

## **COMPARATIVE ANALYSIS OF FIRE LOADS IN HORTICULTURAL PLANTS.**

Ferrer Gisbert, C. M.<sup>1</sup>; Ferrer Gisbert, P. S.<sup>2</sup>; Redón Santafé, M.<sup>1</sup>; Sánchez Romero, F. J.<sup>1</sup>; Ferrán Gozávez, J.<sup>1</sup>; Torregrosa Soler, J. B.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dpto. Ing. Rural y Agroalimentaria.UPV, <sup>2</sup> Dto Proyectos de Ingeniería. UPV

The present paper is part of a set of articles, many of them in project, which aims to study the fire behavior of structures in agrofood industries and horticultural plants in particular.

In Spain, in recent years, there have been major fires in agrofood industries leading to ruin or collapse of buildings in a short period of time. That is why we address, as a first step, a detailed analysis of the fire load density in horticultural plants, using two different examples.

We will follow the various models established by the "Eurocode 1 Part 1-2: Actions on structures. Actions on structures exposed to fire ", as well as the Spanish Fire Safety Regulations in Industrial Establishments.

**Keywords:** *Fire loads; Horticultural plants; Structural fire safety*

## **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CARGAS DE FUEGO EN CENTRALES HORTOFRUTÍCOLAS.**

La presente ponencia se circunscribe dentro de un conjunto de artículos, muchos de ellos con carácter ulterior, cuyo objetivo consiste en el estudio del comportamiento ante el fuego de estructuras y naves de industrias agroalimentarias, y en concreto de centrales hortofrutícolas.

En España, en los últimos años, se han producido importantes incendios en industrias agroalimentarias conducentes a la ruina o colapso de los edificios en un escaso periodo de tiempo. Es por ello que nos planteemos hacer, como primer paso, un análisis pormenorizado de la densidad de carga de fuego en centrales hortofrutícolas, utilizando dos ejemplos diferentes.

Para el análisis se seguirán los distintos modelos establecidos por el "Eurocódigo 1 : acciones en estructuras Parte 1-2: Acciones generales. Acciones en estructuras expuestas al fuego", así como lo establecido por el vigente Reglamento de Seguridad contra Incendios en Establecimientos Industriales.

**Palabras clave:** *Cargas de fuego; Centrales hortofrutícolas; Seguridad estructural al fuego*

## 1.- Introducción

Las centrales hortofrutícolas, especialmente las dedicadas a la comercialización y exportación de cítricos, son uno de los motores productivos de la Comunidad Valenciana. Durante 2011 las frutas en general fueron el 2º capítulo más exportado por la Comunidad (con un 13% del total CV), a continuación de los vehículos automóviles. Un 76% de ese valor exportado correspondió a los cítricos en concreto (IVEX, 2012).

En la Comunidad Valenciana existen aproximadamente 143 empresas dedicadas al procesado y conservación de frutas y hortalizas (INE, 2013). Aunque el diagrama de flujo productivo es bastante común en todos ellos, cada almacén es distinto, bien por las características de la parcela, bien por el diseño del proyectista, por las necesidades de la propia producción de cada uno de ellos, etc.

Sin embargo un denominador común es que se necesita un gran espacio para el almacenamiento y manejo de envases, embalajes y cajas de campo. Dichos envases se caracterizarán en un apartado posterior, pero ya se adelanta que son de distintos materiales: termoplásticos (polietileno, polipropileno), cartón, madera, y combinaciones de éstos.

Desde el punto de vista del diseño y funcionamiento, las centrales hortofrutícolas no deben tener recintos estancos, sino al contrario, ser lo más diáfanos posible. Este hecho hace que muchas de ellas tengan estructuras singulares para salvar luces importantes (Ferrán Gozávez et al., 2007).

En cuanto a la seguridad contra incendios, casi todas ellas han ido cumpliendo los requisitos y medidas que contemplaban las distintas Normativas y Reglamentos vigentes. Sin embargo, la normativa contra incendios específica para industrias era inexistente hasta hace algunos años.

