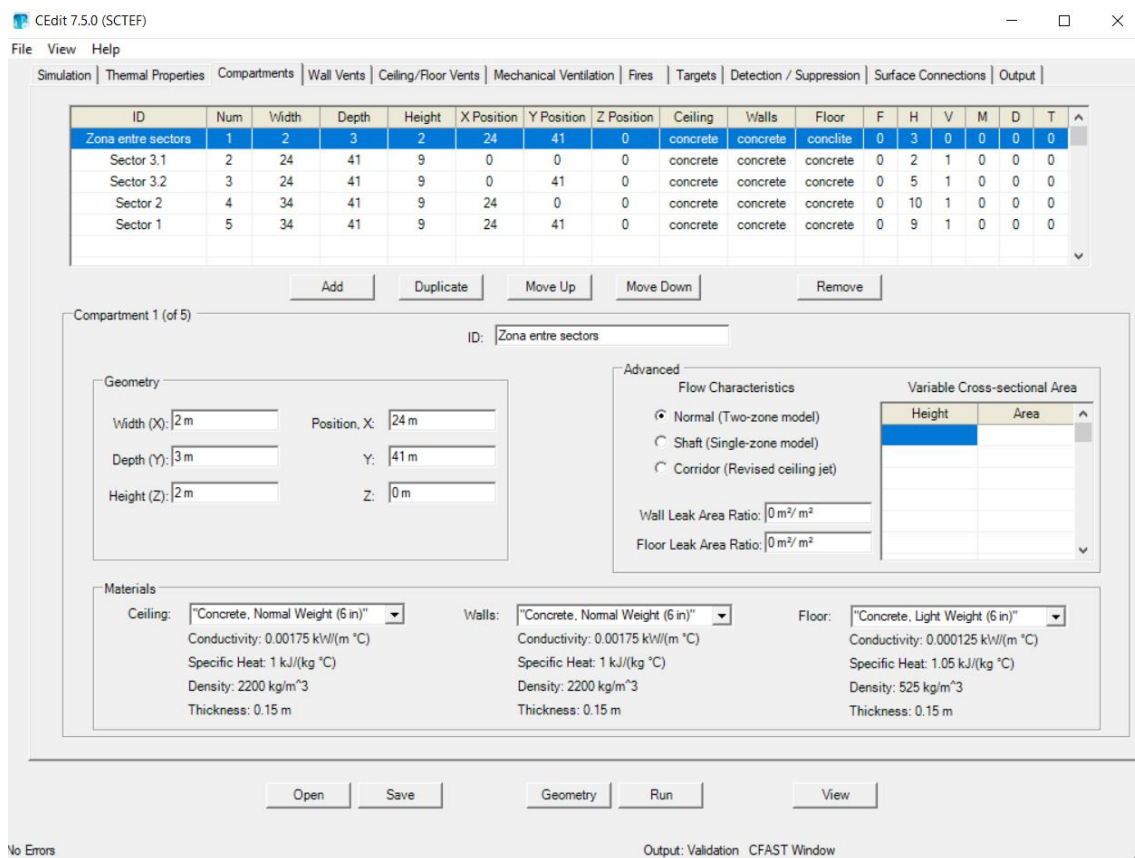
Imatge 11.3.1.1 Valors generals de la simulació

10.3.2 Geometria de les superfícies

Tal i com s'observa en la Imatge 13.3.2.1, en la pestanya "*Compartments*" de s'introdueix la geometria de cadascun dels espais o dipòsits del edifici. Les dades més importants a introduir són:

- Les dimensions dels espais a simular.
- Coordenades dels espais a simular. La posició relativa dels recintes s'especifica mitjançant les coordenades X, Y, Z del propi recinte respecte l'origen de coordenades.
- Materials de construcció de parets, sostre i terra.

ANÀLISIS TÈCNIC - ECONÒMIC DE LA INSTAL·LACIÓ D'UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA I D'EVACUACIÓ DE FUMS EN UN MAGATZEM LOGÍSTIC

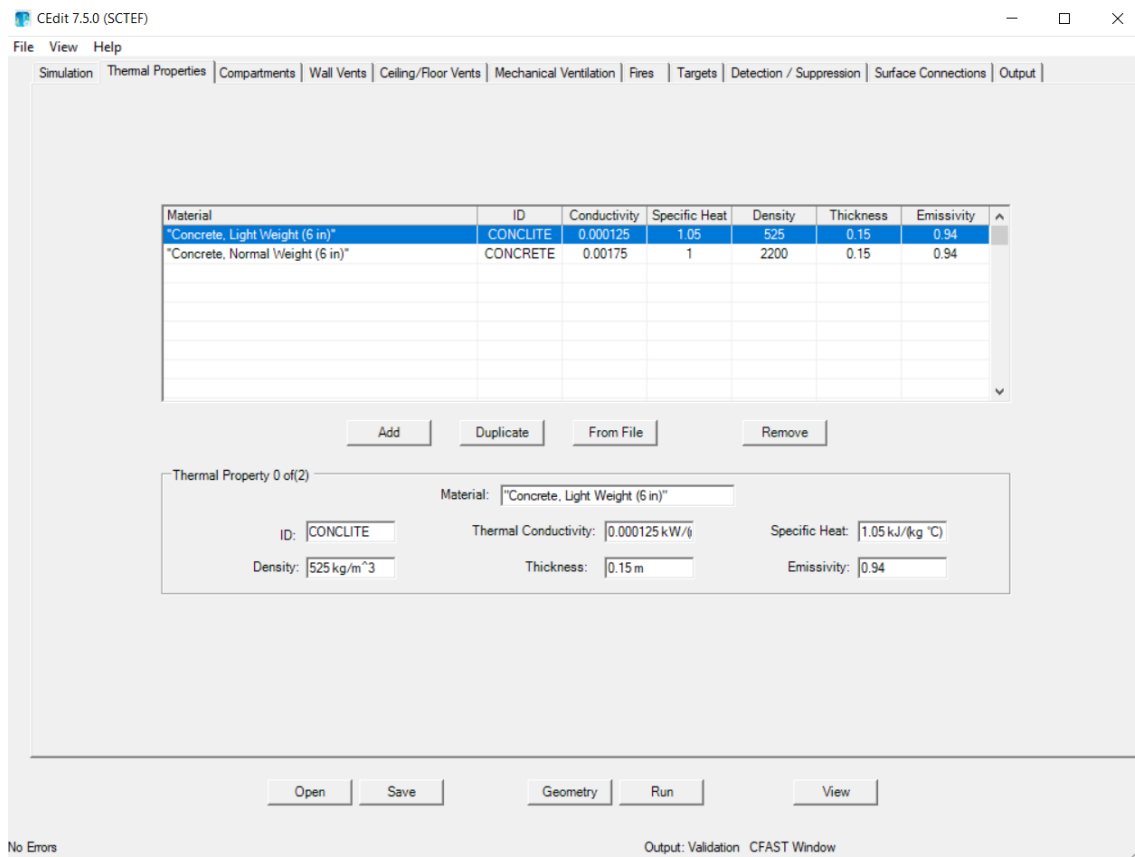


Imatge 11.3.2.1 Definició de la geometria dels espais

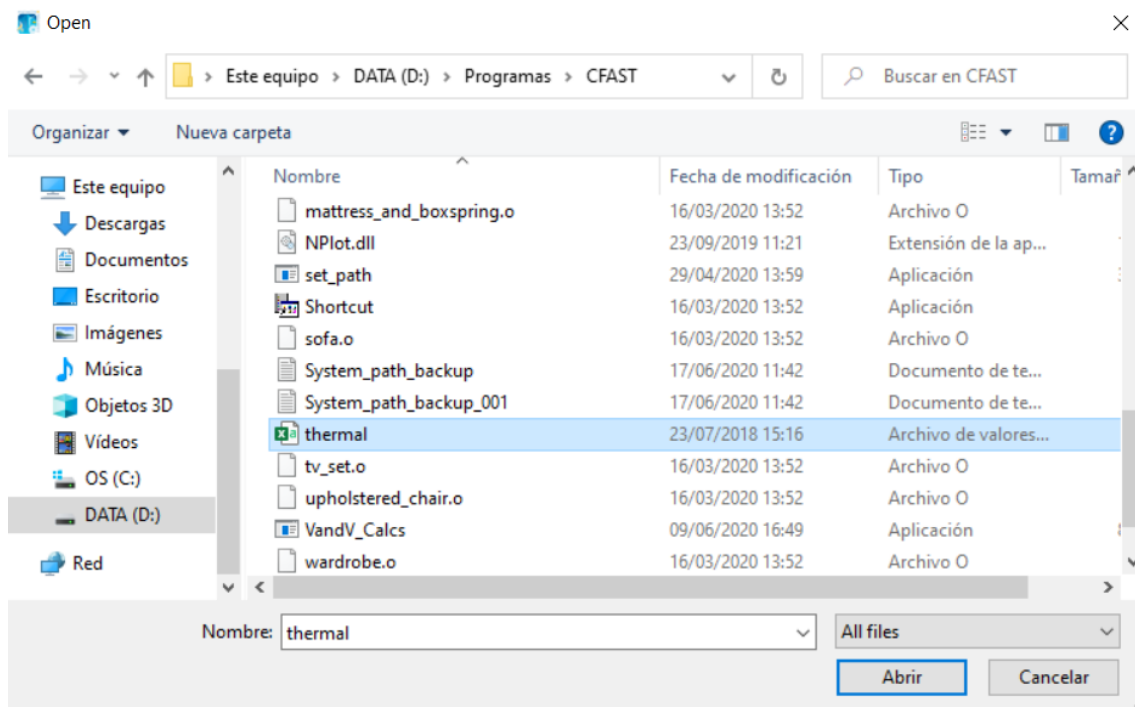
A fi de poder introduir els materials, el propi programa posseeix un document Excel, anomenat "thermal", dintre de la pròpia carpeta d'instal·lació.

