

Raquel Carrasco Noguera

Análisis y diseño de una aplicación informática de la norma UNE23585:2004 de Sistemas de Control de Temperatura y Evacuación de Humos para naves de una sola planta con actividad industrial, incluida la de almacenamiento

**Trabajo Final de Máster
dirigido por Dr. Carlos Turón**

Máster en Ingeniería Industrial



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2016

Índice

1	Objeto	1
2	Introducción.....	2
2.1	El desarrollo del incendio y la producción de humos	2
2.1.1	Estado de capa-combustible controlada.	3
2.1.2	Estado de ventilación controlada y combustión súbita generalizada o flashover.....	4
2.2	Movimiento y control de humos en edificios.....	4
2.2.1	Sistema de evacuación de humo y calor.....	6
2.2.2	Componentes del SCTEH	8
2.2.3	Medios de activación del SCTEH.....	9
2.2.4	El efecto vórtice, plugholing o desagüe.....	10
2.3	Ámbito de aplicación de la norma UNE23585	11
2.4	Otras normativas y reglamentación.....	11
3	Metodología de aplicación de la norma UNE23585	13
3.1	Nave industrial de una planta con actividad principal de almacenamiento.....	13
3.1.1	Categorías de almacenaje.....	13
3.1.2	Altura crítica de almacenaje.....	14
3.1.3	Dimensiones del incendio.	14
3.1.4	Potencia calorífica del incendio q_f	16
3.1.5	Altura libre de humos Y	16
3.1.6	Altura bajo techo h_c	16
3.1.7	Espesor de la capa de humos d_1	16
3.1.8	Caudal másico de humos M_1	17
3.1.9	Flujo de calor por convección Q_f	17
3.1.10	Temperatura media de los gases por encima de la del ambiente de la capa flotante de humos en un depósito de humos θ_1	17
3.1.11	Promedio de temperatura absoluta en la capa flotante de un depósito de humos T_1	18
3.1.12	Superficie aerodinámica de los exutorios $AvCv$	18
3.1.13	Número de exutorios a instalar N	20
3.1.14	Valor crítico de extracción M_{crit}	20
3.1.15	Número mínimo de exutorios N_{min}	21
3.1.16	Aceptación del cálculo con el exutorio comercial seleccionado	21
3.2	Nave industrial de una planta con actividad principal distinta a la de almacenamiento.....	21

3.2.1	Categorías de uso de la nave.....	22
3.2.2	Dimensiones del incendio, perímetro W_f y superficie A_f	22
3.2.3	Potencia calorífica del incendio q_f	22
3.2.4	Altura libre de humos Y	23
3.2.5	Altura bajo techo h_c	23
3.2.6	Espesor de la capa de humos d_1	23
3.2.7	Caudal másico de humos M_1	23
3.2.8	Flujo de calor por convección Q_f	24
3.2.9	Temperatura media de los gases por encima de la del ambiente de la capa flotante de humos en un depósito de humos.....	24
3.2.10	Promedio de temperatura absoluta en la capa flotante de un depósito de humos T_1	24
3.2.11	Superficie aerodinámica de los exutorios Av_{Cv}	25
3.2.12	Número de exutorios a instalar N	26
3.2.13	Valor crítico de extracción M_{crit}	26
3.2.14	Número mínimo de exutorios N_{min}	26
3.2.15	Aceptación del cálculo con el exutorio comercial seleccionado.....	26
4	Diseño de la aplicación informática de cálculo.....	27
4.1	Descripción de la aplicación.....	27
4.2	Manual de usuario.....	27
4.2.1	Pantalla de inicio.....	27
4.2.2	Fijar variables ambientales.....	28
4.2.3	Cálculo SCTEH de una nave con actividad principal de almacenamiento... ..	28
4.2.4	Cálculo SCTEH de una nave con actividad principal distinta a la de almacenamiento.....	37
4.3	Manual de programación.....	46
5	Validación de la aplicación diseñada.....	47
5.1	Cálculo SCTEH de una nave con actividad principal de almacenamiento.....	47
5.1.1	Enunciado del problema.....	47
5.1.2	Cálculo manual.....	47
5.1.3	Cálculo mediante la aplicación diseñada.....	49
5.1.4	Resultados.....	52
5.2	Cálculo SCTEH de una nave con actividad principal distinta a la de almacenamiento.....	53
5.2.1	Enunciado del problema.....	53
5.2.2	Cálculo manual.....	53
5.2.3	Cálculo mediante software de uso libre de Cottex Group [11].....	55
5.2.4	Cálculo a través de la aplicación diseñada.....	58

5.2.5 Resultados	60
6 Análisis de los parámetros principales implicados en los cálculos.....	62
6.1 Deducción teórica.....	62
6.2 Comprobación mediante el programa diseñado.....	63
6.2.1 Relación de parámetros en naves industriales con actividad principal de almacenamiento	64
6.2.2 Relación de parámetros en naves industriales sin actividad principal de almacenamiento	65
7 Conclusiones	67
8 Referencias	68
8.1 Normativas	68
8.2 Libros y artículos	68
8.3 Páginas web	68

ANEXO I MANUAL DE PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN DE CÁLCULO

1 Objeto

El presente trabajo tiene por objeto el análisis y el diseño de una aplicación informática de cálculo sobre la normativa española UNE 23585:2004. Dicha normativa se encuentra en el ámbito de la seguridad contra incendios y define los requisitos y métodos de cálculo y diseño para proyectar un sistema de control de temperatura y de evacuación de humos (SCTEH) en caso de incendio.

El estudio de la norma incluye los mecanismos básicos en el desarrollo de un incendio y la producción de humos, la metodología de cálculo y el diseño de una aplicación informática a través del uso de Microsoft Visual Basic 7.0 y Excel 2010 en la que se analizan siguiendo las directrices de la citada normativa, los parámetros básicos para el cálculo del número de exutorios de extracción natural a instalar en una edificación industrial tipo, consistente en una nave de una sola planta destinada a cualquier tipo de actividad industrial, incluyendo el almacenamiento. Se contrastan los resultados de dicha aplicación con la metodología de cálculo manual y una aplicación proporcionada por la compañía Cottés Group, con el fin de validar su funcionamiento. Asimismo se estudiará la influencia y la relación entre los parámetros básicos utilizados en los cálculos efectuados.

2 Introducción

El humo es la principal causa de fallecimiento entre las víctimas de los incendios, convirtiendo a los sistemas de control y evacuación de humo (SCTEH) en elementos fundamentales de cara a garantizar la seguridad de los ocupantes. Dentro de un edificio o establecimiento, el mayor peligro es la fácil propagación del humo por todos los recintos próximos no compartimentados adecuadamente y, por tanto, por aquellos medios o vías de evacuación que deberían estar en condiciones de permitir la libre circulación de los ocupantes de dicho edificio [14].

En primer lugar y para poder entender la metodología de cálculo y diseño para proyectar un SCTEH en el caso que nos ocupa de una nave industrial de una sola planta, resulta necesario conocer el funcionamiento de los parámetros básicos que intervienen en un incendio, principalmente en la generación y comportamiento de los humos.

A continuación se adjunta un breve resumen de las consideraciones principales estudiadas.

2.1 El desarrollo del incendio y la producción de humos

Para que ocurra un incendio han de concurrir de forma simultánea la presencia de un combustible (sustancia que arde), un comburente (sustancia en la que arde el combustible), una fuente de energía (aporte de la energía necesaria para iniciar la ignición) y una reacción en cadena no controlada.

Se considera en líneas generales que la combustión es una reacción de tipo exotérmico que implica la mayoría de las veces una oxidación del combustible. Los incendios reales generalmente ocurren de forma no estequiométrica por lo que existe un exceso de combustible o de comburente.

Cuando en un incendio hay presente un exceso de aire se considera que el incendio depende del combustible (incendio en **estado de capa-combustión controlada**) y cuando se presenta un exceso de combustible se considera que el fuego depende de la ventilación o comburente (incendio en **estado de ventilación controlada**).

En un incendio de interior dependiente del combustible, la combustión se realiza de manera análoga a como lo haría en un fuego de exterior. Sin embargo en un incendio de interior dependiente de la ventilación, la combustión será incompleta quedando limitada su velocidad por la cantidad de aire que entra en el recinto. En esta situación el combustible sin quemar y los productos de la combustión incompleta pueden salir de la zona en la que se ha producido el incendio y propagarse hacia zonas adyacentes. Si estos gases calientes encuentran al salir del recinto, una zona con suficiente cantidad de oxígeno pueden arder si se encuentran a una temperatura igual o superior a su temperatura de ignición. Si por el contrario, los gases calientes (aun cuando su temperatura sea superior a la de ignición) se propagan a una zona con bajo contenido en oxígeno, es posible que la propagación de la llama cese a pesar de que las temperaturas de los gases puedan dar lugar a procesos de pirolisis y de carbonización.

De manera secuencial un fuego de interior suele desarrollarse a primeras, de igual forma que si se tratase de un fuego al aire libre. La tasa de combustión, la producción de calor y el desarrollo del incendio dependen de la cantidad de combustible ardiendo. No suelen estar implicados todos los combustibles del recinto. El incendio es todavía lo bastante pequeño para que el control de humos tenga éxito.

Posteriormente y conforme se va desarrollando el incendio se va produciendo una acumulación de gases combustibles en la parte superior del recinto de forma que aparecen

dos zonas teóricas separadas por el denominado plano de presión neutra, de tal manera que dicho plano separa la zona superior en la que se encuentran los gases y vapores inflamables con presión ligeramente superior de la zona inferior constituida por aire más frío a una presión algo menor que la presión atmosférica.

El rango de inflamabilidad de la zona superior será función del tipo de combustible y de la temperatura produciendo la inflamación de los vapores cuando se alcance su límite inferior. Una vez iniciada la ignición el fuego evoluciona condicionado por la entrada de oxígeno de manera que si el aporte es suficiente el fuego se seguirá desarrollando. En el incendio en estado de ventilación controlada todos los productos combustibles del recinto están involucrados y la tasa de combustión y otros dependen de la cantidad de aire disponible.