El colapso total provocado por los recientes incendios de la Cooperativa de Alcàsser en 2009, y el almacén de Fontestad (40000 m<sup>2</sup>) en Museros en 2012, y la forma en que se han producido, han sensibilizado tanto al sector como a los proyectistas, animándoles a profundizar en el conocimiento del comportamiento ante el fuego en este tipo de almacenes agroindustriales.

En este ámbito, de gran interés y vigencia como demuestran multitud de investigaciones de carácter internacional (Gollner et al, 2011; Overholt et al, 2011), se centra la presente ponencia. Como primer objetivo se pretende caracterizar bien los envases y embalajes, sus áreas de acopio y manipulación, y como no, estudiar las densidades de carga de fuego, ya que constituyen el mayor potencial combustible. Posteriormente y como resultado de investigaciones en curso, se avanzará en el comportamiento estructural y otras cuestiones en materia de prevención que quedan al margen de la presente ponencia.

## 2.- Objetivos

Se pretende realizar unos análisis comparativos de la densidad y respuesta al fuego en dos centrales hortofrutícolas (se mantendrán en el anonimato) de diferente naturaleza e idiosincrasia para, con posterioridad, ir ampliando el catálogo de centrales estudiadas.

Para la caracterización y la determinación de la densidad de carga de fuego de los distintos combustibles potenciales se ha seguido y tenido en cuenta:

- Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-2: Acciones generales. Acciones en estructuras expuestas al fuego (AENOR, 2004).
- Reglamento de seguridad contra incendios en establecimientos industriales (Ministerio de Industria, 2007)

- Programas informáticos y hojas de cálculo propias.
- Catálogos de fabricantes.

### 3.- Metodología general.

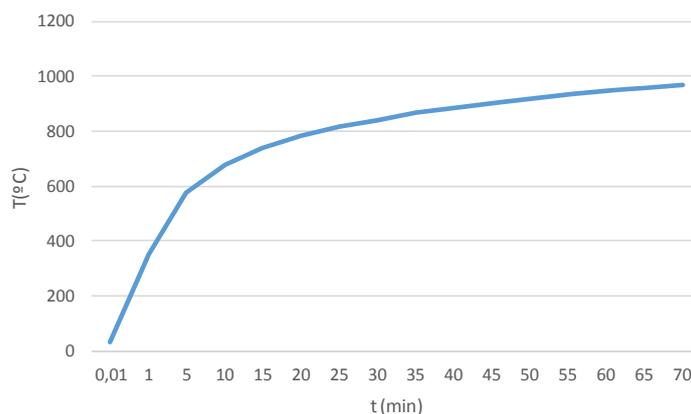
La metodología general expuesta en la presente ponencia, arranca de la determinación de la densidad de carga de fuego de los materiales potencialmente combustibles existentes en las centrales hortofrutícolas. Para ello hay primero que caracterizarlos debidamente como se detalla en el apartado 4 de la ponencia.

Posteriormente se ha calculado la densidad de carga de fuego corregida y ponderada en ambos casos de acuerdo con el “Reglamento de seguridad contra incendios en establecimientos industriales” (RSCIEI).

Para la cuantificación de los distintos parámetros se han empleado tanto las tablas del propio Reglamento, como otras fuentes (INSHT, 2008), (Miliarium, 2013).

Por otra parte el EC1 (EN 1991-1-2:2002), que dio un salto cualitativo y cuantitativo respecto a su versión anterior, recoge en el apartado *Procedimientos de cálculo*, la posibilidad de utilizar para cálculos estructurales curvas de fuego nominales temperatura – tiempo (en este caso para materiales celulósicos, apartado 3.2).