Aquest document pot importar-se al CFAST mitjançant la pestanya de "Thermal Properties" fent click a l'opció "From file" la Imatge 11.3.2.2 s'observa aquest procés. Un cop s'obri la finestra de la imatge 11.3.2.3 caldrà seleccionar l'opció "All files" per poder visualitzar-lo.

ANÀLISIS TÈCNIC - ECONÒMIC DE LA INSTAL·LACIÓ D'UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA I D'EVACUACIÓ DE FUMS EN UN MAGATZEM LOGÍSTIC



Imatge 11.3.2.2 Pestanya Thermal Properties



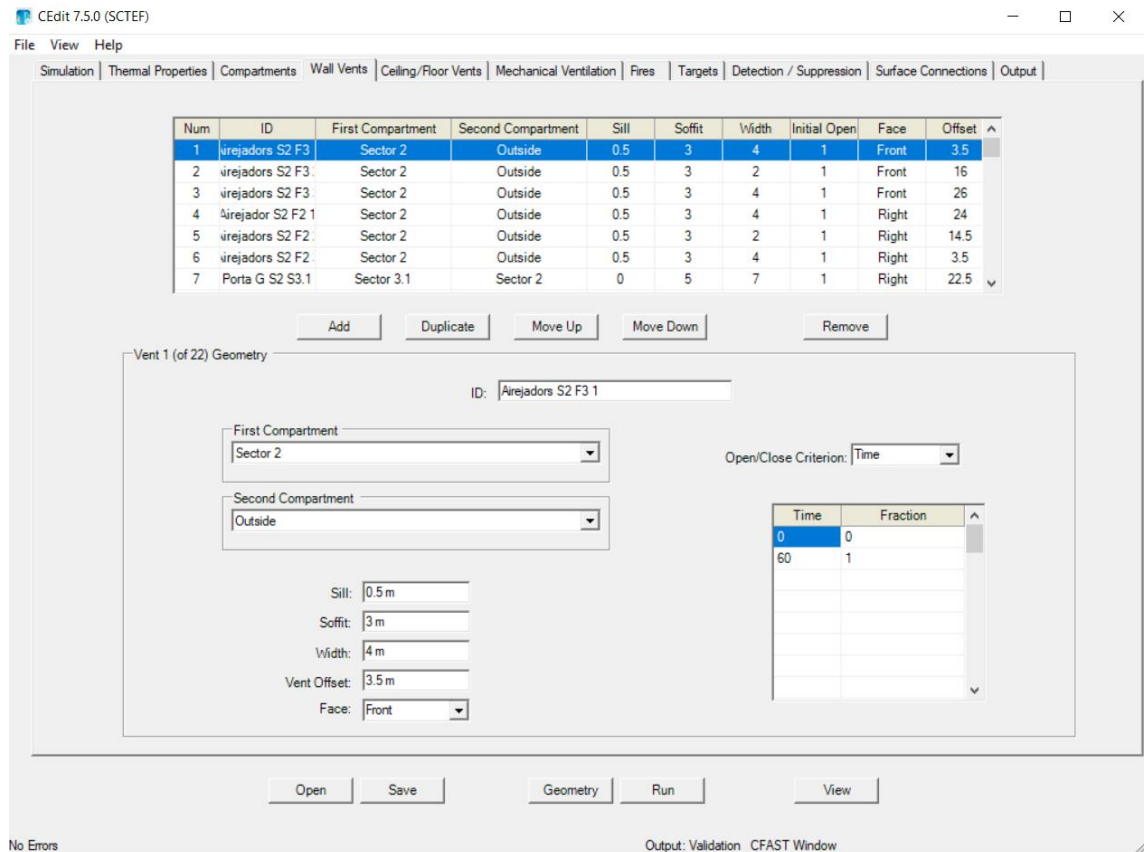
Imatge 11.3.2.3 Selecció del document

10.3.3 Apertures de paret

El següent pas consisteix en detallar les obertures existents en les parets de cadascun dels sectors en la pestanya "Wall Vents". Aquí s'inclouen portes, finestres i els airejadors de façana. En aquesta apartat s'han de definir els següents ítems de cadascun dels següents elements:

- Sectors que comparteixen les apertures.
- Alçada a la que es troben apertures respecte el terra.
- Dimensions de l'apertura.
- Cara del recinte en la que es troba.
- Distància horitzontal respecte l'inici del sector.
- Criteri de tancament o de l'apertura.

La Imatge 11.3.3.1 il·lustra aquest fet.



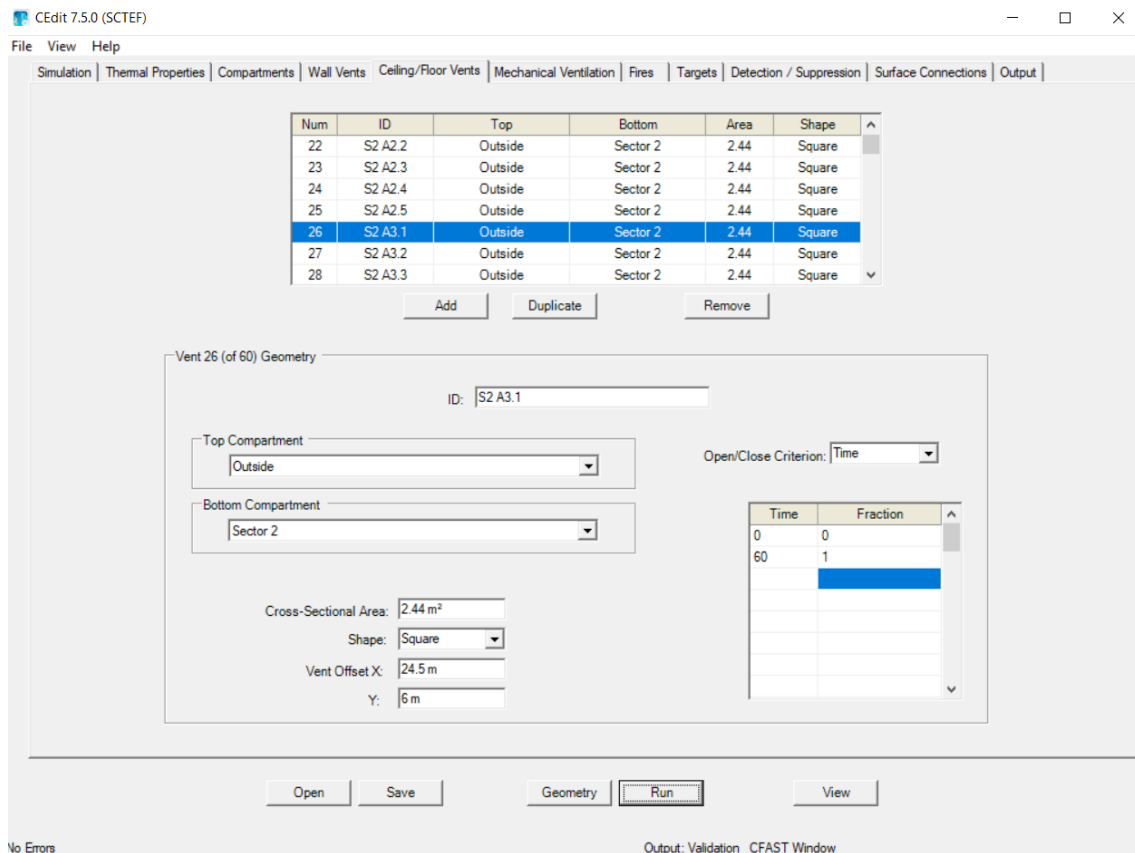
Imatge 11.3.3.1 Introducció de les apertures en paret

10.3.4 Apertures del sostre

Tot seguit en la pestanya "Ceiling/Floor Vents" s'introdueix la informació relativa a ls airejadors dels sostre. En aquests cas es defineixen els següents ítems:

- Compartiments superior i inferiors del lloc de l'apertura.
- Superfície aerodinàmica.
- Forma de l'apertura, rodona o quadrada.
- Ubicació respecte l'eix X i Y del propi element.
- Criteri d'apertura o tancament del mateix.

La Imatge 11.3.4.1 il·lustra aquest fet.



Imatge 11.3.4.1 Menú d'inserció d'airejadors i apertures del sostre

10.3.5 Incendi

Per acabar es defineix el tipus d'incendi. En aquest apartat s'especifiquen les característiques del incendi o bé, es poden importar també incendis de tipus similar amb la opció "From File". Al igual que en el cas dels materials, en la carpeta d'instal·lació del programa trobarem un arxiu que s'anomena "All fires" el qual pot importar-se.

En cas de no importar també podem crear-ne de nous o modifica corbes ja existents com el cas d'estudi.

Entre els paràmetres més importants a definir en aquest apartat tenim:

- Compartiment o sector on tindrà lloc l'incendi.
- Posició X, Y, Z del incendi dintre del compartiment.
- Propietats del foc de referència (composició de l'objecte que cremarà, taxa de calor lliurada, etc).