Si el fuego se sigue desarrollando la temperatura de la capa superior de gases aumenta presionando hacia abajo el plano de presión neutra y como consecuencia disminuyendo aún más la presión de la zona inferior. Esto da lugar a un efecto de succión del aire que contribuye al mantenimiento del incendio. Entonces la temperatura superficial de los combustibles aumenta generando gases de pirólisis y si se llega a alcanzar su temperatura de autoignición, se produce lo que se conoce como **flashover o combustión súbita generalizada**.

Dependiendo del estado de la combustión la generación, movimiento y control de humos tendrán una serie de particularidades.

2.1.1 Estado de capa-combustible controlada.

Suele ser el primer estado de un incendio. El humo que se genera de la combustión asciende hacia el techo y según asciende el aire limpio va penetrando de manera que se incrementa el volumen de humos y éste va bajando la temperatura. El humo se extiende bajo el techo formando un estrato. La norma [1] adjunta el siguiente esquema para mostrar las características principales de este estado.

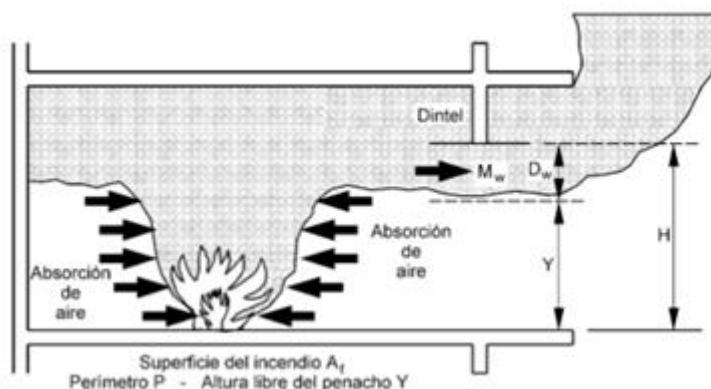


Figura 2.1. Descarga de los humos de un incendio en estado de capa-combustible controlada [1].

A medida que el estrato de humos aumenta la altura libre de humos Y va disminuyendo con lo que el penacho de humos ascendente puede llegar al nivel de la capa de humos disminuyéndose sustancialmente la entrada de aire fresco. Esto provoca que la temperatura del estrato de humos se incremente con la profundidad de dicho estrato.

2.1.2 Estado de ventilación controlada y combustión súbita generalizada o flashover.

Cuando se alcanzan aproximadamente 600°C la radiación hacia abajo desde la capa de los gases de los humos es suficiente para causar la descomposición térmica de los restos de materiales combustibles del compartimento y en consecuencia su auto-ignición. Si hay suficiente combustible en el interior del compartimento, cuando todo él llegue a estar involucrado, la temperatura de humos ascenderá a la temperatura de llama (1000°C). La tasa de combustión, el calor producido y la masa de humos que circula saliendo del compartimento dependen ahora de la geometría de la abertura, es decir, el incendio ha alcanzado el estado de ventilación-controlada.

La transición desde el incendio en estado capa-combustible controlada con un estrato de humos a 600°C a la condición de ventilación controlada es muy rápida y se conoce como "combustión súbita generalizada o flashover".

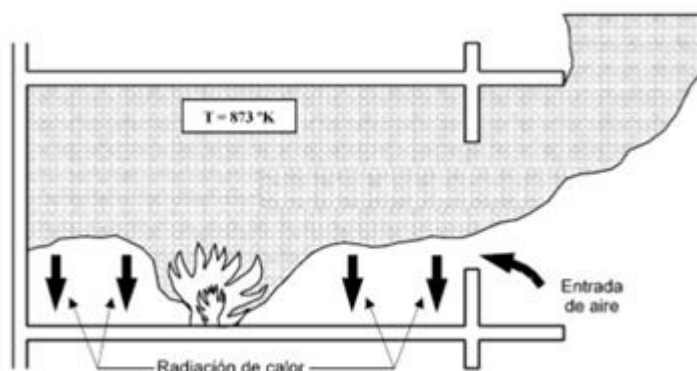


Figura 2.2 Inicio de la "combustión súbita generalizada o flashover" [1].

En un determinado incendio de interior, el tamaño de las aberturas de ventilación, la altura de techo, el volumen de la habitación, la cantidad de combustible y la distribución de éste respecto al techo y las paredes son factores fundamentales que afectan a la velocidad de propagación del fuego en el recinto. De esta forma la magnitud o tamaño de un fuego susceptible de dar lugar a una combustión súbita generalizada, es una función de la ventilación que pasa a través de las aberturas disponibles.

Siendo A_v el área de la superficie de ventilación y H_v la altura de la misma, se define el factor de ventilación F como el producto del área de ventilación por la raíz cuadrada de la altura de la misma.

$$F = A_v \cdot \sqrt{H_v} \quad (2.1)$$

El calor liberado Q de una combustión súbita generalizada puede calcularse por la fórmula:

$$Q = 378 \cdot F + 7,8 \cdot A_T \quad (2.2)$$

Siendo A_T la superficie total de paredes, suelo y techo.

2.2 Movimiento y control de humos en edificios

La producción de humos en el incendio de un edificio varía dependiendo tanto de la cantidad y el tipo de los elementos combustibles que existan en su interior como de la ventilación a que se vea sometido el fuego.

Cuando las aberturas de ventilación son pequeñas, la velocidad de combustión está controlada por la cantidad de aire que fluye a través de las aberturas independientemente de la superficie total de combustible. Esta velocidad de combustión viene dada por la siguiente expresión [5]:

$$t = \frac{P}{6A\sqrt{H}} \cdot \alpha \quad (2.3)$$

Siendo:

t el tiempo en minutos

P la carga de combustible en kg

α la fracción de combustible que se quema que suele considerarse de 2/3

Cuando el área de las aberturas es grande en relación a la superficie del suelo, la tasa de combustión no es proporcional a la cantidad de aire suministrado a la fuente del incendio sino al tipo de combustible y a la disposición de los materiales combustibles en el recinto.

La circulación natural del aire en el interior de los edificios se ve influenciada por diversos factores. Las presiones y la fuerza ascendente creadas por el calor que genera el foco de incendio dan lugar a movimientos que resultan modificados por diversos factores como el denominado efecto de chimenea, la presión del viento, las formas geométricas del edificio y sus barreras o los métodos de ventilación.

El humo producido en el incendio de una edificación está formado por una mezcla de vapores y gases calientes generados por la combustión, una serie de materiales descompuestos y condensados sin quemar y un determinado volumen de aire que se ve arrastrado por los gases. El volumen total de humo variará según los incendios, los materiales afectados y la forma en que éstos materiales ardan. En líneas generales se puede considerar que cuanto mayor sea la magnitud del incendio, mayor será también la cantidad de humo generado.

El fuego da lugar a la producción de llamas, calor, sólidos sin quemar y gases. Considerando que la densidad de todos estos productos de combustión es inferior a la del aire circundante, su empuje ascendente los desplaza hacia arriba. Una parte de este aire es arrastrado por el chorro ascendente y se mezcla con él constituyendo una parte inseparable del humo.

Comparado con el volumen del aire arrastrado por la mezcla total, el volumen de los productos de combustión es relativamente pequeño. Por lo tanto el humo producido por el incendio será igual aproximadamente al volumen del aire arrastrado por el chorro ascendente de los productos de combustión.

Según los estudios realizados por Butcher y Parnell, el volumen de aire arrastrado depende de los siguientes factores [5]:

- el perímetro de fuego
- el calor producido por el fuego
- la altura libre de humos Y

El caudal de humo producido se determina a través de la siguiente expresión:

$$M = 0,096 \cdot W_f \cdot \rho_{amb} \cdot Y^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{\frac{g \cdot T_{amb}}{T}} \quad (2.4)$$

Siendo

M: caudal de humo producido [kg/seg]

W_f : Perímetro del fuego [m]

ρ_{amb} : Densidad del aire ambiente [kg/m³]

Y: altura libre de humos [m]

g: aceleración de la gravedad [m/seg²]

T_{amb} : temperatura absoluta del aire ambiente [°K]

T: temperatura absoluta de la llama del chorro de humo [°K]

Considerando los valores de los siguientes parámetros que se suelen considerar:

$\rho_{amb}=1,22$ kg/m³ a 17°C

$T_{amb}=290$ °K

T=1100°K

g=9,81 m/seg²

La expresión anterior queda reducida a

$$M = 0,188 \cdot W_f \cdot Y^{\frac{3}{2}} \quad (2.5)$$

De aquí se concluye que la producción de humo depende del perímetro de fuego y la altura libre de humos. A continuación se muestra la evolución de la producción de humo en función de la altura libre.

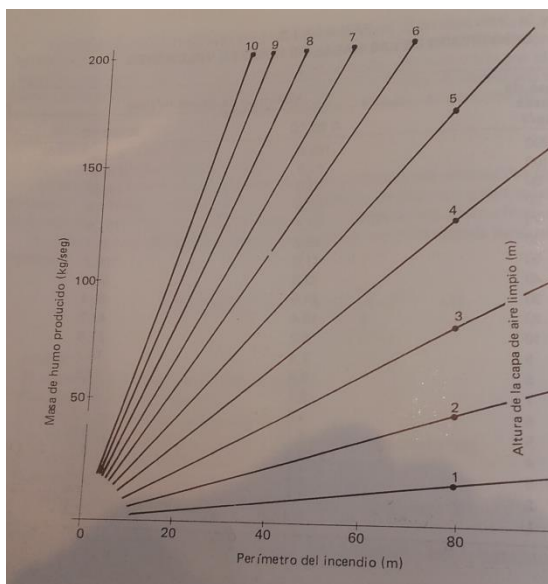


Figura 2.3 Evolución de la producción de humo en función de la altura libre Y [5].

2.2.1 Sistema de evacuación de humo y calor.

Los sistemas de control de temperatura y evacuación de humo (SCTEH) tienen los objetivos siguientes [1], [5]:

- Eliminar los humos de las vías de evacuación y garantizar una evacuación segura. Ya sea reduciendo o impidiendo la penetración de los humos o bien generando en

determinadas zonas del recorrido una capa libre de humos Y, al mantener los humos por encima de una determinada cota segura.