**Figura 1: Curva nominal temperatura-tiempo**



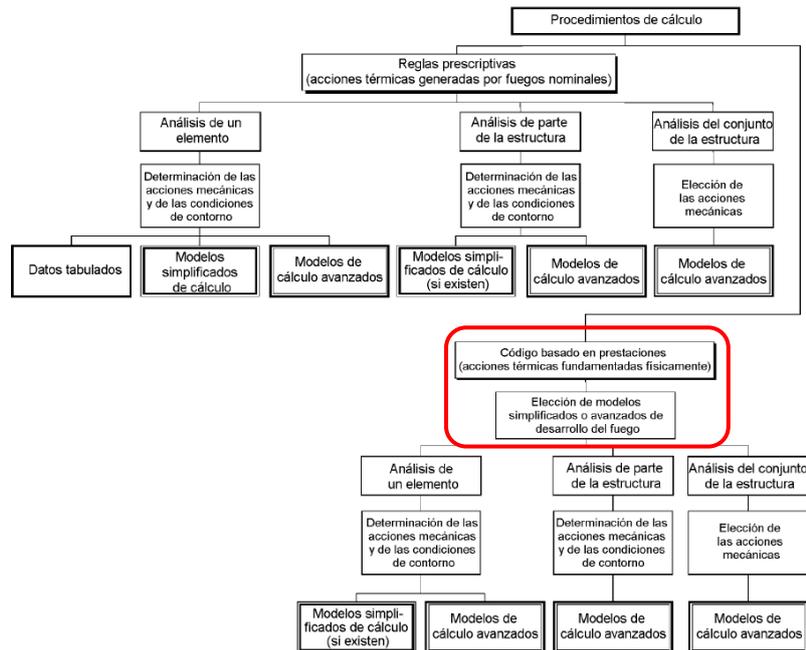
Sin embargo, la experiencia (y las curvas posteriormente presentadas) demuestra que este procedimiento simplificado conduce a resultados muy del lado de la seguridad, por lo que en la ponencia se desarrollan curvas temperaturas-tiempo de tipo paramétrico, basadas en la cuantificación realística y utilizando modelos avanzados de cálculo.

El EC1 recoge el esquema general reproducido en la figura 2 sobre la que se ha destacado la parte en la que se centra la ponencia.

Por otro lado, también se han determinado las densidades de carga de fuego siguiendo el Anexo E del EC1, cuyo contenido no se expone por ser de sobra conocido.

Paralelamente al desarrollo normativo y legislativo han ido surgiendo programas informáticos de cálculo, como Ozone V2.2 de la Universidad de Lieja (Cadorin & Fransen, 2003) y el FDS de libre difusión, y de resultados bien contrastados.

Figura 2: Esquema general del EC1



Dichos programas están basados en el estudio de la evolución del desarrollo del fuego mediante balances de masa y energía, utilizando técnicas de elementos finitos que afectan al desarrollo de la masa de humos y gases, y al proceso de combustión (en función del contenido de oxígeno) dentro de un recinto, teniendo en cuenta las características de sus cerramientos y aberturas. Es decir, permiten simulaciones pseudo-realistas. Para más información se pueden consultar numerosas referencias y los manuales de los programas.

Por su sencillez operativa se ha elegido el Ozone V2, ya que el FDS necesita de un mallado previo mediante un entorno gráfico. Por otra parte Ozone proporciona mejores aproximaciones para las curvas de temperatura (y más desfavorables) mientras FDS es más frecuentemente utilizado en problemas de propagación de incendios y humos (Dufour, 2006).

El propio EC1 propone modelos similares a la forma de resolución de los programas, (léase el Anexo D 'Modelos de fuego avanzados', así como en el Anexo E, anteriormente referido).

De todos los parámetros que intervienen en el cálculo, uno de los que más afecta a los resultados es el valor adoptado para RHR (*Rate of Heat Release*) (o como llaman otros autores HRR, *Heat Release Rate*), que representa la cantidad de energía por segundo que se libera en el desarrollo del fuego. El RHR depende del tipo y cantidad de combustible presente en el compartimento, así como de la cantidad de oxígeno disponible en el recinto y de la fase de desarrollo del fuego (creciente, estacionario, decreciente). Posteriormente se repercute por metro cuadrado.

Este valor, que se obtiene a partir de ensayos con el calorímetro (de cono, o bomba calorimétrica) (Bryant et al, 2004), es y ha sido objeto de investigación por laboratorios e institutos de investigación de todo el mundo (Lyon et al, 2007), sobre todo en el sector de la aeronáutica. Si bien se tiene mucho conocimiento adquirido en valores para simulación de incendios en edificios públicos y privados (enseres, mobiliarios, y un largo etcétera), éste es menor en almacenes industriales, envases y embalajes, especialmente cuando están apilados.