The screenshot shows the 'Fires' menu in the CEdit 7.5.0 (SCTEF) software. The main window displays a table with the following data:

Num	Compartment	Fire ID	Ignition by	Set Point	Target	X Position	Y Position	Fire Properties ID	Fuel	Peak HRR
1	Sector 1	New Fire 1	Time	0		17	20.5	New Fire 21	C1H4	0
2	Sector 2	New Fire 2	Time	0		17	20.5	New Fire 21	C1H4	0
3	Sector 3.2	New Fire 3	Time	0		12	20.5	New Fire 21	C1H4	0
4	Sector 3.1	New Fire 4	Time	0		12	20.5	New Fire 21	C1H4	0

Below the table are buttons for 'Add New', 'Add F', 'From File', and 'Remove'. The detailed view for 'New Fire 1' shows:

- Fire ID: New Fire 1
- Compartment: Sector 1
- Position, X: 17m; Position, Y: 20.5m
- Ignition Criterion: Time
- Set Point: 0 s; Ignition Target: [dropdown]
- Referenced Fire Properties ID: New Fire 21
- Fire Properties ID: New Fire 21
- C: 1; N: 0
- H: 4; Cl: 0
- O: 0
- Heat of Combustion: 50000 kJ/kg
- Radiative Fraction: 0.35

A graph titled 'New Fire 21: HRR (kW)' shows the Heat Release Rate over time. The x-axis represents time in seconds (0 to 3500), and the y-axis represents HRR in kW (0 to 80000). The curve shows a rapid rise to a peak of approximately 80000 kW at around 500 seconds, followed by a gradual decay.

Imatge 11.3.5.1 Menú d'incendis

10.4 Valors de sortida

Un cop s'executa la simulació, CFAST crea varies fulles de càlcul amb les dades obtingudes. Aquestes són les següents:

- **Project_compartments.csv:** Aquest arxiu mostra quatre conjunts de dades diferenciats. El primer es la informació relativa als compartiments o sectors com per exemple la temperatura de les capes. Aquestes dades s'agrupen per compartiments i tenen 5 entrades per cadascun: *'Upper Layer Temp', 'Lower Layer Temp', 'Layer Height', 'Volume', 'Pressure'*. El segon conjunt d'informació ens proporciona informació sobre la composició molar dels elements derivats de l'incendi, tals com: *"N2 Upper/Lower Layer", "O2 Upper/Lower Layer", "CO2 Upper/Lower Layer", "CO Upper/Lower Layer", "HCN Upper/Lower Layer", "HCL Upper/Lower Layer", "H2O Upper/Lower Layer"*. El tercer grup fa referència a al densitat òptica de les capes superiors i inferiors del propi compartiment, la densitat òptica del fum generat per la flama i el generat per l'acumulació de fums. El quart grup es informació sobre l'incendi i mostra les següents entrades: *"HRR Door Jet Fires", "Ignition", "Plume Entrainment Rate", "Pyrolysis Rate", "HRR Expected", "HRR Actual", "HRR Convective actual", "HRR Lower Actual", "HRR Upper Actual", "Flame Height", "Total pyrolysate Released", "Total Trace Species Released", "HRR Door Jet Fires"*.
- **Project_devices.csv:** Aquest fitxer proporciona informació sobre temperatures i el flux i informa sobre l'estat actual de detectors i ruixadors (com un subconjunt de detectors). La sortida es divideix en dues seccions, una per a la temperatura objectiu i el flux de calor, i una per a l'activació de la temperatura i del detector / ruixador. El primer conjunt de columnes corresponen als valors simulats. El segon conjunt de columnes corresponen als objectius definits per l'usuari inclosos en la simulació.
- **Project_masses.csv:** Fa referència a la composició màsica entre les dues capes en funció del temps . Tornen a repetir-se els termes del segon i tercer grup del arxiu *Project_compartments.csv*.
- **Project_vents.csv:** Les entrades en aquest fitxer corresponen a les obertures de fluxos com ara portes / portes, obertures de sostre / paviment, ventilacions mecàniques i fuites del compartiment.
- **Project_walls.csv:** Aquest fitxer proporciona informació sobre les temperatures superficials del compartiment.

10.5 Simulació d'incendi en el magatzem logístic d'estudi

Un cop explicat el programa és hora de realitzar l'estudi del cas proposat per realitzar el Treball de Final de Màster.

Per tal de posar-nos en el pitjor dels casos es simula que cada depòsit de fums tindrà un incendi simultani. L'incendi es modelitza segons el punt 5.4 del informe en la taula 10.5.1 s'observen els valors per modelitzar l'incendi.

Taula 10.5.1. Hipòtesi d'incendi

Àrea Af (m ²)	Perímetre Pf (m)	Flux de calor alliberat (qf) kW/m ²	Potència total del incendi (kW)
81	36	qf (alt) = 1250	81.000

S'escull la corba d'evolució de l'incendi en funció dels materials. Davant la presència de palets i dels plàstics dels big bags es decideix que tots els incendis seran de tipus ràpid segons els incendis que es poden introduir al CFAST. La figura 10.5.1 il·lustra la corba de creixement que s'ha dissenyat.

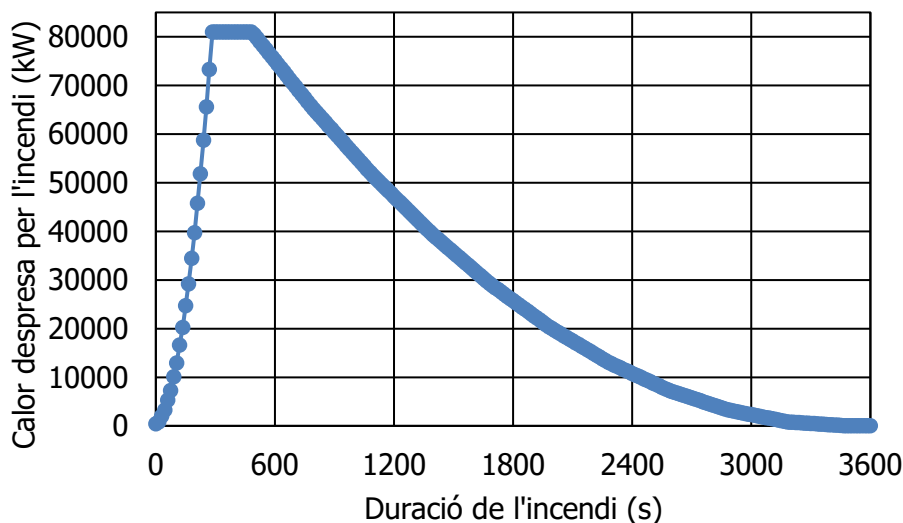
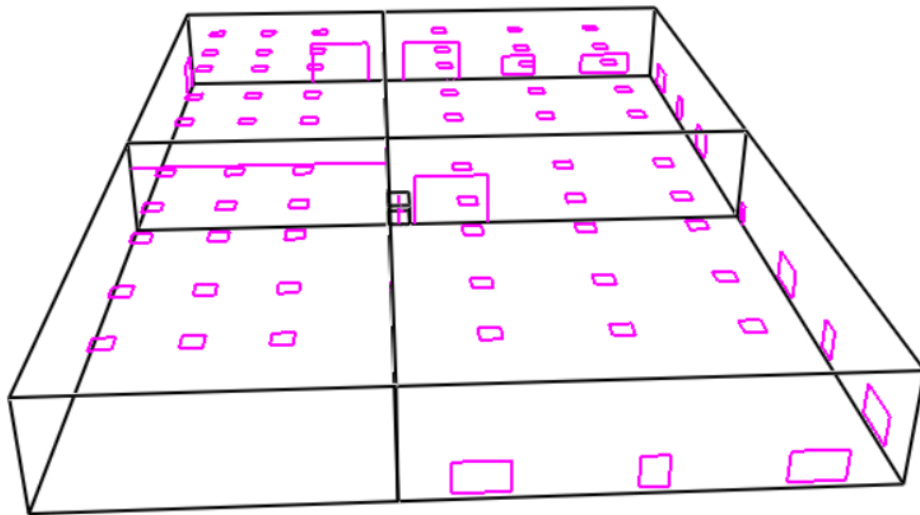


Figura 10.5.1. Corba d'evolució de l'incendi

10.6 Resultats de la simulació

Per la simulació de l'incendi en el magatzem logístic s'han tingut en compte tots els airejadors d'entrada d'aire i les portes presents en les parets així com els airejadors del sostre.

El programa CFAST inclou un visualitzador de la simulació anomenat Smokeview el qual representa els sectors amb les seves obertures i permet reproduir la simulació. La Imatge 10.6.1 es mostra una captura de pantalla de la simulació realitzada.



Imatge 10.6.1. Captura de pantalla de la solució emprada

Tal com em citat en el punt 10.4, el programa genera diversos informes d'ells se'n extreuen els següents gràfic que ens permetran observar el comportament de la temperatura de la capa de fums i la variació d'alçada dels mateixos.