- Controlar la potencia térmica de los humos, reduciendo el riesgo de la combustión súbita generalizada (flashover) y el desarrollo total del incendio.
- Reducir el efecto térmico sobre los elementos de la estructura portante del edificio así como sobre otros componentes de la construcción.
- Reducir los daños producidos por los gases de combustión y por la descomposición térmica de productos y proteger las instalaciones, los medios de producción y el almacenaje.
- Eliminar los humos de las zonas próximas y alejadas al fuego y facilitar la actuación de los servicios de extinción.

Las instalaciones que controlan los efectos del calor y el humo deben facilitar la extracción de humo y la admisión de aire del exterior para asegurar que la afectación por el humo sea menor y facilitar la evacuación, permitiendo la entrada de los bomberos.

[8] Los fundamentos básicos del SCTEH se basan en la tendencia ascensional derivada de la menor densidad y mayor temperatura de los humos (efecto chimenea). En ausencia de una extracción de humos o sistema de exutorios todo el sector de incendio se llenaría con humo y gases calientes. Tanto la instalación de exutorios como la subdivisión de la cubierta en compartimentos como las cortinas de humos facilitan que en caso de incendio la capa de humos y gases calientes permanezcan dentro de unos límites controlados.

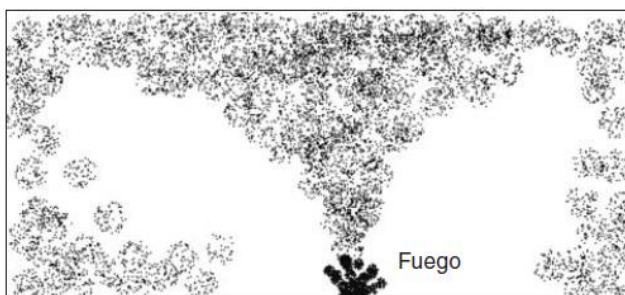


Figura 2.4 Propagación de humos y gases de combustión en una nave sin exutorios donde se empieza a producir una inundación de humos [8].

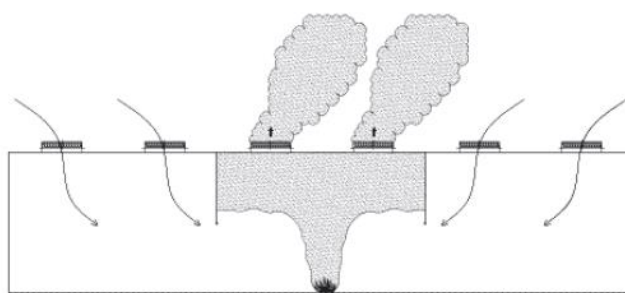


Figura 2.5 Esquema de funcionamiento de un SCTEH. Cortinas canalizadoras, exutorios de evacuación de humos y exutorios de entrada de aire.

En los edificios la norma UNE23585 establece una altura mínima libre de humos Y para las rutas de evacuación que según las características de uso suelen fijarse (2,5-3metros).

En el control de la temperatura interior los SCTEH se basan en que el calor que se desprende del incendio se transmite al ambiente interior por radiación, conducción y convección, siendo la última la de mayor peso. La salida al exterior de los humos a través de

los exutorios produce una disipación térmica de manera que se ayuda a proteger los elementos estructurales de las altas temperaturas.

2.2.2 Componentes del SCTEH

Los elementos básicos que componen el SCTEH son:

- Las cortinas o barreras: En unos casos actúan como elementos de sectorización que situados en el techo logran retener los humos formando un depósito de humos (cortinas de humos) y otros como elementos canalizadores que permiten dirigir la salida del humo y los gases de combustión. Las cortinas o barreras pueden ser tanto fijas como móviles o también rígidas o flexibles.

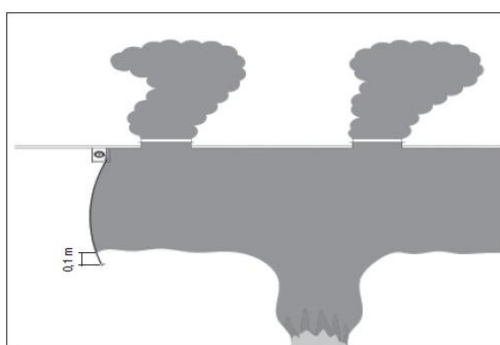


Figura 2.6 Cortina de humo.

- Los exutorios: Son aireadores naturales de humos y calor y pueden ser de tres tipos fundamentalmente. De claraboya, lamas o de compuerta.



Figura 2.7 Exutorio de claraboya.



Figura 2.8 Exutorio de lamas.



Figura 2.9 Exutorio de compuerta.

- Las conexiones y elementos de control: Existentes en toda instalación automatizada.

2.2.3 Medios de activación del SCTEH

Dependiendo de los objetivos principales definidos en el apartado 2.2.1, la activación del SCTEH (control manual o automático) será preferiblemente tal y como se indica a continuación [1]:

- SCTEH para protección de medios de evacuación (seguridad de vidas) se activará por sistemas de detección de humos. Se asegurará que la activación de los distintos componentes del SCTEH no pueda ser dominado por el control manual salvo en el caso de que el sistema de entrada de aire de reposición y el sistema de extracción sean ambos naturales (si uno de ellos u ambos son de tipo mecánico, no se permitirá el dominio del control manual).
- SCTEH para protección de las propiedades se activará por un mecanismo de flujo de agua, que funcione a una presión de flujo característica equivalente a la del menor flujo a través de un rociador simple, o por liberación manual o por ambos métodos.
- SCTEH para facilitar las operaciones de lucha contra incendios se activará por un sistema de detección de incendios, o por un mecanismo de flujo de agua actuando a una presión característica de flujo equivalente a la del menor flujo a través de un rociador simple, por liberación manual o por una combinación de estos métodos.

En locales de riesgo alto cualquier SCTEH no será de activación automática sino que será operado por los servicios de incendios a su discreción. Los bomberos podrán activar el sistema desde un lugar seguro y los medios de evacuación se protegerán por métodos convencionales (por ejemplo la compartimentación, limitación de recorridos de evacuación y rociadores).

Si hay activación no automática del SCTEH, el control manual solamente será accesible desde fuera del edificio o desde una habitación protegida dentro del edificio que esté alejada del compartimento para el que está previsto el SCTEH y que no pueda ser afectado por la inflamación general.

La activación automática deberá poner en marcha el SCTEH completo en un máximo de 60 segundos desde la recepción de la señal de comando.

La alimentación de energía del sistema contará con una función de actuación sobre fallo-seguro, con alimentación de energía auxiliar o de remplazamiento y protección de componentes.

La secuencia de activación de los mecanismos que componen el SCTEH no afectará adversamente al éxito de funcionamiento de cualquiera de sus dispositivos.

2.2.4 El efecto vórtice, plugholing o desagüe.

En la realización del cálculo de número de exutorios es importante verificar el parámetro del mínimo número de puntos de extracción de humo. Este valor es importante ya que cuando el espesor de la capa de humo bajo un exutorio es igual o inferior a un determinado valor, una velocidad de extracción demasiado elevada a través de la abertura puede provocar la extracción de aire procedente de la capa fría existente por debajo de la capa de humos tal y como puede observarse en la siguiente figura:

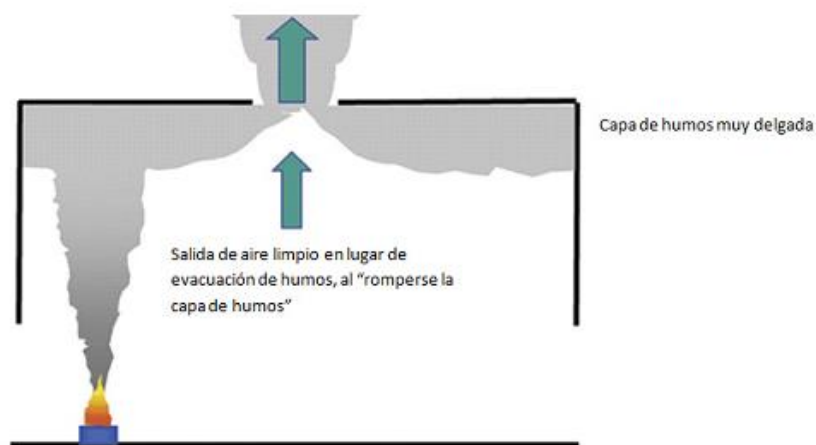


Figura 2.10 Efecto vórtice, plugholing o desagüe [13].

Este es el efecto conocido como plugholing, vórtice o desagüe y para comprobar que éste no se produzca la norma recomienda el cálculo del valor crítico de extracción M_{crit} .

El número requerido de orificios de extracción o exutorios debe ser mayor o igual al caudal másico de humos dividido por esa M_{crit} .

$$N \geq \frac{M_1}{M_{crit}} \quad (2.6)$$

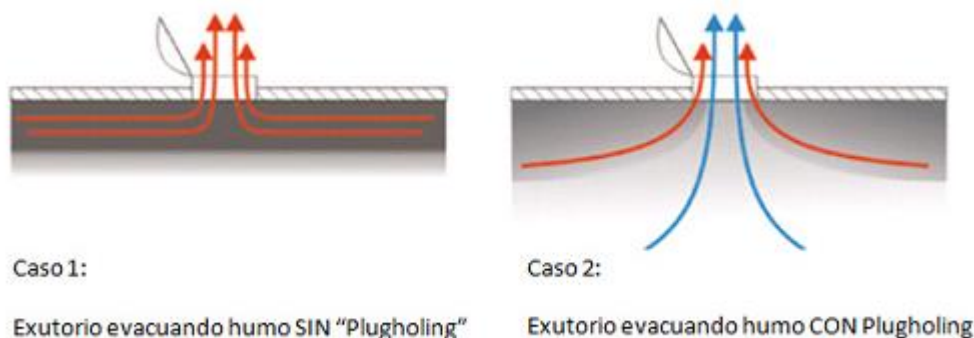


Figura 2.11 Exutorio evacuando con efecto plugholing y sin dicho efecto [13].