Este parámetro está siendo objeto de investigación en la actualidad. Uno de los problemas consiste en la dificultad de obtener medios materiales y económicos para realizar ensayos a escala real, por lo que la mayoría (de entre los pocos) artículos, hacen referencia a modelos hechos a escala. (Lönnermark & Ingason, 2005).

Dada la heterogeneidad de los materiales de envase almacenados y la dificultad de estimar valores precisos se ha optado por utilizar el valor de 1250 kW/m<sup>2</sup> que es el que ofrece el programa para el caso de palets de madera apilados hasta una altura de 0,5 m.

#### 4.- Caracterización de envases y embalajes

Los tipos de recipientes contenedores utilizados habitualmente en las centrales hortofrutícolas son diversos. En primer lugar cabe distinguir entre los que se utilizan en recepción (cajas de campo, entrada de fruta) que suelen ser de materiales termoplásticos, y los que se utilizan en expedición (fruta confeccionada o semi-confeccionada), para los que se utilizan madera, cartón o combinación de éstos y ocasionalmente cajones más pequeños de materiales termoplásticos.

De entre los que se utilizan en recepción y manipulación, se han caracterizado las cajas de campo de polietileno o de polipropileno y los grandes contenedores o “big boxes” (figura 3). Como envase para manipulación o confección no terminada (se envían en ocasiones así a exportación, para terminar su confección en otros centros) se ha considerado las cajas autoplegables de plástico.

Figura 3: Envases de recepción y manipulación de fruta



En confección habitualmente se utilizan envases de madera, cajas de cartón o el denominado “green box” (figura 4).

Para almacenamiento y apile se han considerado pallets de madera.

En la tabla 1 se han recogido las características de los envases y en la 2 se ha obtenido la carga de fuego correspondiente a una unidad paletizada de dichos envases.

**Figura 4: “green box”**



**Tabla 1: Características de los envases**

Nombre	Dimensiones				Material		Peso (kg)
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Espesor (cm)	Tipo	Poder Calorífico (MJ/kg)	
Big Box	120	100	79	9	PEAD	42	45,5
Green Box	60	80	70	-	Varios	27,62	7
Platós	44	30	11	0,3	Madera	16,7	0,25452
Caja Cartón	60	40	18,4	0,2	Cartón	16,7	0,4864
Europalet	120	80	16,6	-	Madera	16,7	27
Caja Auto	60	40	3,38 (plegada)	-	PP	44	1,85
Caja Campo	48	34	30	-	PP	44	2,5

**Tabla 2: carga de fuego por unidad paletizada**

Nombre	si (m2)	hi (m)	ud/palet	kg/palet	MJ/palet	MJ/m2
Big Box	1,2	3,16	4	182	7.644	6.370
Green Box	0,48	5,6	8	56	1.547	3.222
Platós	0,96	2,2	145	37	616	642
Caja Cartón	0,96	2,2	48	33	550	573
Europalet	0,96	3,32	20	540	9.018	9.394
Caja Auto	0,96	2,03	240	444	19.536	20.350
Caja Campo	0,96	1,8	35	88	3.850	4.010

A partir de estos datos, para recopilar la carga de fuego en cada zona analizada bastará con contar el número de palets por planta y en altura.