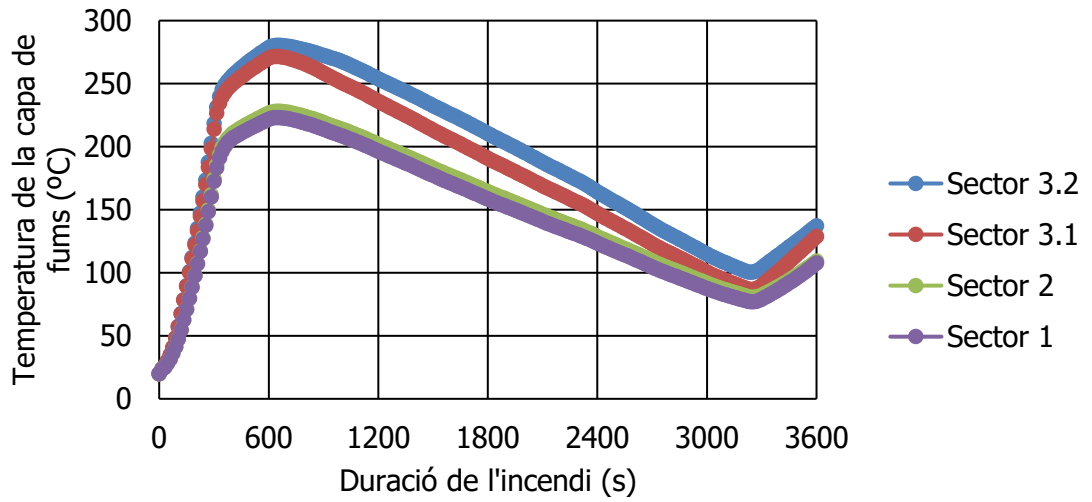


Figura 10.6.1. Variació de la temperatura del sector en funció del temps d'incendi

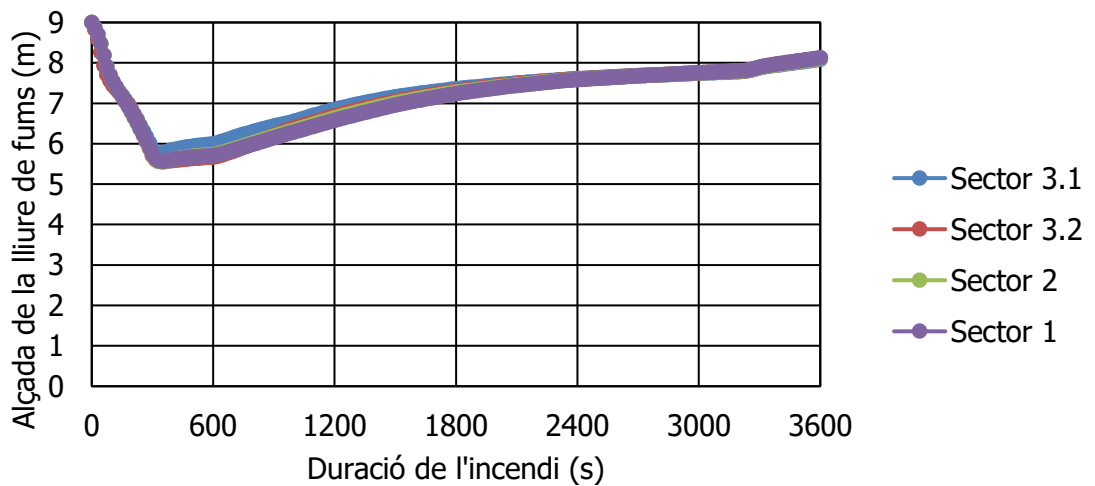
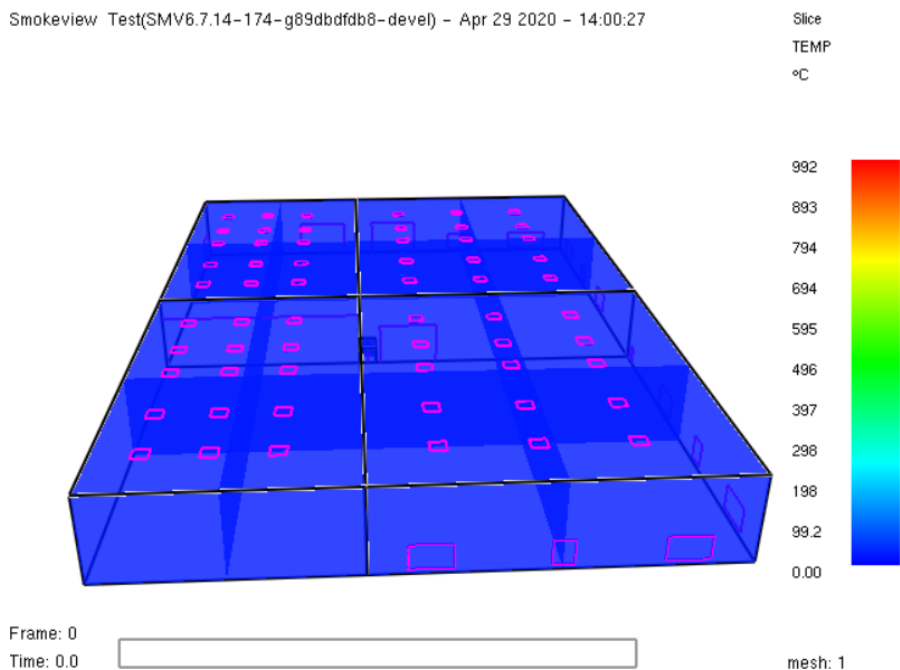
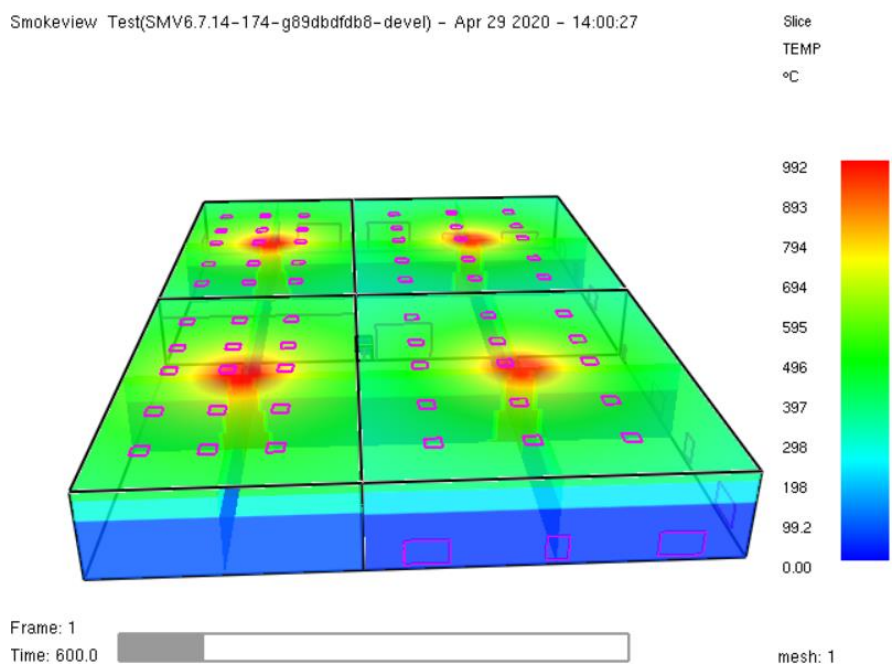


Figura 10.6.2. Variació de l'alçada lliure de fum del sector en funció del temps d'incendi

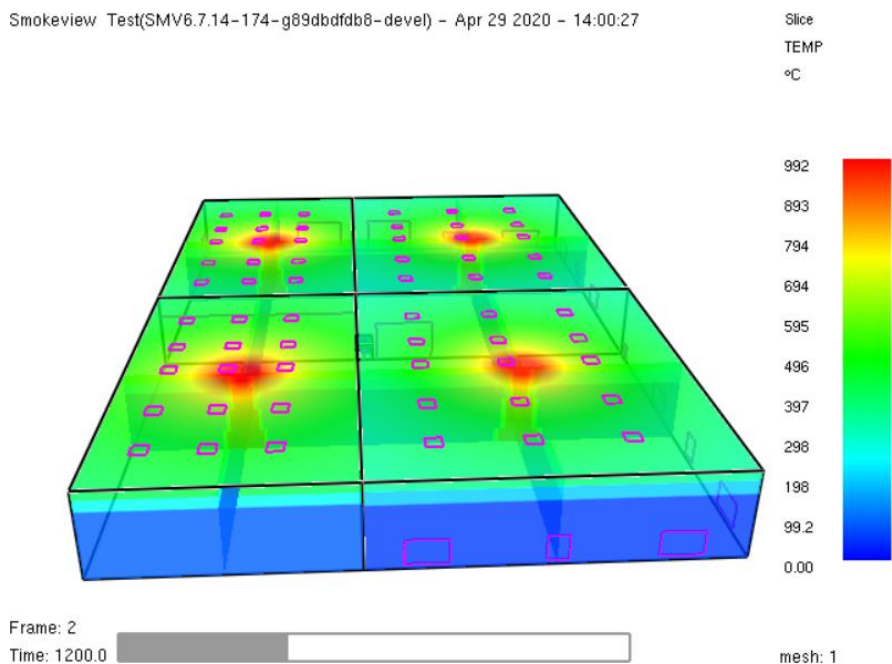
Tot seguit, les Imatges 10.6.2, 10.6.3, 10.6.4, 10.6.5, 10.6.6, 10.6.7 i 10.6.8 mostren l'evolució de l'incendi en els sectors.



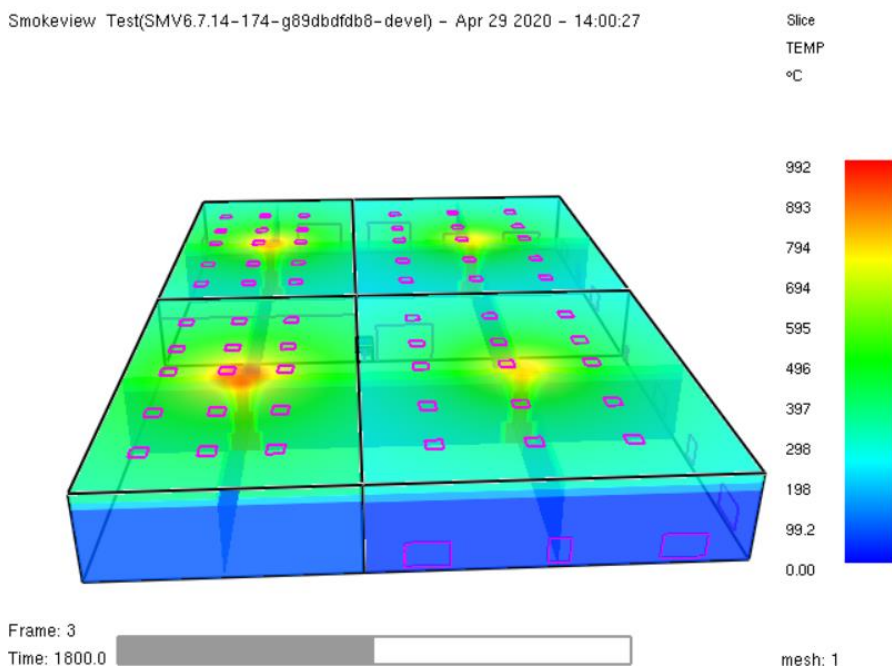
Imatge 10.6.2. Captura del magatzem abans de iniciar-se l'incendi