2.3 Ámbito de aplicación de la norma UNE23585

En el ANEXO II del Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales [2] que trata los requisitos constructivos de los establecimientos industriales según su configuración, ubicación y nivel de riesgo intrínseco, en el punto 7.1 se indican los requerimientos de obligatoriedad de la instalación de Sistemas de Control de Temperatura y Evacuación de Humos. Los criterios indicados son los siguientes:

1. Sectores con actividades de producción:
 - De riesgo intrínseco medio y superficie construida $\geq 2000\text{m}^2$
 - De riesgo intrínseco alto y superficie construida $\geq 1000\text{m}^2$
2. Sectores con actividades de almacenamiento
 - De riesgo intrínseco medio y superficie construida $\geq 1000\text{m}^2$
 - De riesgo intrínseco alto y superficie construida $\geq 800\text{m}^2$

Asimismo se indica que para naves de menor superficie se podrán aplicar los siguientes valores mínimos de la superficie aerodinámica de evacuación de humos.

1. Los sectores de incendio con actividades de producción, montaje, transformación, reparación y otras distintas al almacenamiento si:
 - Están situados en planta bajo rasante y su nivel de riesgo intrínseco es alto o medio, a razón de un mínimo de superficie aerodinámica de $0,5 \text{ m}^2/150 \text{ m}^2$ o fracción.
 - Están situados en cualquier planta sobre rasante y su nivel de riesgo intrínseco es alto o medio, a razón de un mínimo de superficie aerodinámica de $0,5 \text{ m}^2 /200 \text{ m}^2$, o fracción.
2. Los sectores de incendio con actividades de almacenamiento si:
 - Están situados en planta bajo rasante y su nivel de riesgo intrínseco es alto o medio, a razón de un mínimo de superficie aerodinámica de $0,5 \text{ m}^2/100\text{m}^2$ o fracción.
 - Están situados en cualquier planta sobre rasante y su nivel de riesgo intrínseco es alto o medio, a razón de un mínimo de superficie aerodinámica de $0,5 \text{ m}^2/150 \text{ m}^2$, o fracción.

En el ANEXO IV del Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales aparece la norma UNE 23585 dentro de la relación de normas UNE de obligado cumplimiento.

2.4 Otras normativas y reglamentación

Existen dos vertientes normativas que condicionan el uso de los sistemas de control y evacuación de humo:

- Normativas que marcan directrices sobre el uso y/o aplicación de estos sistemas, entre las que encontramos:
 - Norma Básica de la Edificación (NBE-CPI/96: Condiciones de Protección Contra Incendios en los Edificios) Real Decreto 2177/1996, de 4 de Octubre.
 - Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales. Real Decreto 786/2001, de 6 de Julio.
 - Normativas Autonómicas y diversas ordenanzas municipales.

- Normativas de adecuación y requerimientos a los sistemas y/o productos utilizados, métodos de cálculo y diseño para proyectar un sistema de control y evacuación de calor y humos, entre las que encontramos:
 - UNE-EN 12101-3 (2002): Sistemas de control de humo y calor - Parte 3: Especificaciones para aireadores extractores de humos y calor mecánicos.
 - Norma Belga NBN S 21-208-1 y 2 (1995): Protección de los edificios contra incendios - Concepción y cálculo de las instalaciones de Evacuación de Humos y Calor (EHC) - Parte 1: Grandes espacios interiores no separados por tabiques sobre un mismo nivel. (IBN, Instituto Belga de Normalización).
 - CI/SIB (K23) 1994: Design approaches for smoke control in atrium buildings. (U.K.)

Dentro de este último grupo entraría la norma UNE 23585:2004 [1].

En el presente trabajo se estudia y analiza dicha norma aplicada a dos casos tipo, que se desarrollarán en el siguiente apartado. Dicha norma guarda una estrecha relación con la citada norma belga NBN S21-208-1 Protection incendie dans les bâtiments. Conception et calcul des installations d'evacuation de fumées et de chaleur.

3 Metodología de aplicación de la norma UNE23585

A continuación se van a mostrar la metodología de aplicación según dos casos distintos correspondientes a la nave industrial con actividad principal de almacenamiento o con otras actividades distintas al almacenamiento. [1].

3.1 Nave industrial de una planta con actividad principal de almacenamiento

A partir de los datos de la configuración de la zona de almacenamiento de la nave industrial se obtiene la superficie aerodinámica de los exutorios tal y como se indica a continuación.

Datos input:

- Ancho estanterías de almacenamiento w [m]
- Alto estanterías de almacenamiento h [m]
- Ancho de pasillos [m]
- Existencia de rociadores instalados y tipo en el caso afirmativo [m]
- Altura de la nave [m]
- Tipo de embalajes del material almacenado
- Material almacenado
- Selección de exutorio comercial a instalar

Datos output:

- Categorías de almacenaje
- Altura crítica de almacenaje [m]
- Ancho del incendio en la base [m]
- Superficie del incendio A_f [m²]
- Perímetro del incendio W_f [m]
- Potencia calorífica del incendio q_f [kW/m²]
- Altura libre de humos Y [m]
- Espesor de la capa de humos d_1 [m]
- Caudal másico de humos M_1 [kg*s]
- Flujo de calor por convección Q_1 [kW]
- Temperatura media de los gases por encima de la del ambiente θ_l [K]
- Promedio de temperatura absoluta de los gases T_1 [K]
- Superficie aerodinámica ($AvCv$) de los exutorios [m²]
- Número de exutorios a instalar
- Valor crítico de extracción [kg/s]
- Número mínimo de exutorios para que no se produzca efecto vórtice
- ¿Es aceptable el cálculo con la marca y modelo de exutorio seleccionado?

3.1.1 Categorías de almacenaje.

Dependiendo del tipo de material almacenado (clasificación de los riesgos página 149 del anexo M) y el tipo de embalaje a través de la tabla 1 del anexo M de la misma norma, se obtiene la categoría de almacenaje.

Tabla 1
Categorías de almacenaje

Embalajes		Materiales almacenados			
		S1	S2	S3	S4
C1	Embalajes incombustibles, eventualmente colocados sobre palets de madera	SC1	SC2	SC3	SC4
C2	Embalajes de papel, cartón, cartón ondulado, madera o materias plásticas, excluyendo las espumas plastificadas puestas eventualmente sobre palets de madera	SC2	SC2	SC3	SC4
C3	Todos los embalajes no incluidos en C1 o C2	SC3	SC3	SC3	SC4

Figura 3.1 Categorías de almacenaje [1].

3.1.2 Altura crítica de almacenaje.

La altura crítica de almacenaje nos diferenciará el tipo de almacenaje. Si éste supera la altura crítica, estaremos tratando el almacenaje en altura y por el contrario si no se supera, se considera un tipo de almacenaje bajo. Para hallar la altura crítica de almacenaje se tendrá en cuenta la clasificación de los riesgos dispuestos en la página 149 del anexo M de la norma estudiada [1].

Tabla 2
Categorías de uso y altura crítica de almacenaje

Categorías de uso	Espacios a proteger				Altura crítica de almacenaje
	Riesgo Ligero	Riesgo Normal	Riesgo elevado		
			Fabricación	Almacenaje (tabla 1)	
Categoría 1	L	N1		SC1	4,0 m
Categoría 2		N2		SC2	3,0 m
Categoría 3		N3		SC3	2,1 m
Categoría 4		N4	D1 a D4	SC4	1,2 m

Figura 3.2 Categorías de uso y altura crítica de almacenaje [1].

3.1.3 Dimensiones del incendio.

En el caso de almacenajes de gran altura en que la altura de almacenaje es superior a la crítica determinada en el apartado anterior, se considera que es muy poco probable que la instalación no tenga rociadores automáticos. En dicho caso se recomendaría el diseño de la evacuación de humos suficiente para permitir la evacuación de ocupantes y en lo que fuera posible la intervención de los servicios de extinción. El caso más significativo es el de la existencia de rociadores bajo la cubierta y entre estanterías. La presencia de rociadores supone la disminución de las dimensiones del fuego.

Las dimensiones de fuego que nos interesa obtener son el perímetro de incendio W_f y la superficie A_f y para ello la norma recomienda en su anexo M tomar las siguientes dimensiones de incendio para espacios sin almacenaje o con bajo almacenaje.

Tabla 3
Dimensiones normalizadas de incendio
(espacios sin almacenaje o de poca altura con estanterías)

Categorías de usos (tabla 2)	Dimensiones del incendio	Perímetro W_f	Superficie A_f
Categoría 1	3,0 m × 3,0 m	12 m	9 m ²
Categoría 2	4,5 m × 4,5 m	18 m	20 m ²
Categoría 3	6,0 m × 6,0 m	24 m	36 m ²
Categoría 4	9,0 m × 9,0 m	36 m	81 m ²

Figura 3.3 Dimensiones normalizadas de incendio espacio sin almacenaje/poca altura [1].

Y en casos de almacenajes de gran altura la norma remite a la siguiente tabla del mismo anexo.

Tabla M.1
Dimensiones normalizadas del incendio
(Almacenaje con estanterías, con rociadores)

Anchura del incendio en la base (véase la figura M.1)	= anchura w de las estanterías	
Ensanche del incendio en altura (véase la figura M.1)	$x = 2/3 \cdot h \cdot \text{tangente } 15^\circ = 0,18 h$ (metros)	
	Rociadores en techo	Rociadores en techo y en Niveles Intermedios
Superficie del incendio (m ²) (min. 9 m ² , máx. 81 m ²)	$A_f = 4/3 h (w + x)$	$A_f = 2/3 h (w + x)$
Ensanche del incendio en altura (véase la figura M.1)	$W_f = 2 (w + 4x)$	$W_f = w + 4x$

Si el almacenaje no dispone de rociadores automáticos, aunque el incendio corre el riesgo de una combustión generalizada, si se especifica la instalación de un sistema de evacuación de humos para facilitar la evacuación y la acción de los servicios de extinción en las etapas iniciales del incendio, considerar:

Perímetro del incendio: $W_f = 36$ m

Superficie del incendio: $A_f = 9 \cdot 9 = 81$ m²

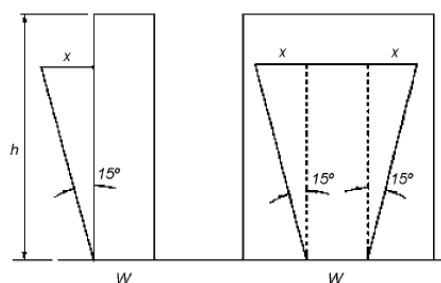


Fig. M.1

Figura 3.4 Dimensiones normalizadas de incendio espacios almacenaje de altura [1].