## 5.- Caso de estudio 1

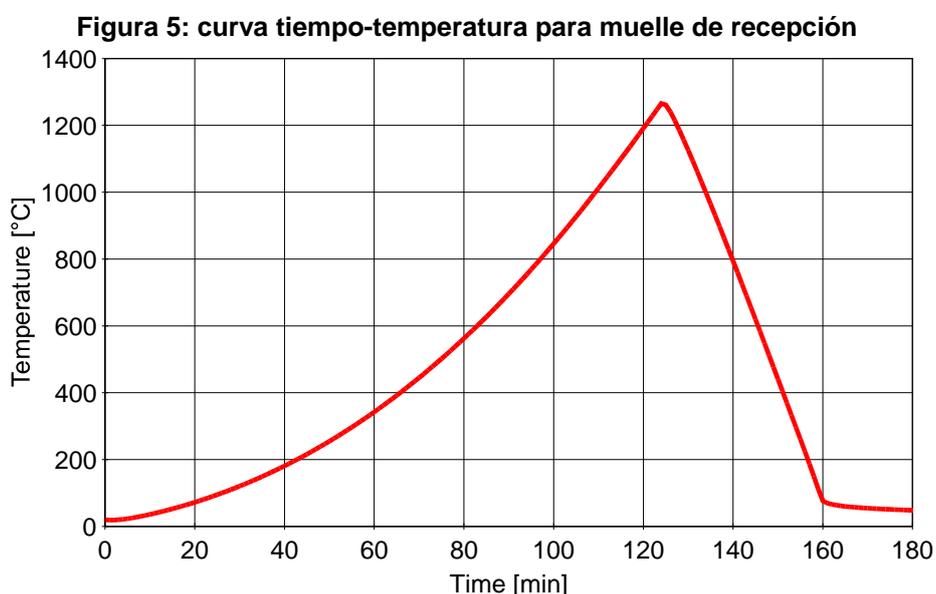
Se trata de una central hortofrutícola de superficie superior a los 10.000 m<sup>2</sup>, caracterizada como tipo C según RSCIEI y organizada en un sector único.

El primer estudio llevado a cabo ha consistido en evaluar de forma rigurosa la carga de fuego realmente existente en el almacén en un momento determinado de su actividad para, a partir de dicho dato, comprobar si la habitual consideración del riesgo como “bajo” en este tipo de empresas es una hipótesis realista.

Tras dicho análisis se comprueba que la densidad de carga de fuego ponderada y corregida, obtenida a partir de las masas de los combustibles de acuerdo con RSCIEI, es de  $1380 \text{ MJ/m}^2$ , que corresponde a un riesgo "medio-4". En dicho cálculo no se ha incluido la espuma rígida de poliuretano de los cerramientos y paneles frigoríficos, se ha considerado un coeficiente global de peligrosidad por combustibilidad ( $C_i$ ) de 1 y un coeficiente de peligrosidad por activación ( $R_a$ ) de 1,5.

Posteriormente se ha analizado la zona destinada a almacenamiento de envases (por ser la de mayor densidad de carga de fuego) mediante el referido software Ozone para obtener los fuegos de cálculo mediante curvas de incendio real. Para este análisis se han considerado 3 recintos diferenciados ya que serían susceptibles de ser protegidos de forma independiente e incluso plantear su sectorización.

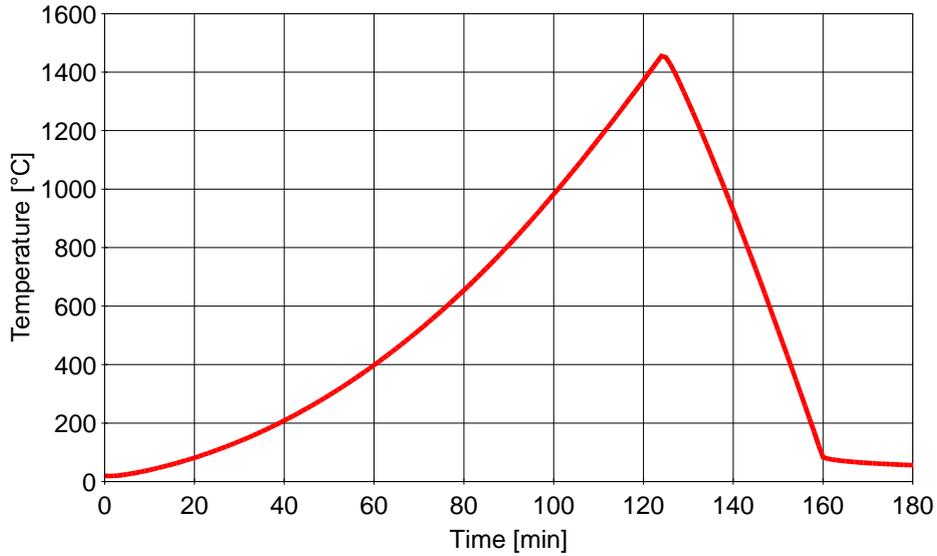
El recinto analizado número 1 es un muelle cerrado de recepción. La curva tiempo-temperatura obtenida se muestra en la figura 5.