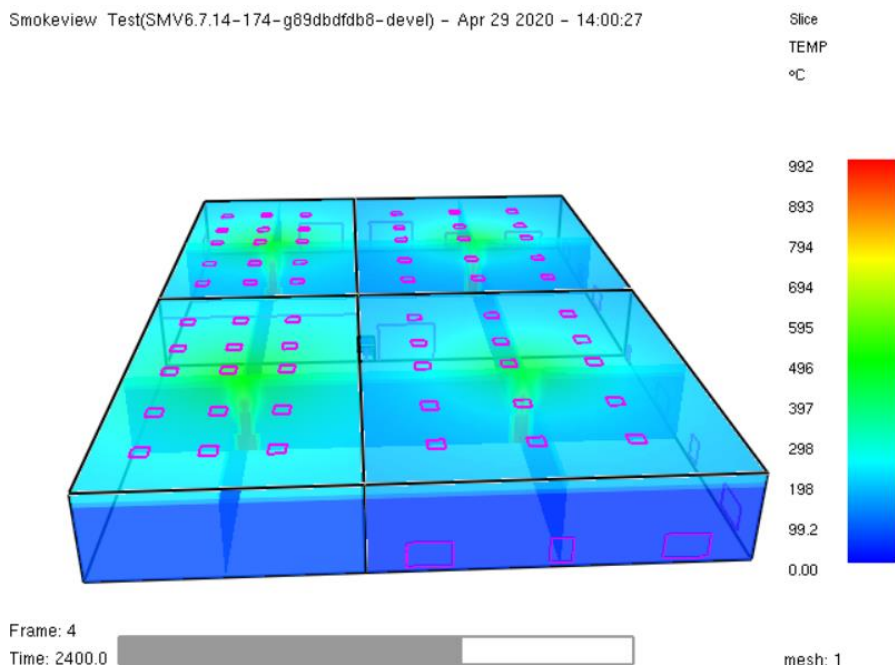
Imatge 10.6.3. Captura del magatzem als 600 segons, punt àlgid de incendi.



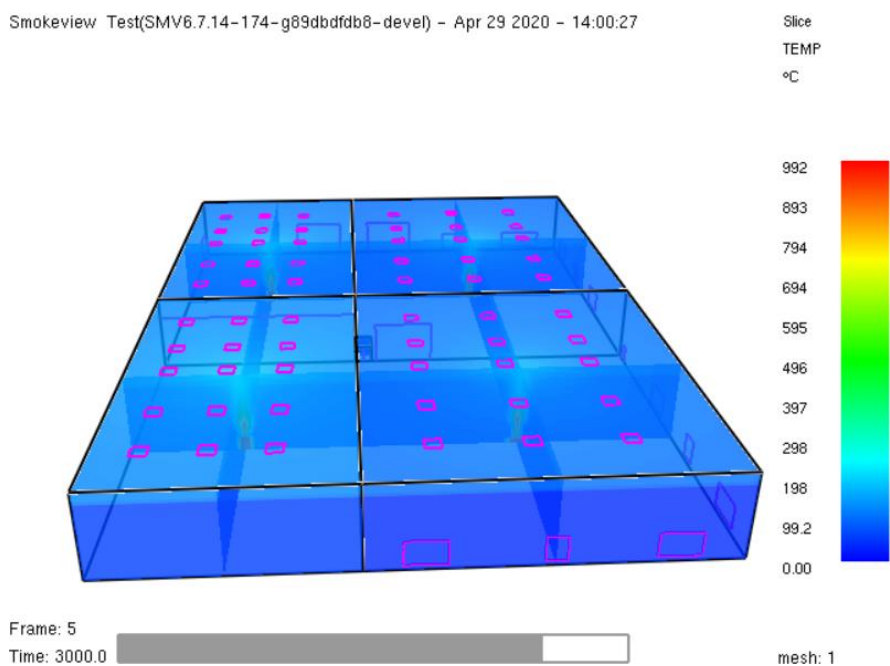
Imatge 10.6.4. Captura del magatzem als 1200 segons de l'inici de l'incendi.



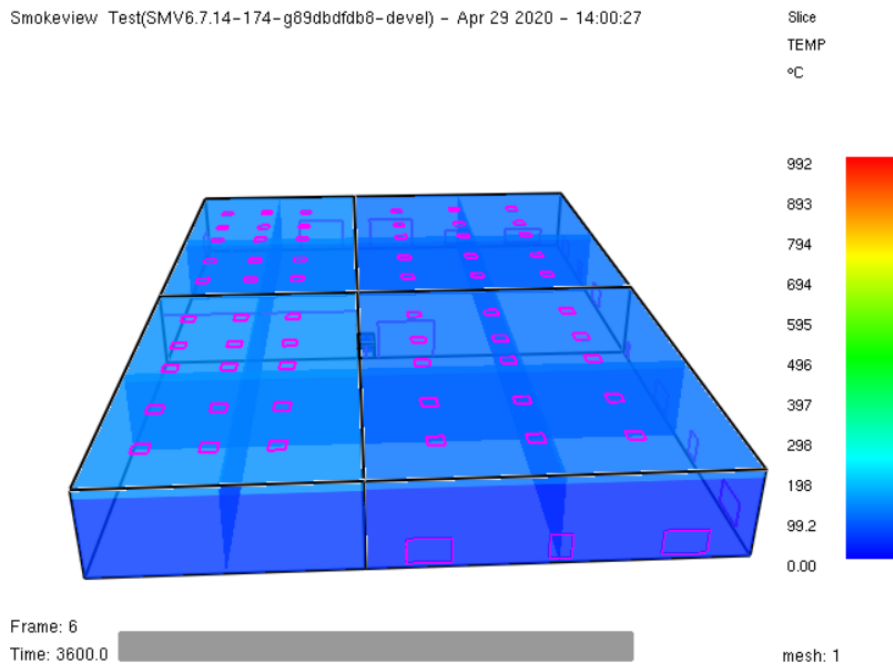
Imatge 10.6.5. Captura del magatzem als 1800 segons de l'inici de l'incendi.



Imatge 10.6.6. Captura del magatzem als 2400 segons de l'inici de l'incendi



Imatge 10.6.7. Captura del magatzem als 3000 segons de l'inici de l'incendi



Imatge 10.6.8. Captura del magatzem al final de l'incendi

11. Bibliografia

- [1] INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO, MINISTERIO DE: Real Decreto 2267/2004. Guía Técnica De Aplicación : Reglamento De Seguridad Contra Incendios vol. 2 (2019), Nr. febrero, p. 131
- [2] AENOR: UNE 23585:2017 Seguridad contra incendios. Sistemas de control de temperatura y evacuación de humos (SCTEH). Requisitos y métodos de cálculo y diseño para proyectar un sistema de control de temperatura y de evacuación de humos en caso de incendio (2017)
- [3] AENOR: UNE-EN 12101-2 Sistemas para el control de Humos. Parte 2: Especificaciones para aireadores de extracción natural y calor. (2013)
- [4] PREFIRE: *Prefire: Resumen / LinkedIn*. URL <https://www.linkedin.com/company/prefire/?originalSubdomain=fr>. - recuperat 2020-06-19
- [5] NETCORP: *Soluciones que sectorizan y evacuan humos*. URL <https://www.netcorp.pe/humos>. - recuperat 2020-06-19
- [6] COLT: *Exutorio / Evacuación de Humo / Colt EuroCO - Colt*. URL <https://www.colt.es/ventilación-natural-evacuación-humo-exutorio.html>. - recuperat 2020-06-19
- [7] REHABILITACIÓN FACHADA BARCELONA: *Normativa sobre la salida de humos*. URL <https://rehabilitacionfachadasbarcelona.es/blog/normativa-salida-humos/>. - recuperat 2020-06-19
- [8] AENOR: UNE-EN 12101-1 Sistemas para el control de Humos. Parte 1: Especificaciones para barreras para el control de humo. (2007)
- [9] PREFIRE: *Instalación y mantenimiento de barreras o cortinas de humos - Blog de PREFIRE*. URL <https://blog.prefire.es/2020/02/instalacion-mantenimiento-barreras-cortinas-humos/>. - recuperat 2020-06-19
- [10] COLT: *Barreras de Humo; Sistema de Control de humos*
- [11] MERCOR TECRESA: *Sistemas de Evacuación de Humos*
- [12] MULTISAC: *Modelos de Big Bags / MultiSac*. URL <https://www.multisac.es/productos/modelos-de-big-bags/>. - recuperat 2020-06-19
- [13] MECALUX: *Palets de madera (medidas y tipos) - Mecalux.es*. URL <https://www.mecalux.es/manual-almacen/palets/palets-de-madera>. - recuperat 2020-06-19
- [14] MECALUX.ES: *Estanterías Palets*. URL <https://www.mecalux.es/estanterias-metalicas-industriales/estanterias-palets/estanterias-palets-convencionales>. - recuperat 2020-06-25
- [15] AENOR: UNE-EN 12845: Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas de rociadores automáticos. Diseño, instalación y mantenimiento. (2016)
- [16] AENOR: UNE-EN 54: Sistemas de detección y alarma de incendio (2011)
- [17] PREFIRE: *"Plugholing" o mínimo número de puntos de extracción de humos - Blog de PREFIRE*. URL <https://blog.prefire.es/2015/05/plugholing-o-minimo-numero-de-puntos-de-extraccion-de-humos/>. - recuperat 2020-06-19
- [18] GROUP, COTTÉS: *Control de Temperatura y Evacuación de Humos / Cottés*. URL <https://www.cottesgroup.com/control-de-temperatura-evacuacion-de>

humos.html. - recuperat 2020-06-19

[19] VIDAS, SALVAN: *Sistemas de control de temperatura y evacuación de humos (SCTEH). Seguridad a través de sistemas cualificados de extracción de humo conforme a EN y rentables*