3.1.4 Potencia calorífica del incendio q_f

Dicho parámetro se especifica en el anexo A de la norma en el que se definen los valores de calor emitido de numerosos materiales y se especifican unos valores tipo según la altura del almacenamiento y si la instalación dispone o no de rociadores. Los valores recomendados son los siguientes:

- Para incendios con rociadores:

$$q_{f(\text{low})} = 250 \text{ kW / m}^2$$

$$q_{f(\text{high})} = 625 \text{ kW / m}^2$$

- Para incendios sin rociadores:

- Conjuntos de combustible hasta 2 m de altura:

$$q_{f(\text{low})} = 250 \text{ kW / m}^2$$

$$q_{f(\text{high})} = 1250 \text{ kW / m}^2$$

- Conjuntos de combustible entre 2 m y 4 m de altura:

$$q_{f(\text{low})} = 250 \cdot (h_f - 1) \text{ kW / m}^2$$

$$q_{f(\text{high})} = 1250 \cdot (h_f - 1) \text{ kW / m}^2$$

Figura 3.5 Potencia calorífica del incendio [1].

Siendo h_f la altura del conjunto de combustible medida desde la parte más baja hasta la parte más alta.

Tanto en espacios con almacenaje como en espacios sin almacenaje, se ha considerado el valor del q high correspondiente (criterio conservador).

3.1.5 Altura libre de humos Y

La altura libre de humos se refiere a la altura de aire limpio debajo de la capa de humos flotante del depósito de humos es decir, la altura desde la base del incendio a la capa de humos.

Tal y como se indica en el punto 6.2.2 apartado i de la norma [1], la altura de ascenso hasta la base de la capa de humos en el depósito de humos tendrá previstos al menos 0,5m de altura limpia de humos por encima de la parte superior de los géneros almacenados. Por dicho motivo se considera un valor de 0,5+la altura de las estanterías de almacenamiento.

3.1.6 Altura bajo techo h_c

Resulta la altura media al techo por encima del suelo.

Tanto en el software diseñado como en el uso de la metodología descrita en este trabajo, la altura bajo techo se considera como una altura media, es decir, si la parte de la cubierta más alta de la nave industrial son 10 metros y la parte más baja de la cubierta son 9 metros se emplea una altura bajo techo h_c de 9,5 metros.

3.1.7 Espesor de la capa de humos d_1

El espesor de la capa de humos será la altura bajo techo menos el espacio libre de humos Y .

3.1.8 Caudal másico de humos M1

En el anexo B de la norma [1] apartado B.5, se define un método de cálculo aproximado para obtener el caudal másico de humos por encima de incendios en almacenamientos en altura. El origen de la expresión del caudal másico de humos se encuentra explicado en el apartado 2.2 de movimiento y control de humos en edificios.

$$Mf = Ce \cdot P \cdot Y^{3/2} \quad (3.1)$$

Siendo,

Ce: Coeficiente de caudal de entrada para un gran penacho de humos de incendio $[\frac{kg}{m^2 \cdot s}]$

Se indica un Ce=0,19 para recintos de gran-espacio donde el techo está muy por encima del incendio y un Ce=0,337 para habitaciones de pequeño-espacio con aberturas de aireación predominantemente al lado del incendio. Siguiendo el caso tipo de una nave industrial de una planta se tomará el valor de 0,19 (criterio recomendado- que la anchura de la mayor dimensión del espacio sea mayor o igual a 5 veces el diámetro del fuego). Para hallar de donde viene el Ce=0,16 ver ecuación (2.4) del apartado 2.2.

P: Perímetro del incendio en metros [m]

Y: altura desde la base del incendio hasta la capa de humos [m]

No hay información de cómo afectarían los rociadores a la ecuación indicada con lo que se recomienda usar dicha ecuación sin modificar, de manera conservadora.

3.1.9 Flujo de calor por convección Qf

En el apartado 6.2 de la norma [1] en el que se trata el penacho que asciende directamente desde el incendio hasta el depósito de humos, apartado 6.2.2.d (página 35) se indica que el flujo de calor convectivo Qf transportado por los gases de los humos que penetran en el depósito de humos, se tomará como 0,8 veces el valor del calor emitido ($q_f \cdot A_f$) predeterminado para el modelo de incendio de diseño.

3.1.10 Temperatura media de los gases por encima de la del ambiente de la capa flotante de humos en un depósito de humos θ_1

En el anexo F de la norma [1] (página 120) se define la temperatura de la capa de humos por encima de la temperatura ambiente con la siguiente expresión:

$$\theta_1 = \frac{Q_1}{c \cdot M_1} \quad (3.2)$$

Siendo,

Q_1 : Flujo de calor convectivo en los gases del humo en la capa flotante del depósito de humos [kW].

c: Calor específico del aire a presión constante $[\frac{kJ}{kg \cdot K}]$

M_1 : Valor de la masa circulante de gases de humo que entra en la capa flotante del depósito de humos [kg/s]

3.1.11 Promedio de temperatura absoluta en la capa flotante de un depósito de humos T₁

Se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$T_1 = T_{amb} + \theta_1 \quad (3.3)$$

3.1.12 Superficie aerodinámica de los exutorios AvCv

La superficie aerodinámica de los exutorios se define en el anexo F de la norma [1] en el punto F.5. Se indica que la superficie aerodinámica total libre de aireadores necesaria viene dada por la siguiente ecuación:

$$A_{vtot} \cdot C_v = \frac{M_1 \cdot T_1}{\left[2 \cdot \rho_{amb}^2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb} - \frac{M_1^2 \cdot T_1 \cdot T_{amb}}{[A_i \cdot C_i]^2} \right]^2} \quad (3.4)$$

Siendo,

A_{vtot} : superficie geométrica total libre de todos los aireadores de extracción de humos en un depósito de humos [m²].

C_v : Coeficiente de descarga (es decir coeficiente de funcionamiento) de un aireador natural .

M_1 : Valor de la masa circulante de gases de humo que entra en la capa flotante del depósito de humos[kg/seg].

T_1 : Promedio de temperatura absoluta en la capa flotante de un depósito de humos [K].

ρ_{amb} : Densidad del aire a temperatura ambiente [kg/m³].

g : gravedad [m/seg²].

d_1 : Profundidad de la capa flotante de humos en un depósito de humos, medida desde el techo hasta la base visible de la capa de humos [m].

θ_1 : Temperatura media de los gases por encima de la del ambiente de la capa flotante de humos en un depósito de humos [°C].

T_{amb} : Temperatura ambiente absoluta [K].

A_i : Superficie geométrica total libre de todas las entradas de aire[m²].

C_i : Coeficiente de descarga (es decir coeficiente de funcionamiento) de una abertura de entrada de aire de alimentación.

Con el fin de poder emplear la fórmula descrita para determinar la superficie aerodinámica de los exutorios necesaria en la nave, se modifica dicha expresión por la siguiente equivalente:

$$A_{vtot} \cdot C_v = \frac{M_1}{\rho_{amb}} \cdot \left(\frac{T_1^2 + \left(\frac{A_{vtot} \cdot C_v}{A_i \cdot C_i} \right)^2 \cdot T_{amb} \cdot T_1}{2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.5)$$

Esta expresión permite que a pesar de no conocer los valores de las aberturas de entrada de aire de alimentación $A_i \cdot C_i$ se pueda aplicar considerando la relación entre la superficie aerodinámica de los exutorios (aire de salida) con respecto a la de alimentación (aire de entrada). En los cálculos realizados por el programa diseñado se ha considerado una relación de 1.

$$\frac{A_{vtot} \cdot C_v}{A_i \cdot C_i} = 1$$

Por tanto la expresión final utilizada es la siguiente:

$$A_{vtot} \cdot C_v = \frac{M_1}{\rho_{amb}} \cdot \left(\frac{T_1^2 + T_{amb} \cdot T_1}{2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.6)$$

Demostración: A continuación se detalla la equivalencia de las dos ecuaciones indicadas:

$$A_{vtot} \cdot C_v = \frac{M_1 \cdot T_1}{\left[2 \cdot \rho_{amb}^2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb} - \frac{M_1^2 \cdot T_1 \cdot T_{amb}}{[A_i \cdot C_i]^2} \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (3.4)$$

$$A_{vtot} \cdot C_v = \frac{M_1 \cdot T_1}{\left[\frac{2 \cdot \rho_{amb}^2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb} \cdot [A_i \cdot C_i]^2 - M_1^2 \cdot T_1 \cdot T_{amb}}{[A_i \cdot C_i]^2} \right]^{\frac{1}{2}}}$$

$$(A_{vtot} \cdot C_v)^2 = \frac{M_1^2 \cdot T_1^2 \cdot [A_i \cdot C_i]^2}{2 \cdot \rho_{amb}^2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb} \cdot [A_i \cdot C_i]^2 - M_1^2 \cdot T_1 \cdot T_{amb}}$$

$$\begin{aligned} 2 \cdot \rho_{amb}^2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb} \cdot [A_i \cdot C_i]^2 \cdot (A_{vtot} \cdot C_v)^2 - M_1^2 \cdot T_1 \cdot T_{amb} \cdot (A_{vtot} \cdot C_v)^2 \\ = M_1^2 \cdot T_1^2 \cdot [A_i \cdot C_i]^2 \end{aligned}$$