Se observa en primer lugar que la curva de incendio real es mucho más favorable que la nominal (figura 1) no alcanzándose la temperatura de  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  (orden de magnitud de la temperatura crítica para el acero) hasta pasados los 80 minutos, lo que proporciona un período de tiempo razonable para la puesta en marcha de las instalaciones activas contra incendios.

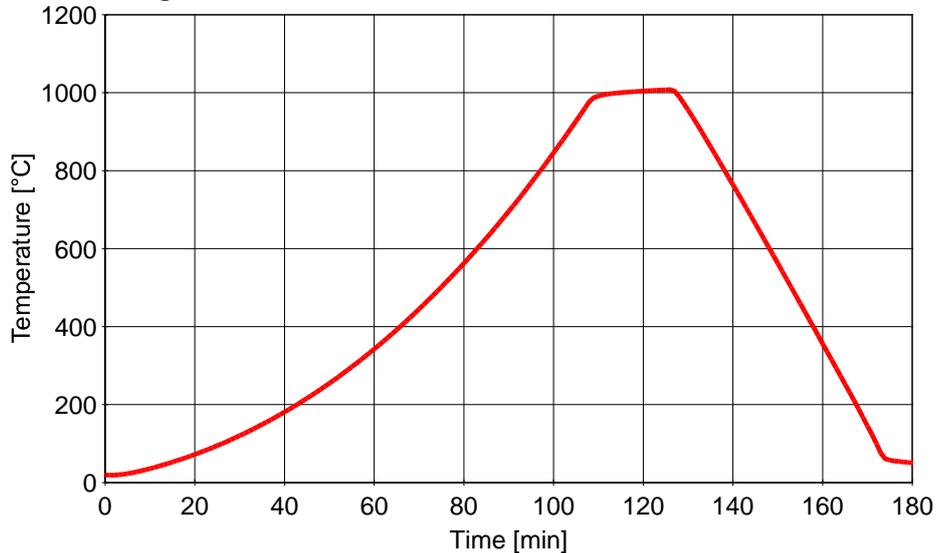
Además, el modelo permite analizar la variación del fuego de cálculo con determinados parámetros como por ejemplo el estado de las aperturas existentes. Para la curva mostrada se han considerado todas las puertas de los muelles de recepción abiertas, como parece lógico en el caso de un incendio para facilitar su extinción. Además suelen estar abiertas durante la campaña por operatividad del almacén. Si la comparamos con la curva considerando dichas puertas cerradas (figura 6) se observa cómo, para el mismo instante de tiempo, se alcanza un pico de temperatura casi  $200^\circ$  superior.

**Figura 6: curva tiempo-temperatura para muelle de recepción con puertas cerradas**



También se puede estudiar el efecto de incrementos o disminuciones en la densidad de carga de fuego ya que se trata de un parámetro relativamente variable. Pero sin duda el parámetro que más significativamente afecta al fuego de cálculo, como se ha comentado, es la velocidad de liberación de calor (RHR). Así, si disminuimos el  $RHR_f$  (máxima velocidad de generación de calor producido en  $1 \text{ m}^2$  de fuego) inicialmente considerado a la mitad ( $625 \text{ kW/m}^2$ ) se observa como dicho valor determina una temperatura máxima que provoca la aparición de una zona de estado estacionario limitada por la posterior fase de enfriamiento.