Enric Serrano Celma

ANNEX

**Treball Fi de Màster
dirigit pel Dr. Carlos Turón**

Màster en Enginyeria Industrial



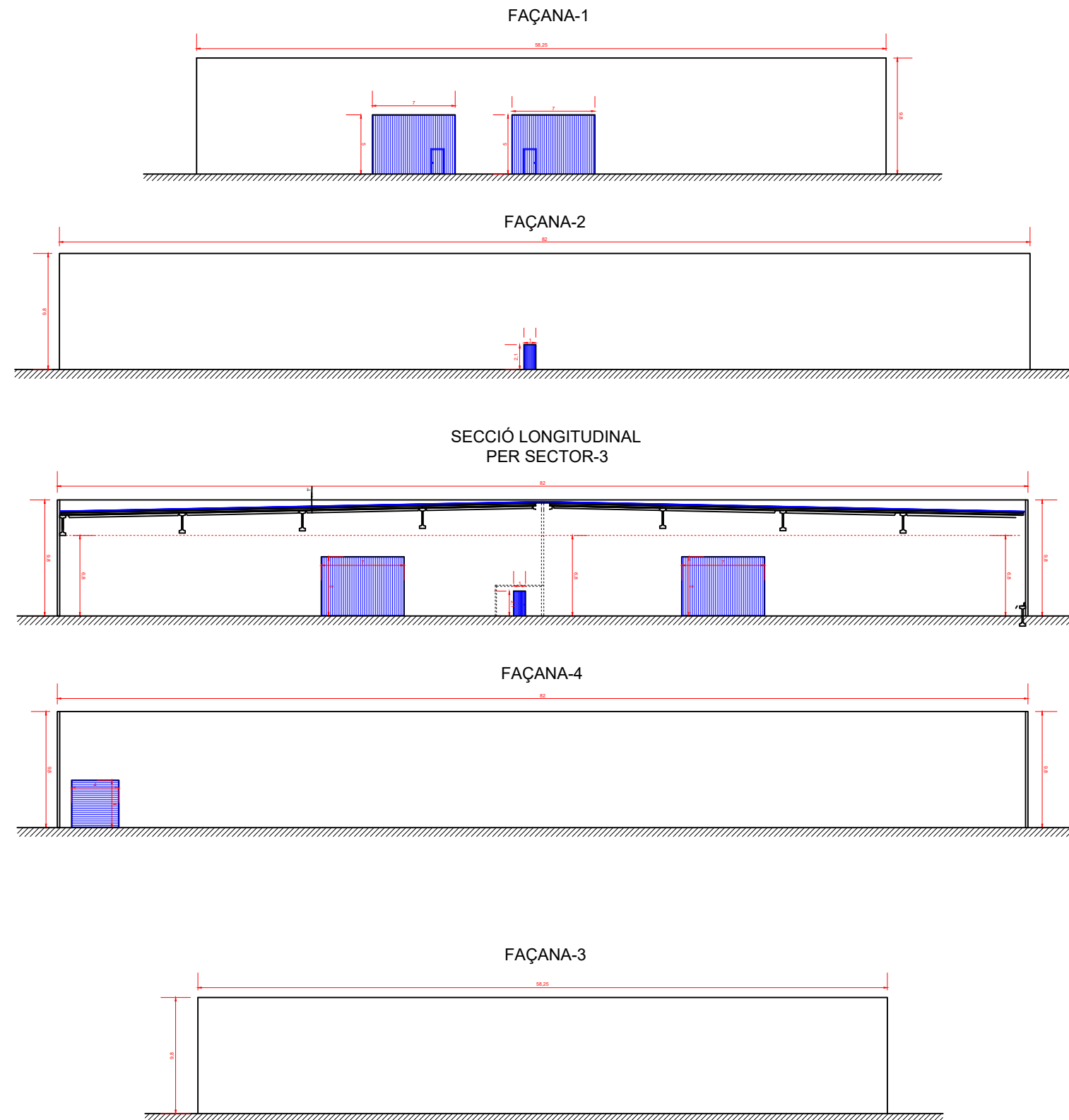
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