Si dividimos por $[A_i \cdot C_i]^2$ en cada elemento de la ecuación:

$$2 \cdot \rho_{amb}^2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb} \cdot (A_{vtot} \cdot C_v)^2 - M_1^2 \cdot T_1 \cdot T_{amb} \cdot \frac{(A_{vtot} \cdot C_v)^2}{[A_i \cdot C_i]^2} = M_1^2 \cdot T_1^2$$

Reorganizando:

$$M_1^2 \cdot T_1^2 + M_1^2 \cdot T_1 \cdot T_{amb} \cdot \frac{(A_{vtot} \cdot C_v)^2}{[A_i \cdot C_i]^2} = 2 \cdot \rho_{amb}^2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb} \cdot (A_{vtot} \cdot C_v)^2$$

Y despejando $(A_{vtot} \cdot C_v)^2$:

$$(A_{vtot} \cdot C_v)^2 = \frac{M_1^2 \cdot T_1^2 + M_1^2 \cdot T_1 \cdot T_{amb} \cdot \frac{(A_{vtot} \cdot C_v)^2}{[A_i \cdot C_i]^2}}{2 \cdot \rho_{amb}^2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb}}$$

$$(A_{vtot} \cdot C_v)^2 = \frac{M_1^2 \cdot \left(T_1^2 + T_1 \cdot T_{amb} \cdot \frac{(A_{vtot} \cdot C_v)^2}{[A_i \cdot C_i]^2} \right)}{\rho_{amb}^2 \cdot 2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb}}$$

Obteniendo finalmente:

$$A_{vtot} \cdot C_v = \frac{M_1}{\rho_{amb}} \cdot \left(\frac{T_1^2 + \left(\frac{A_{vtot} \cdot C_v}{A_i \cdot C_i} \right)^2 \cdot T_{amb} \cdot T_1}{2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.5)$$

3.1.13 Número de exutorios a instalar N

Una vez obtenida la superficie aerodinámica se puede obtener el número de exutorios a instalar dividiendo la AvCv por la superficie aerodinámica del exutorio comercial seleccionado. Redondeando al alza obtenemos el número de exutorios a instalar pero éste número no puede utilizarse directamente sino que debe realizarse una comprobación que se define en los 3 subapartados posteriores y que consiste en comprobar que no se produzca el efecto vórtice (para mayor información ver apartado 2.2.3).

3.1.14 Valor crítico de extracción Mcrit

Para comprobar que no se produzca el efecto vórtice (apartado 2.2.3) con el número de exutorios obtenidos la norma recomienda calcular el valor crítico de extracción Mcrit de la siguiente forma:

$$M_{crit} = \frac{2,05 \cdot \rho_{amb} \cdot [g \cdot T_{amb} \cdot \theta_1]^{0,5} \cdot d_n^2 \cdot Dv^{0,5}}{T_1} \quad (3.6)$$

Siendo,

T_1 : Promedio de temperatura absoluta en la capa flotante de un depósito de humos [K].

ρ_{amb} : Densidad del aire a temperatura ambiente [kg/m³].

g : gravedad [m/seg²].

d_n : Profundidad de la capa de humos debajo del punto de extracción [m].

θ_1 : Temperatura media de los gases por encima de la del ambiente de la capa flotante de humos en un depósito de humos [°C].

T_{amb} : Temperatura ambiente absoluta [K].

D_v : Dimensión lineal característica del aireador (es el diámetro correspondiente al círculo de la misma superficie) [m].

3.1.15 Número mínimo de exutorios N_{min}

El número mínimo requerido de orificios de extracción o exutorios debe ser mayor o igual al caudal másico de humos del incendio dividido por el valor crítico de extracción M_{crit} .

$$N_{min} \geq \frac{M1}{M_{crit}} \quad (3.7)$$

3.1.16 Aceptación del cálculo con el exutorio comercial seleccionado

Por último se comprueba que el número de exutorios N a instalar calculado según apartado 3.1.13 cumpla con el valor obtenido del número mínimo de exutorios N_{min} . En caso afirmativo el cálculo se termina y en el caso de que no se cumpla se deberá proceder a la selección de otra marca o modelo de exutorio hasta que se cumpla este requisito.

3.2 Nave industrial de una planta con actividad principal distinta a la de almacenamiento

Datos input:

- Superficie del sector de incendio de la nave [m²]
- Altura del sector de incendio de la nave [m]
- Existencia de rociadores instalados y tipo en el caso afirmativo [m]
- Usos de la nave industrial
- Selección de exutorio comercial a instalar

Datos output:

- Categoría de uso de la nave
- Dimensiones del incendio (ancho por largo [m])
- Superficie del incendio A_f [m²]
- Perímetro del incendio W_f [m]
- Potencia calorífica del incendio q_f [kW/m²]
- Altura libre de humos Y [m]
- Altura bajo techo h_c [m]
- Espesor de la capa de humos d_1 [m]
- Caudal másico de humos M_1 [kg*s]
- Flujo de calor por convección Q_1 [kW]
- Temperatura media de los gases por encima de la del ambiente θ_l [K]
- Promedio de temperatura absoluta de los gases T_1 [K]
- Superficie aerodinámica ($AvCv$) de los exutorios [m²]
- Número de exutorios a instalar
- Valor crítico de extracción M_{crit} [kg/s]
- Número mínimo de exutorios para que no se produzca efecto vórtice
- ¿Es aceptable el cálculo con la marca y modelo de exutorio seleccionado?

3.2.1 Categorías de uso de la nave.

Dependiendo de la clase de riesgos de la nave industrial definidos en el intervalo de páginas 149-154 del anexo M [1] (ligero-L, normal-N1, N2, N3, N4, elevado-D1, D2, D3, D4), en la tabla 2 de la página 147 se definen las categorías de uso existiendo la categoría 1, 2, 3 y 4. Siendo la categoría 1 la menos restrictiva y la 4 la más restrictiva. Estas categorías nos servirán para seleccionar las dimensiones del incendio.

Tabla 1
Categorías de almacenaje

Embalajes		Materiales almacenados			
		S1	S2	S3	S4
C1	Embalajes incombustibles, eventualmente colocados sobre palets de madera	SC1	SC2	SC3	SC4
C2	Embalajes de papel, cartón, cartón ondulado, madera o materias plásticas, excluyendo las espumas plastificadas puestas eventualmente sobre palets de madera	SC2	SC2	SC3	SC4
C3	Todos los embalajes no incluidos en C1 o C2	SC3	SC3	SC3	SC4

Figura 3.6 Categorías de almacenaje [1].

3.2.2 Dimensiones del incendio, perímetro W_f y superficie A_f .

Una vez obtenida la categoría de uso de la nave podemos determinar las dimensiones de incendio en la Tabla 3 del anexo M de la página 148 de la norma [1].

Tabla 3
Dimensiones normalizadas de incendio
(espacios sin almacenaje o de poca altura con estanterías)

Categorías de usos (tabla 2)	Dimensiones del incendio	Perímetro W_f	Superficie A_f
Categoría 1	3,0 m × 3,0 m	12 m	9 m ²
Categoría 2	4,5 m × 4,5 m	18 m	20 m ²
Categoría 3	6,0 m × 6,0 m	24 m	36 m ²
Categoría 4	9,0 m × 9,0 m	36 m	81 m ²

Figura 3.7 Dimensiones normalizadas de incendio espacio sin almacenaje [1].

3.2.3 Potencia calorífica del incendio q_f

Dicho parámetro se especifica en el anexo A de la norma [1], en el que se definen los valores de calor emitido de numerosos materiales y se especifican unos valores tipo. Los valores recomendados son los siguientes:

- Para incendios con rociadores:

$$q_{f(\text{low})} = 250 \text{ kW / m}^2$$

$$q_{f(\text{high})} = 625 \text{ kW / m}^2$$

- Para incendios sin rociadores:

- Conjuntos de combustible hasta 2 m de altura:

$$q_{f(\text{low})} = 250 \text{ kW / m}^2$$

$$q_{f(\text{high})} = 1250 \text{ kW / m}^2$$

- Conjuntos de combustible entre 2 m y 4 m de altura:

$$q_{f(\text{low})} = 250 \cdot (h_f - 1) \text{ kW / m}^2$$

$$q_{f(\text{high})} = 1250 \cdot (h_f - 1) \text{ kW / m}^2$$

Figura 3.8 Potencia calorífica del incendio [1].

Tanto en espacios sin almacenaje como espacios con almacenaje se ha considerado el valor de q_{high} correspondiente (criterio conservador).

3.2.4 Altura libre de humos Y

La altura libre de humos se refiere a la altura de aire limpio debajo de la capa de humos flotante del depósito de humos es decir, la altura desde la base del incendio a la capa de humos.

Se toma un valor de 2,5 metros siguiendo las recomendaciones de la tabla 2 de la página 36 de la norma [1].

3.2.5 Altura bajo techo hc

Resulta la altura media del techo por encima del suelo.

Tanto en el software diseñado como en el uso de la metodología descrita en este trabajo, la altura bajo techo se considera como una altura media, es decir, si la parte de la cubierta más alta de la nave industrial son 10 metros y la parte más baja de la cubierta son 9 metros se emplea una altura bajo techo h_c de 9,5 metros.

3.2.6 Espesor de la capa de humos d1

El espesor de la capa de humos es la altura bajo techo menos el espacio libre de humos Y.

3.2.7 Caudal másico de humos M1

En el anexo B de la norma [1] apartado B.1, se define un método de cálculo para casos en que el penacho se encuentra por encima de un gran incendio donde:

$$Y \leq 10 \cdot Af^{0,5} \quad (3.8)$$

Cumpliendo la condición anterior la norma define el caudal másico de humos de la siguiente forma:

$$Mf = Ce \cdot P \cdot Y^{\frac{3}{2}} \quad (3.9)$$

Siendo,

Ce: Coeficiente de caudal de entrada para un gran penacho de humos de incendio $[\frac{kg}{m^2 \cdot s}]$

Se indica un Ce=0,19 para recintos de gran-espacio donde el techo está muy por encima del incendio y un Ce=0,337 para habitaciones de pequeño-espacio con aberturas de aireación predominantemente al lado del incendio. Siguiendo el caso tipo de una nave industrial de una planta se tomará el valor de 0,19 (criterio recomendado- que la anchura de la mayor dimensión del espacio sea mayor o igual a 5 veces el diámetro del fuego).