**Figura 7: Efecto de la reducción del  $RHR_f$  a la mitad**



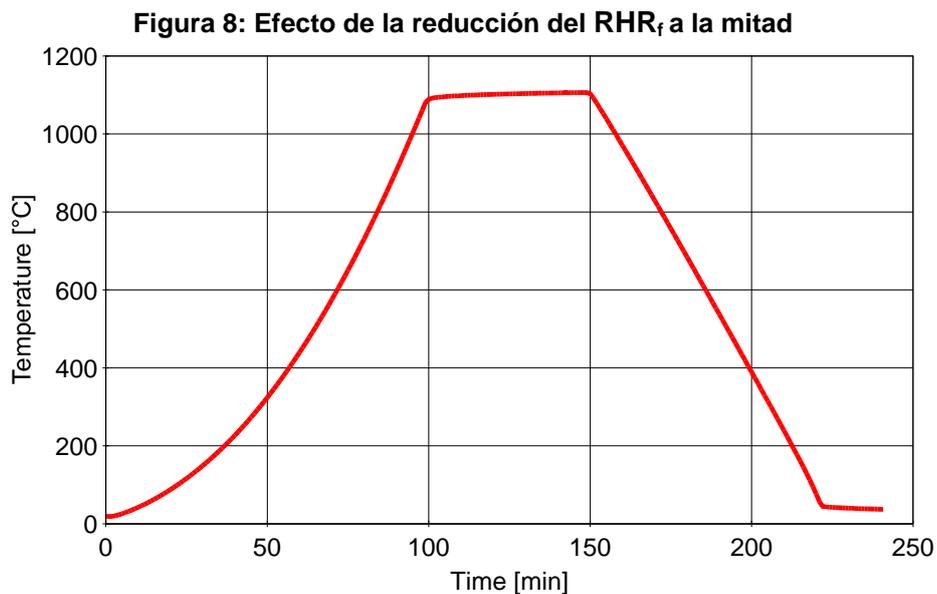
## 6.- Caso de estudio 2

Se trata también de una central hortofrutícola de superficie mayor de  $10.000 \text{ m}^2$  y sector único en la que, a diferencia del caso 1, los envases se hayan almacenados en diversas zonas repartidas por toda la planta.

También como primer paso se estudia la carga de fuego existente debida exclusivamente a los envases. Casualmente la densidad de carga de fuego ponderada y corregida obtenida es muy similar a la del caso 1 ( $1366 \text{ MJ/m}^2$ ) que corresponde al mismo riesgo "medio-4".

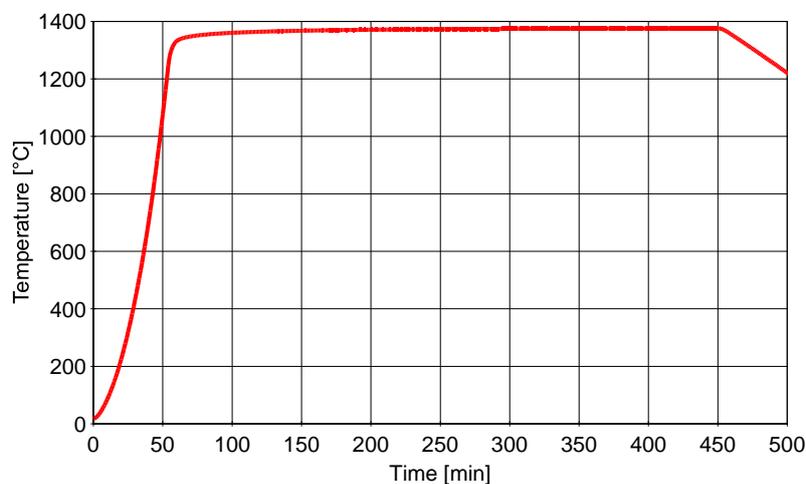
También en este caso se han simulado y estudiado los recintos de almacenaje de envases de forma detallada mediante Ozone.

En la figura 8 se representa el resultado correspondiente a un recinto en la zona de muelles de recepción, similar al analizado en el caso 1, aunque de menor superficie y mayor carga de fuego. Por ello se observa que se alcanza el ya referido estado estacionario característico del control del fuego por ventilación, a pesar de haber considerado los muelles abiertos.



De entre todos los casos analizados se destaca el de aquellos recintos relativamente pequeños en que se almacenan cargas de fuego muy elevadas, como por ejemplo la correspondiente a varios palets en altura de cajas de plástico auto-montables. La curva de fuego obtenida (figura 9) pone de manifiesto la dificultad de combatir dichos fuegos.

**Figura 9: Curva tiempo-temperatura para un recinto pequeño con carga de fuego elevada**



## 8.- Resultados y conclusiones

En el diseño de almacenes hortofrutícolas se ha considerado tradicionalmente cargas de fuego bajas ya que no se trata de una actividad que revista un riesgo de incendio significativo y la cantidad de envases que se almacenarán es un dato variable difícil de estimar a priori por el proyectista. Sin embargo, el estudio realizado pone de manifiesto que las cantidades de envases almacenadas en este tipo de industrias pueden llegar a ser considerables, dando lugar a riesgos medios.