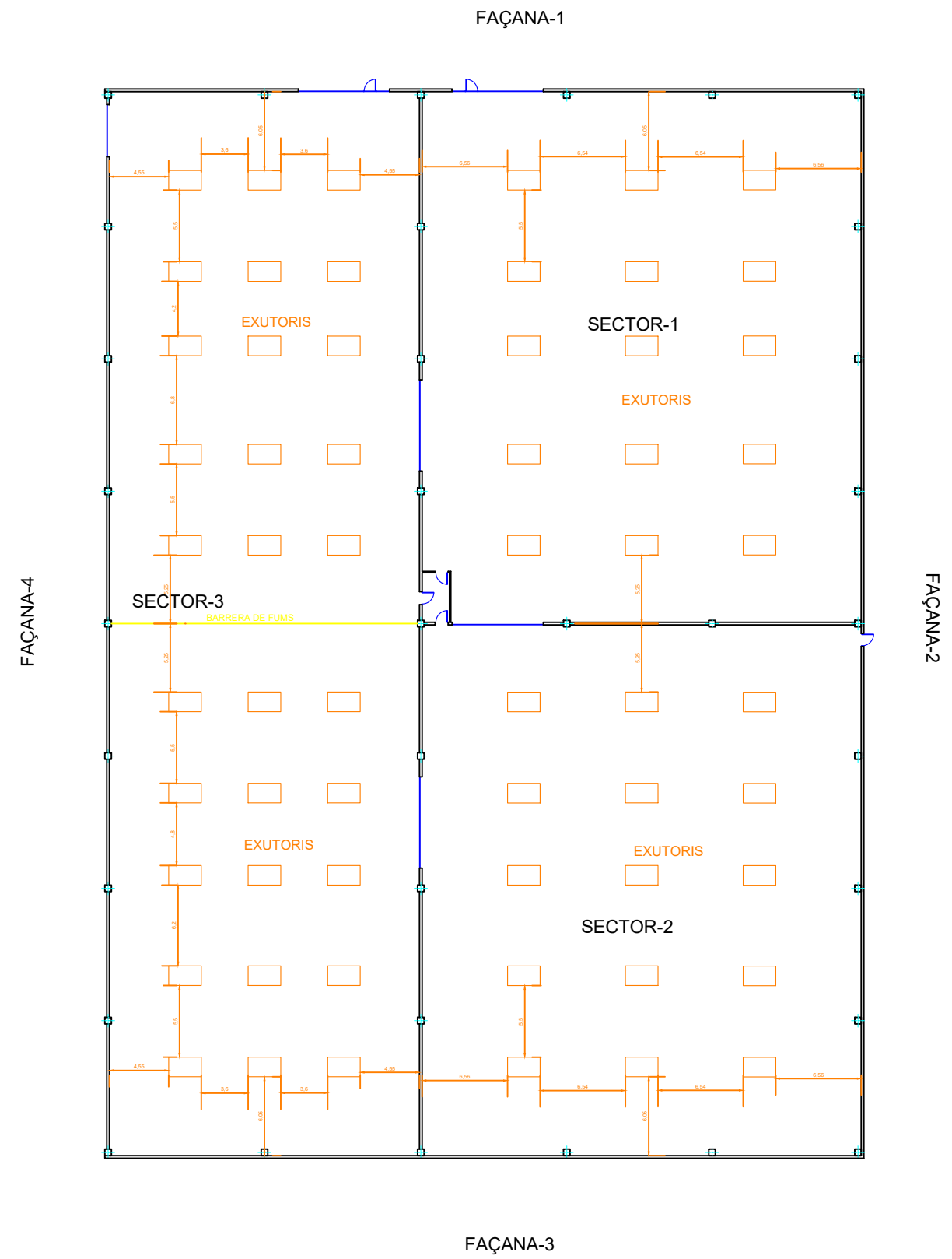
Tarragona

2020






A.1 Plànols del projecte

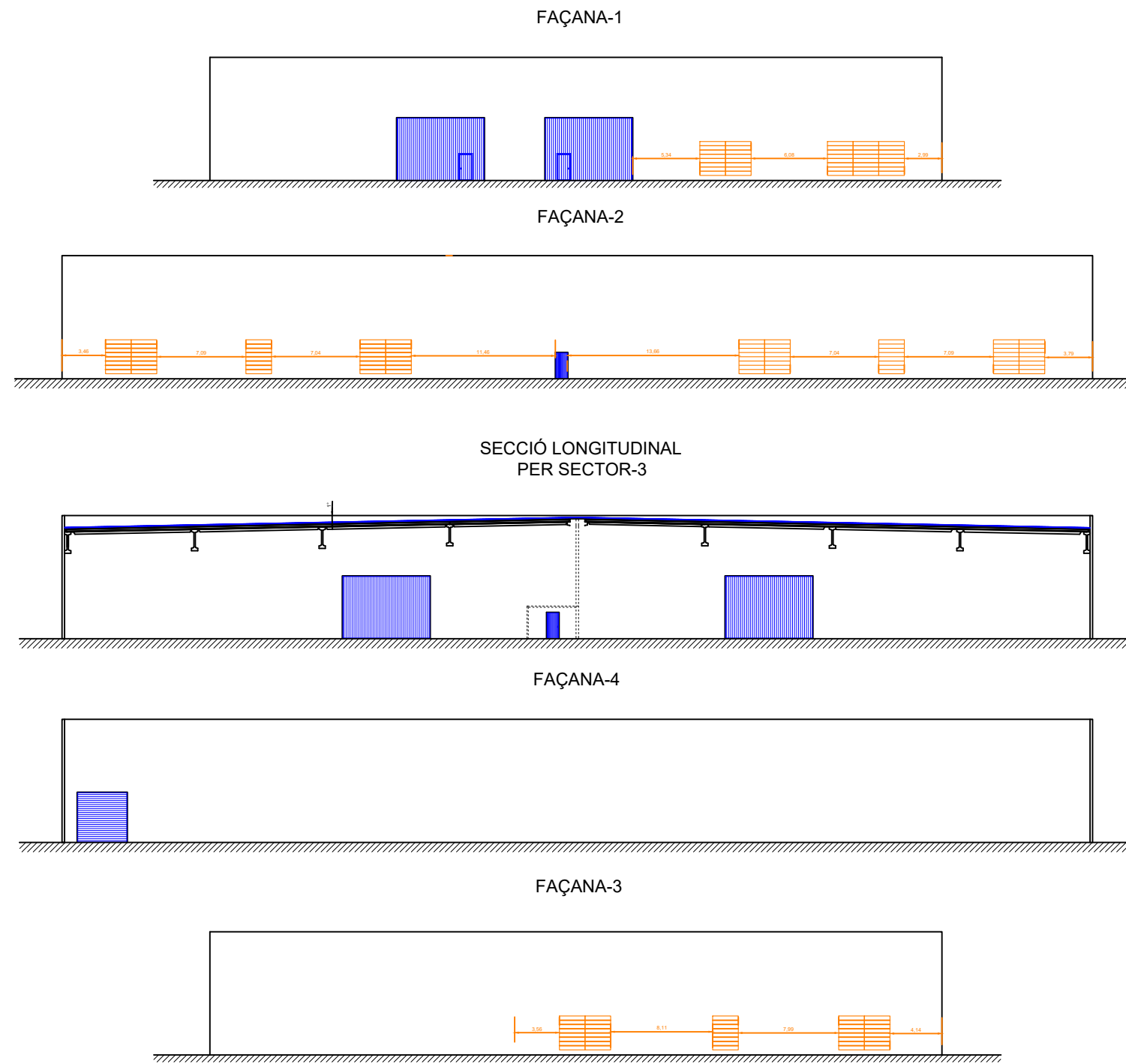
En aquest apartat s'observen els plànols relatius al cas d'estudi i la solució plantejada pel mateix.









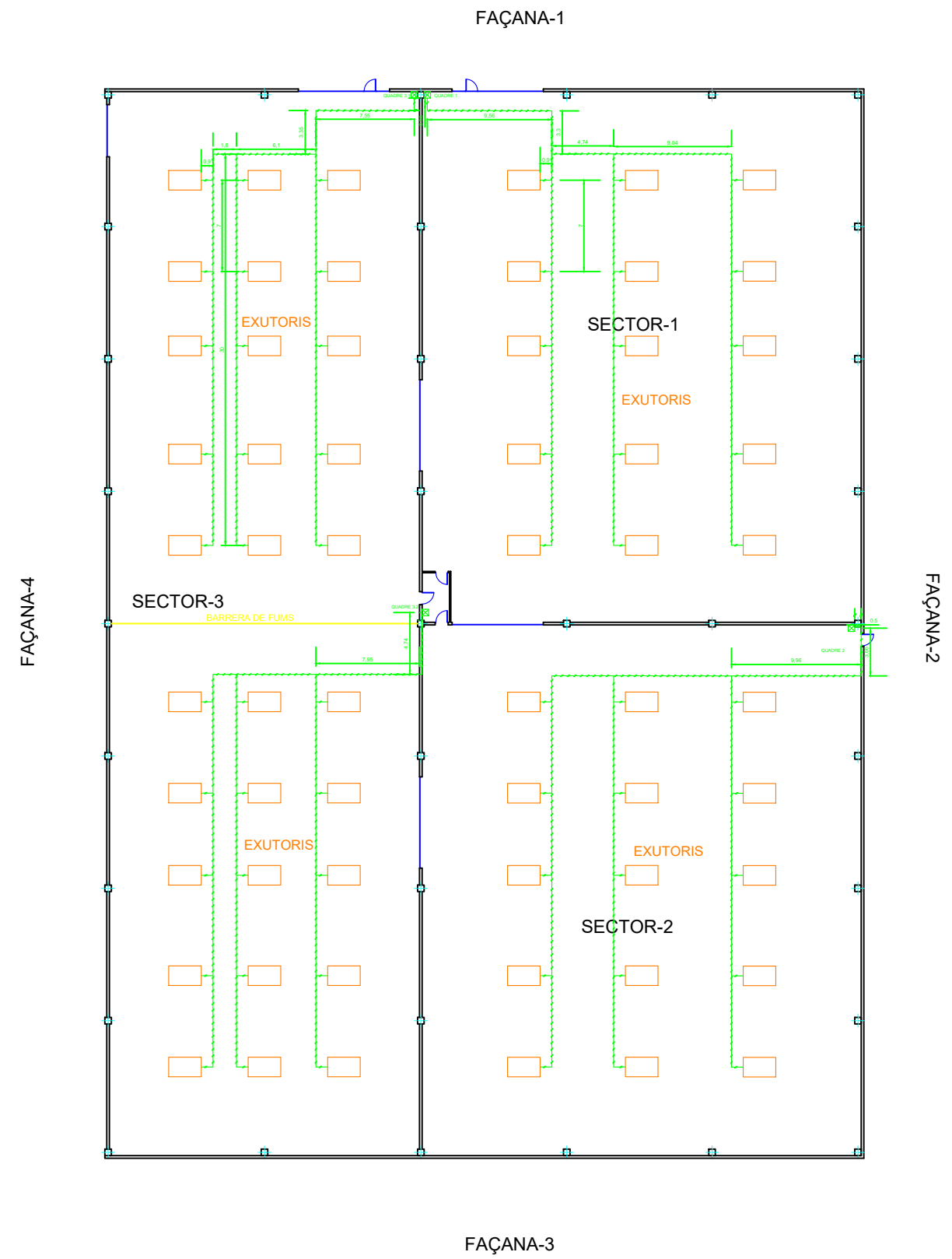
LLEGGENDA:

-  Airejador de lames BRAKEL EURA EN125 LB ONG M24 ø70 200-12
-  Airejador PREFIRE LAMILUX F100 (LMEF9100)
-  Quadre de control electro-pneumàtic
-  Línia pneumàtica i elèctrica de connexió entre exutoris i quadres de control
-  Cortina de fums PREFIRE INTISI 3 SSB DH-60/DA-150








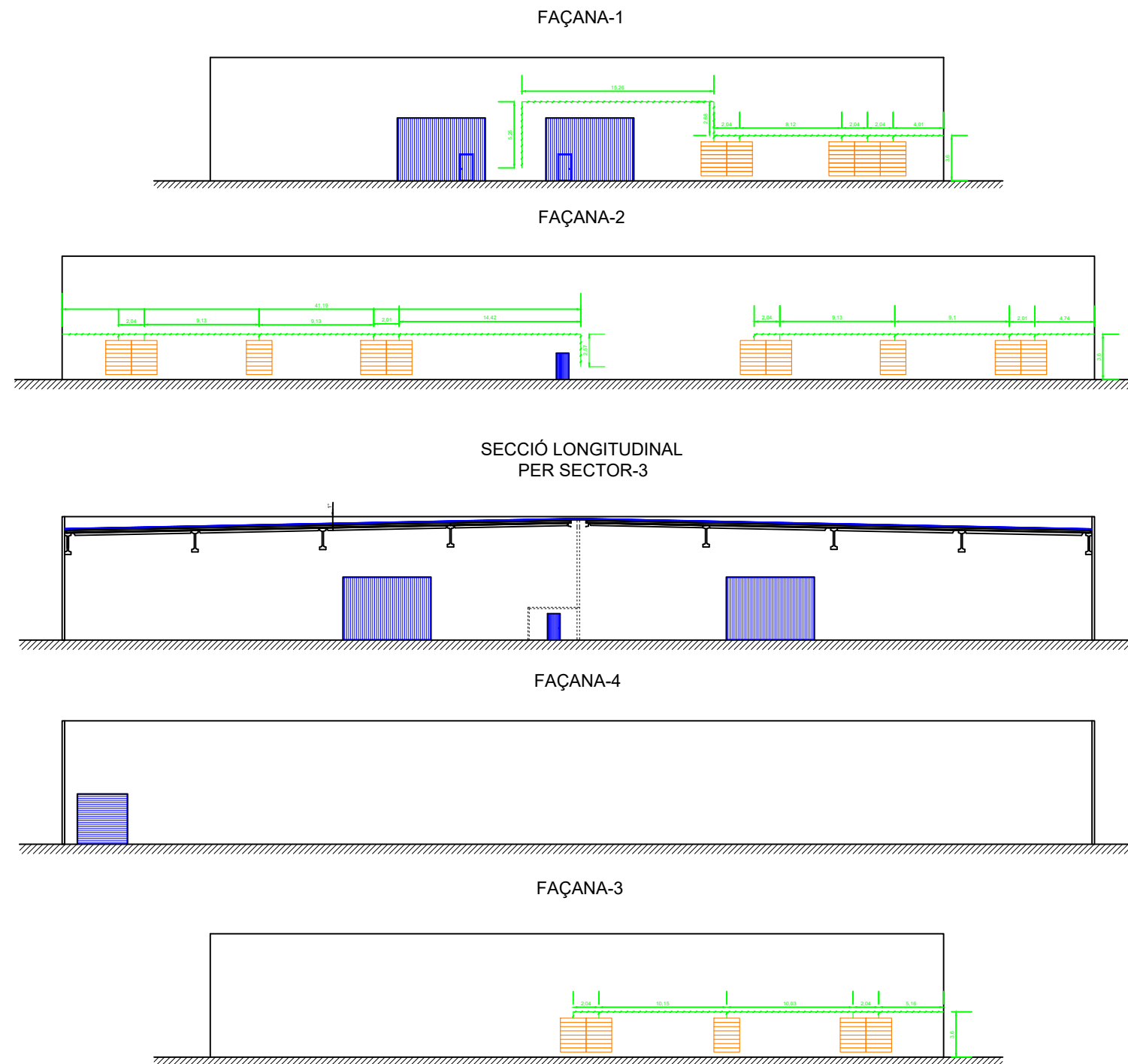
LLEGENDA:

-  Airejador de lames BRAKEL EURA EN125 LB ONG M24 ø70 200-12
-  Airejador PREFIRE LAMILUX F100 (LMEF9100)
-  Quadre de control electro-pneumàtic
-  Línia pneumàtica i elèctrica de connexió entre exutoris i quadres de control







LLEGENDA:

-  Airejador de lames BRAKEL EURA EN125 LB ONG M24 ø70 200-12
-  Airejador PREFIRE LAMILUX F100 (LMEF9100)
-  Quadre de control electro-pneumàtic
-  Línia pneumàtica i elèctrica de connexió entre exutoris i quadres de control
-  Cortina de fums PREFIRE INTISI 3 SSB DH-60/DA-150



LLEGGENDA:

-  Airejador de lames BRAKEL EURA EN125 LB ONG M24 ø70 200-12
-  Airejador PREFIRE LAMILUX F100 (LMEF9100)
-  Quadre de control electro-pneumàtic
-  Línia pneumàtica i elèctrica de connexió entre exutoris i quadres de control

A.2 Fulles de càlcul del Programa Excel

En aquesta apartat es mostren totes les fulles de càlcul del programa Excel creat exclusivament pel treball.



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Nom de l'autor:
Títol del Treball de Final de Màster:
Dirigit per:
Ensenyament:
Curs:

Enric Serrano Celma
ANÀLISIS TÈCNIC - ECONÒMIC DE LA INSTAL·LACIÓ D'UN
Carlos Turón Rodríguez
Màster en Enginyeria Industrial
2019-2020

Càlcul d'un SCTEH Natural per un magatzem logístic i d'ús industrial

Durada assumida del creixement de l'incendi (min)	≤15
Categoria de disseny per la velocitat específica de propagació de l'incendi?	3
Avis	OK
Tenim una instal·lació de ruixadors?	No
Quin tipus de ruixadors?	No
Tenim una instal·lació automàtica de detecció de fums?	Sí
Tipus d'emballatges	C2 = Embalatges combustibles (de paper, cartró ondulat, fusta o matèries plàstiques incloent les espumes plastificades) col·locats eventualment sobre palets de fusta
Classificació	SC4
Avis	OK
Categoria	Categoria 4
Fabricació	S4
Dimensions del incendi (mxm)	9x9
Àrea Af (m2)	81
Perímetre Pf (m)	36
Altura màxima d'apilament (m)	1.2
Tenim emmagatzematge en altura o es supera l'altura crítica d'apilament?	Sí
Altura d'emmagatzematge (m)	6
Emmagatzematge en sitges o en estanteries?	Estanteries
Amplada d'estanteria (màxim 3 m)	2
x	1.08
Af (recalc.) (m2)	81
Pf (recalc.) (m)	36
qf (baix) kW/m2	250
qf (alt) kW/m2	1250
Quants Sectors d'incendi hi ha?	3
Llargada del Sector	41
Amplada del Sector	34
Avis	Supera les dimensions màximes de llargada, s'ha de dividir el depòsit
Superfície sector (m2)	1394
Avis	OK
Alçada en el punt més alt de la nau (m)	9.55
Alçada en el punt més baix de la nau (m)	8.75
Alçada baix sostre H (m)	9.15
Alçada lliure de fums Y (m)	6.5
Profunditat capa de fums (d1)	2.65
Altura des del terra fins la part més baixa de la capa de fums	6.5
Espais grans o petits?	Grans
Coefficient de cabal d'entrada de fums Ce (kg·m ⁻² ·s ⁻¹)	0.188
Calor convectiu dels gasos i fums expulsats per les flames d'incendi Qf	81000
Columna de fum damunt gran incendi o petit incendi?	Columna de fum damunt gran incendi
Si tenim petit incendi	
D	-
Altura origen virtual de la columna de fum zo	-
Cabal d'aire que entra dintre d'una columna de fum (kg/s)	112.16
Calor específic del aire a pressió constnat c (kJ·kg ⁻¹ ·K)	1.005
Temperatura ambient (K)	293
Temperatura mitjana dels gasos del depòsit de fums per damunt de la temperatura ambient	719
Temperatura a la capa flotant del depòsit de fums	1012
Densitat aire a Tambient (kg/m3)	1.225
Gravetat (m/s2)	9.81
Superfície aerodinàmica total lliure d'airejadors Avtot·Cv	31.79
Model Airejador	PREFIRE LAMILUX F100
W	1.5
L	2.5
Ai	2.44
Dv	1.88
Mcrit vora pared	21.12
Mcrit en punts allunyats de la pared	34.35
N	6
Avtot/Ai	14

Selecció d'una opció desplegable
Introduir valors del cas a mà

41	82		
34	24		
1394	1968	0	0
9.55	9.55		
8.75	8.75		
9.15	9.15	#iDIV/0!	#iDIV/0!

Fulla de càlcul Taules

Durada assumida del creixement de l'incendi (segons annex L.1) **Velocitat de propagació de l'incendi < 0,25 m/min** **Warnings**

(min)	Categoria de disseny per la velocitat específica de propagació de l'incendi
5	1 a
10	2
15	3
20	4 b
20	4 c

a. No s'ha de dissenyar un SCTEH per unes dimensions d'incendi inferiors a la corresponent categoria 1.

b. Valors mitjans sense verificació específica; la categoria de disseny 4 s'obté si es fan servir valors mitjans.

c. En aquests casos els objectius de protecció d'aquesta norma no poden aconseguir-se solament amb un SCTEH i es requereixen altres mesures de protecció. En cas de no

	Apilament dels materials	Instal·lacions de PCI		
	Tipus d'embalatges	S2	S3	S4
C1	Embalatges incombustibles, eventualment col·locats sobre palets de fusta	SC2	SC3	SC4
C2	Embalatges combustibles (de paper, cartró ondulat, fusta o matèries plàstiques incloent les espumes plastificades) col·locats eventualment sobre palets de fusta	SC2	SC4	SC4*

En aquests casos els objectius de protecció d'aquesta norma no poden aconseguir-se solament amb un SCTEH i es requereixen altres mesures de protecció. En cas de no disposar d'aquestes mesures de protecció addicional el risc d'incendi serà considerable i l'evacuació de fums i calor no representaria més que el temps necessari per evacuar als ocupants, i molt poc temps més per que els serveis d'extinció intervinguin abans de la ignició generalitzada

	Fabricació	Apilament	Dimensions del incendi	Àrea (Af)	Perímetre (Pf)	Altura màxima d'apilament
Categoria 2	S2	SC2	4,5x4,5	20.25	18	5
Categoria 3	S3	SC3	6,5x6,5	42.25	26	2.4
Categoria 4	S4	SC4	9x9	81	36	1.2

Àrees de producció i/o apilament amb altura limitada

	Altura crítica d'apilament	Àrea	Perímetre	Flux de calor alliberat qf	
Categoria 2 segons annex L	5	20.25	18	hf	< 2
				qf baix	250
				qf alt	625
				2>hf>5	
				qf baix	250·(hf-1)
				qf alt	625·(hf-1)
Categoria 3 segons annex L	2.4	42.25	26	hf	< 2
				qf baix	250
				qf alt	1250
				2>hf>2,4	
				qf baix	250·(hf-1)
				qf alt	625·(hf-1)
Categoria 4 segons annex L	1.2	81	36	qf baix	250
				qf alt	1250

Edifici d'emmagatzematge en altura

Emmagatzematge amb productes en estanteries

w=amplada de l'estanteria, pel càlcul, màxim 3 m

h=alçada de l'estanteria

$x = 2/3 \cdot h \cdot \tan 15^\circ = 0,18 \cdot h$

Sitges:

w=amplada de l'estanteria, pel càlcul, màxim 3 m

Y=alçada lliure de fum

$x = Y \cdot \tan 15^\circ = 0,27 \cdot Y$

$Y = 2/3 \cdot h$

	Àrea d'incendi	Perímetre d'incendi	Flux de calor alliberat	
Ruixadors de sostre, independentment de la tipologia	$4/3 \cdot h \cdot (w+x)$	$2 \cdot (w+4 \cdot x)$	qf baix	250
Ruixadors intermedis	$2/3 \cdot h \cdot (w+x)$	$(w+4 \cdot x)$	qf alt	625
Sense ruixadors	81	36	qf baix	250
			qf alt	1250

Fulla de càlcul Val. Datos

Pas 1

1	≤ 5
2	≤ 10
3	≤ 15
4	≤ 20
4a	> 20

Pas 2

C1 = Embalatges incombustibles, eventualment col·locats sobre palets de fusta)

C2 = Embalatges combustibles (de paper, cartró ondulat, fusta o matèries plàstiques incloent les espumes plastificades) col·locats eventualment sobre palets de fusta

Sí	No
----	----

De sostre
Intermedis
No

Estanteries
Sitges

Grans
Petits

1
2
3
4
5