Para hallar de donde viene el Ce=0,16 ver ecuación (2.4) del apartado 2.2.

P: Perímetro del incendio en metros [m]

Y: altura desde la base del incendio hasta la capa de humos [m]

No hay información de cómo afectarían los rociadores a la ecuación indicada con lo que se recomienda usar dicha ecuación sin modificar, de manera conservadora.

3.2.8 Flujo de calor por convección Qf

En el apartado 6.2 de la norma en el que se trata el penacho que asciende directamente desde el incendio hasta el depósito de humos, apartado 6.2.2.d (página 35) se indica que el flujo de calor convectivo Qf transportado por los gases de los humos que penetran en el depósito de humos, se tomará como 0,8 veces el valor del calor emitido ($q_f \cdot A_f$) predeterminado para el modelo de incendio de diseño.

3.2.9 Temperatura media de los gases por encima de la del ambiente de la capa flotante de humos en un depósito de humos

En el anexo F de la norma [1] (página 120) se define la temperatura de la capa de humos por encima de la temperatura ambiente con la siguiente expresión:

$$\theta_1 = \frac{Q_1}{c \cdot M_1} \quad (3.10)$$

Siendo,

Q₁: Flujo de calor convectivo en los gases del humo en la capa flotante del depósito de humos [kW].

c: Calor específico del aire a presión constante $[\frac{kJ}{kg \cdot K}]$

M₁: Valor de la masa circulante de gases de humo que entra en la capa flotante del depósito de humos [kg/s]

3.2.10 Promedio de temperatura absoluta en la capa flotante de un depósito de humos T₁

Se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$T_1 = T_{amb} + \theta_1 \quad (3.11)$$

3.2.11 Superficie aerodinámica de los exutorios AvCv

La superficie aerodinámica de los exutorios se define en el anexo F de la norma en el punto F.5. Se indica que la superficie aerodinámica total libre de aireadores necesaria viene dada por la siguiente ecuación:

$$A_{vtot} \cdot C_v = \frac{M_1 \cdot T_1}{\left[2 \cdot \rho_{amb}^2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb} - \frac{M_1^2 \cdot T_1 \cdot T_{amb}}{[A_i \cdot C_i]^2} \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (3.12)$$

Siendo,

A_{vtot} : superficie geométrica total libre de todos los aireadores de extracción de humos en un depósito de humos [m²].

C_v : Coeficiente de descarga (es decir coeficiente de funcionamiento) de un aireador natural .

M_1 : Valor de la masa circulante de gases de humo que entra en la capa flotante del depósito de humos[kg/seg].

T_1 : Promedio de temperatura absoluta en la capa flotante de un depósito de humos [K].

ρ_{amb} : Densidad del aire a temperatura ambiente [kg/m³].

g : gravedad [m/seg²].

d_1 : Profundidad de la capa flotante de humos en un depósito de humos, medida desde el techo hasta la base visible de la capa de humos [m].

θ_1 : Temperatura media de los gases por encima de la del ambiente de la capa flotante de humos en un depósito de humos [°C].

T_{amb} : Temperatura ambiente absoluta [K].

A_i : Superficie geométrica total libre de todas las entradas de aire[m²].

C_i : Coeficiente de descarga (es decir coeficiente de funcionamiento) de una abertura de entrada de aire de alimentación.

Con el fin de poder emplear la fórmula descrita para determinar la superficie aerodinámica de los exutorios necesaria en la nave, se modifica dicha expresión por la siguiente equivalente:

$$A_{vtot} \cdot C_v = \frac{M_1}{\rho_{amb}} \cdot \left(\frac{T_1^2 + \left(\frac{A_{vtot} \cdot C_v}{A_i \cdot C_i} \right)^2 \cdot T_{amb} \cdot T_1}{2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.13)$$

Si se quiere consultar la demostración de la equivalencia entre las dos fórmulas ir al apartado 3.1.12 de este mismo documento.

3.2.12 Número de exutorios a instalar N

Una vez obtenida la superficie aerodinámica se puede obtener el número de exutorios a instalar dividiendo la $AvCv$ por la superficie aerodinámica del exutorio comercial seleccionado. Redondeando al alza obtenemos el número de exutorios a instalar pero éste número no puede utilizarse directamente sino que debe realizarse una comprobación que se define en los 3 subapartados posteriores y que consiste en comprobar que no se produzca el efecto vórtice (ver apartado 2.2.3).

3.2.13 Valor crítico de extracción M_{crit}

Para comprobar que no se produzca el efecto vórtice (apartado 2.2.3) con el número de exutorios obtenidos la norma recomienda calcular el valor crítico de extracción de la siguiente forma:

$$M_{crit} = \frac{2,05 \cdot \rho_{amb} \cdot [g \cdot T_{amb} \cdot \theta_1]^{0,5} \cdot d_n^2 \cdot D_v^{0,5}}{T_1} \quad (3.14)$$

Siendo,

T_1 : Promedio de temperatura absoluta en la capa flotante de un depósito de humos [K].

ρ_{amb} : Densidad del aire a temperatura ambiente [kg/m³].

g : gravedad [m/seg²].

d_n : Profundidad de la capa de humos debajo del punto de extracción [m].

θ_1 : Temperatura media de los gases por encima de la del ambiente de la capa flotante de humos en un depósito de humos [°C].

T_{amb} : Temperatura ambiente absoluta [K].

D_v : Dimensión lineal característica del aireador (es el diámetro correspondiente al círculo de la misma superficie) [m].

3.2.14 Número mínimo de exutorios N_{min}

El número mínimo requerido de orificios de extracción o exutorios debe ser mayor o igual al caudal másico de humos del incendio dividido por el valor crítico de extracción M_{crit} .

$$N_{min} \geq \frac{M_1}{M_{crit}} \quad (3.15)$$

3.2.15 Aceptación del cálculo con el exutorio comercial seleccionado

Por último se comprueba que el número de exutorios a instalar N calculado según apartado 3.1.13, cumpla con el valor obtenido del número mínimo de exutorios N_{min} . En caso afirmativo el cálculo se termina y en el caso de que no se cumpla, se deberá proceder a la selección de otra marca o modelo de exutorio hasta cumplir con dicho requisito.

4 Diseño de la aplicación informática de cálculo

Una vez estudiado el procedimiento de cálculo de los dos casos tipo, se ha procedido a implementar una aplicación que realice dichos cálculos a través de Microsoft Excel 2010 y Microsoft Visual Basic 7.0.

4.1 Descripción de la aplicación

La aplicación diseñada es capaz de calcular el número de exutorios a instalar en una edificación tipo nave de una sola planta con cualquier actividad industrial principal, incluida la de almacenamiento.

4.2 Manual de usuario

4.2.1 Pantalla de inicio

En primer lugar abrir el archivo del programa:

- SCTEH PROGRAM_TFM_1516_CARRASCO_NOGUER_RAQUEL.xlms.

Aparecerá la pantalla de inicio que se muestra a continuación:

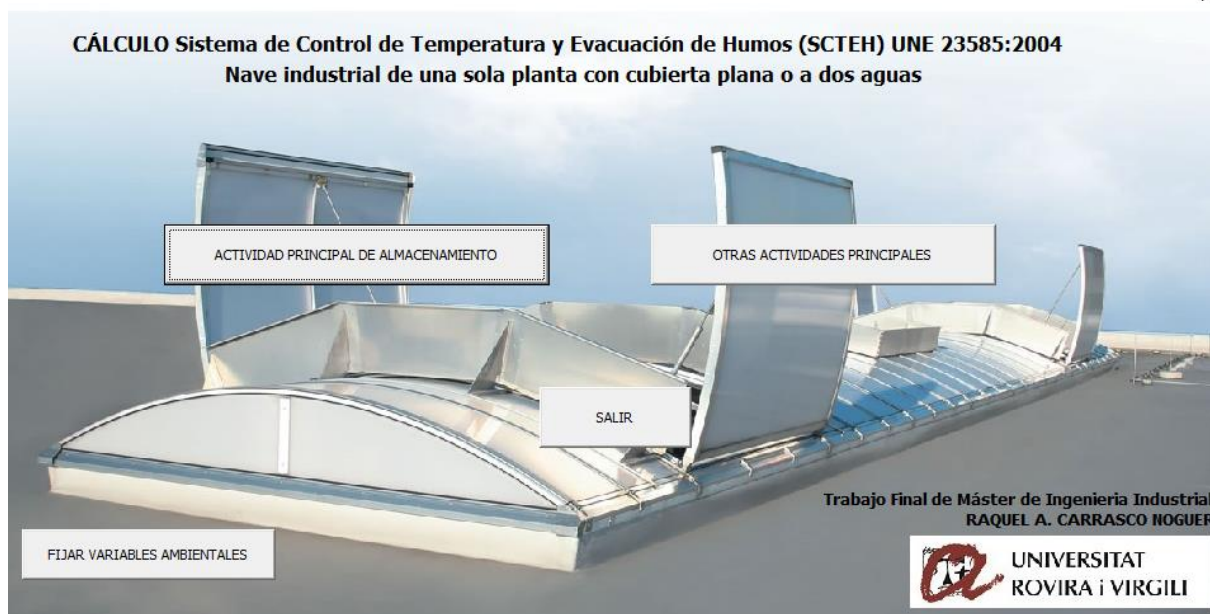


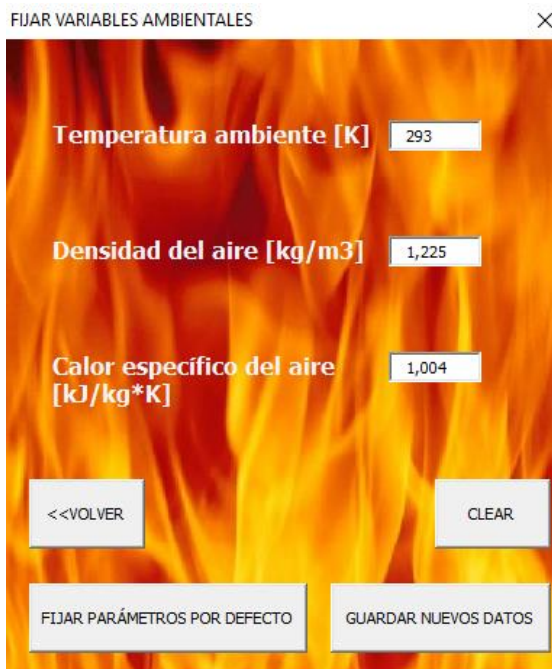
Figura 4.1 Pantalla de inicio de la aplicación.