La aplicación rigurosa del RSCIEI obligaría en estos casos a sectorizar determinadas zonas, lo que puede ir en detrimento de la flexibilidad y operatividad de dichas plantas.

Se trata pues de una cuestión delicada que abre las puertas a que investigadores y proyectistas, mediante el uso de métodos y herramientas de cálculo como el expuesto, busquen nuevas soluciones para lograr almacenes más seguros contra el fuego mediante soluciones técnica y económicamente razonables.

## Agradecimientos

Los autores quieren manifestar su agradecimiento a los ingenieros agrónomos Jaime Llidó Domingo y Jorge Moya Ayza por la colaboración en la minuciosa toma de datos para los casos de estudio, así como en la búsqueda de información relevante para poder llevar a cabo la investigación.

## 9.- Referencias.

- AENOR, Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-2: Acciones generales. Acciones en estructuras expuestas al fuego. 2004.
- Bryan R.A. et al. (2004). The NIST 3 Megawatt Quantitative Heat Release Rate Facility: Description and Procedures. U.S. National Institute Of Standards And Technology.
- Bryant, R., Ohlemiller T., Johnsson E., Hamins A., Grove B., Guthrie W.F., Maringhides A., and Mulholland G. (2003). The NIST 3 Megawatt Quantitative Heat Release Rate Facility-Procedures and Guidance. NIST Special Publication 1007, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.
- Cadorin J.F., Franssen J.M. (2003) A tool to design steel elements submitted to compartment fires—OZone V2 Part 1 & Part 2. *Fire Safety Journal*. Vol 38, iss 4, pp 396-451.
- Dufour A (2006). Simulación mediante la mecánica computacional de fluidos de escenarios de incendios reales en recintos industriales. Tesis de Máster. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Ferrán Gozávez, J.J. (p); Ferrer Gisbert, C.; Ferrer Ferrer, C; Torregrosa Soler, J.B. (2007) Example of development of a modular structure in pseudo folded sheet applied to a warehouse of architecture and industrial engineering. *International Symposium on New Olympics New Shell and Spatial Structures*. IASS-APCS.
- Gollner M.J., Overholt K., Williams F.A., Rangwala A.S., Perricone J. (2011). Warehouse commodity classification from fundamental principles. Part I: Commodity & burning rates. *Fire Safety Journal*, 46 305-316.

- INSHT, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2008). NTP 47: Parámetros de interés a efectos de incendio de las sustancias químicas más usuales. Valores
- INE, Instituto Nacional de Estadística. *Empresas por CCAA, actividad principal (grupos CNAE 2009) y estrato de asalariados*. <http://www.ine.es/jaxiBD/tabla.do>
- IVEX, Instituto Valenciano de la Exportación. *Informe sectorial "Cítricos de la Comunitat Valenciana"*.  
[http://www.ivex.es/dms/estudios/informacion\\_sectorial\\_CV/CITRICOSWEBdef-2008/CITRICOSCVWEB2012.pdf](http://www.ivex.es/dms/estudios/informacion_sectorial_CV/CITRICOSWEBdef-2008/CITRICOSCVWEB2012.pdf)
- Lönnermark A, Ingason H. (2005) *Fire Spread in Large Industrial Premises and Warehouses*. SP Swedish National Testing and Research Institute.
- Lyon R.E., Filipczak R, Walters R N, Crowley S, Stoliarov S I. (2007) *Thermal analysis of polymer flammability*. U.S. Office of Aviation Research and Development. Washington.
- Miliarium. Ingeniería civil y medio ambiente. Página web consultada en marzo de 2013.  
<http://www.miliarium.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.asp>
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2007). Guía técnica de aplicación: Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.
- Overholt K.J., Gollner M.J., Perricone J., Rangwala A.S., Williams F.A. (2011). Warehouse commodity classification from fundamental principles. Part II: Flame heights and flame spread. *Fire Safety Journal*, 46 317-329.