En dicha pantalla se deberá seleccionar la actividad principal de la nave industrial que queremos calcular. Seleccionar el botón de la izquierda si la actividad principal es de almacenamiento, el derecho si la nave estudiada tiene otras actividades principales (ej. fabricación), el botón de salida en el caso de que queramos salir de la aplicación y el botón de fijar variables ambientales donde podremos fijar los datos de temperatura ambiente, densidad del aire y calor específico distintos a los que se suelen fijar por defecto en los cálculos de la aplicación.

NOTA: Los valores decimales siempre se introducirán en el programa mediante un punto ".".

4.2.2 Fijar variables ambientales

Si seleccionamos en la pantalla de inicio la opción de fijar variables ambientales, se abre una nueva ventana como la que se muestra a continuación:



FIJAR VARIABLES AMBIENTALES

Temperatura ambiente [K] 293

Densidad del aire [kg/m3] 1,225

Calor específico del aire [kJ/kg*K] 1,004

<<VOLVER CLEAR

FIJAR PARÁMETROS POR DEFECTO GUARDAR NUEVOS DATOS

Figura 4.2 Pantalla para fijar variables ambientales.

Las variables ambientales que el programa utiliza por defecto son las siguientes:

- Temperatura ambiente 293K
- Densidad del aire 1,225 kg/m³
- Calor específico del aire 1,004 kJ/(kg*K)

En el caso de que se quieran realizar los cálculos con parámetros distintos a los establecidos por defecto, clicar el botón de limpieza CLEAR que dejará las variables en blanco y añadir nuevos datos localizando el cursor en cada cuadro de texto introduciendo los datos oportunos a través del teclado. Una vez se haya introducido el valor de cada variable, clicar en el botón de GUARDAR NUEVOS DATOS. De este modo los valores de las variables introducidas quedarán almacenados y todos los cálculos que se realicen con la aplicación a partir de ese momento, se efectuarán con dichos valores hasta que no sean nuevamente modificados.

El botón de FIJAR PARÁMETROS POR DEFECTO permite con un solo clic introducir las variables ambientales por defecto sin necesidad de tener que teclearlas. Clicar dicho botón siempre que se quiera volver a los parámetros preestablecidos por defecto.

Una vez se hayan establecido los valores de las variables con las que queremos realizar los cálculos, clicar el botón de <<VOLVER para dirigirse nuevamente a la pantalla de inicio.

4.2.3 Cálculo SCTEH de una nave con actividad principal de almacenamiento

Si seleccionamos en la pantalla de inicio la opción de actividad principal de almacenamiento, se despliega una ventana con la serie de datos a introducir para que el programa pueda realizar los cálculos. Los datos a introducir son los siguientes:

- Ancho de estanterías de almacenamiento
- Alto de estanterías de almacenamiento
- Altura de la nave
- Ancho de pasillos
- Existencia de rociadores instalados y tipo en caso de existir.
- Tipo de embalajes del material almacenado.
- Materiales almacenados

Las unidades a emplear vienen indicadas al lado de la definición de cada variable y suelen emplear el Sistema Internacional.

INTRODUCCIÓN DE DATOS DE LA NAVE INDUSTRIAL CON ACTIVIDAD PRINCIPAL DE ALMACENAMIENTO

Ancho estanterías de almacenamiento w [m] Ancho de pasillos [m]

Alto estanterías de almacenamiento h [m] ¿Rociadores instalados?

Altura de la nave [m]

Tipo de embalajes

Materiales almacenados

CALCULAR AYUDA

Figura 4.3 Pantalla de introducción de datos opción actividad de almacenamiento.

En la misma pantalla de introducción de datos existe la opción de AYUDA a través del botón correspondiente. En dicho botón se definen las variables citadas anteriormente y su relación con la norma UNE23585 en los casos en que se haya considerado conveniente su indicación.

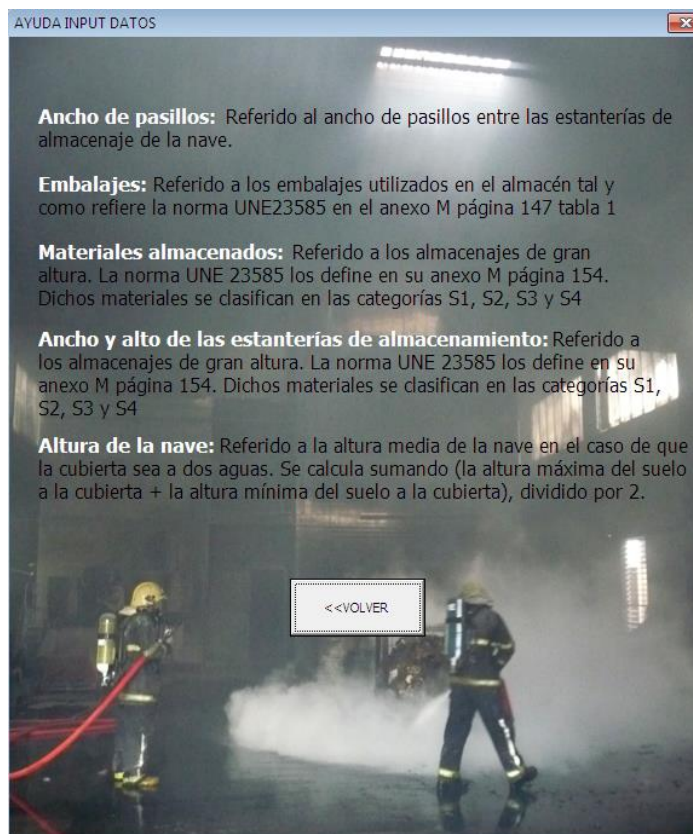


Figura 4.4 Pantalla de ayuda a input datos opción actividad de almacenamiento.

Consultada la ayuda, es posible volver a la pantalla de introducción de datos a través de un clic en el botón de VOLVER.

Una vez introducidos los datos pulsar el botón de calcular por el que se desplegará una nueva ventana que mostrará los siguientes resultados:

- Categoría de almacenaje
- Altura crítica de almacenaje
- Ancho del incendio en la base
- Superficie del incendio
- Perímetro del incendio
- Potencia calorífica del incendio
- Altura libre de humos
- Espesor de la capa de humos
- Caudal másico de humos
- Flujo de calor por convección
- Temperatura media de los gases por encima de la del ambiente
- Promedio de temperatura absoluta de los gases

De nuevo las unidades de cada variable se encuentran indicadas y suelen utilizar el Sistema Internacional.

RESULTADOS DEL CÁLCULO

Categorías de almacenaje	SC2	Espesor de la capa de humos d1 [m]	0,5
Altura crítica de almacenaje [m]	3	Caudal másico de humos M1 [kg/s]	169,51
Ancho del incendio en la base [m]	3	Flujo de calor por convección Q1 [kW]	40500
Superficie del incendio Af [m ²]	81	Temperatura media de los gases por encima de la del ambiente θ1 [K]	237,97
Perímetro del incendio Wf [m]	36	Promedio de temperatura absoluta de los gases T1 [K]	530,97
Potencia calorífica del incendio qf [kW/m ²]	625		
Altura libre de humos Y [m]	8,5		

SUPERFICIE AERODINÁMICA

AYUDA

Figura 4.5 Pantalla de resultados 1 opción nave con actividad de almacenamiento.

En la pantalla de resultados también se presenta una opción de AYUDA donde se definen los parámetros existentes y su relación con la norma UNE23585 en caso que se haya considerado relevante indicar.

AYUDA RESULTADOS 1

Categorías de almacenaje: Según el tipo de embalaje (C1, C2, C3) y los materiales almacenados (S1, S2, S3, S4) se definen una serie de categorías de almacenaje SC1, SC2, SC3, SC4 tal y como se indica en la tabla 1 del anexo M de la norma UNE23585. Dichas categorías se pueden utilizar para definir la altura crítica de almacenaje y las categorías de uso que permitirán posteriormente definir las dimensiones de incendio para realizar los cálculos.

Altura crítica de almacenaje: Se distinguen los almacenajes en altura y almacenajes bajos según si la altura de almacenaje sobrepasa o no la altura crítica de almacenaje definida en la tabla 2 del anexo M de la norma UNE23585. Dependiendo de este tipo de almacenaje se definirán distintas dimensiones de incendio para realizar los cálculos.

Ancho del incendio en la base: En caso de incendios de baja altura el ancho de incendio es el indicado en la tabla 3 del anexo M página 148 de la norma UNE23585 y en almacenajes de gran altura es equivalente a la anchura de las estanterías tal y como se indica en la página 157 del mismo anexo de la norma.

Superficie del incendio: En caso de incendios de baja altura la superficie de incendio es el indicado en la tabla 3 del anexo M página 148 de la norma UNE23585 y en almacenajes de gran altura es equivalente a la fórmula indicada en la página 157 del mismo anexo de la citada norma.

Perímetro del incendio: En caso de incendios de baja altura la superficie de incendio es el indicado en la tabla 3 del anexo M página 148 de la norma UNE23585 y en almacenajes de gran altura es equivalente a la fórmula indicada en la página 157 del mismo anexo de la citada norma.

<<ATRÁS

ir a AYUDA página 2>>

Figura 4.6 Pantalla de ayuda resultados 1 opción nave con actividad de almacenamiento.

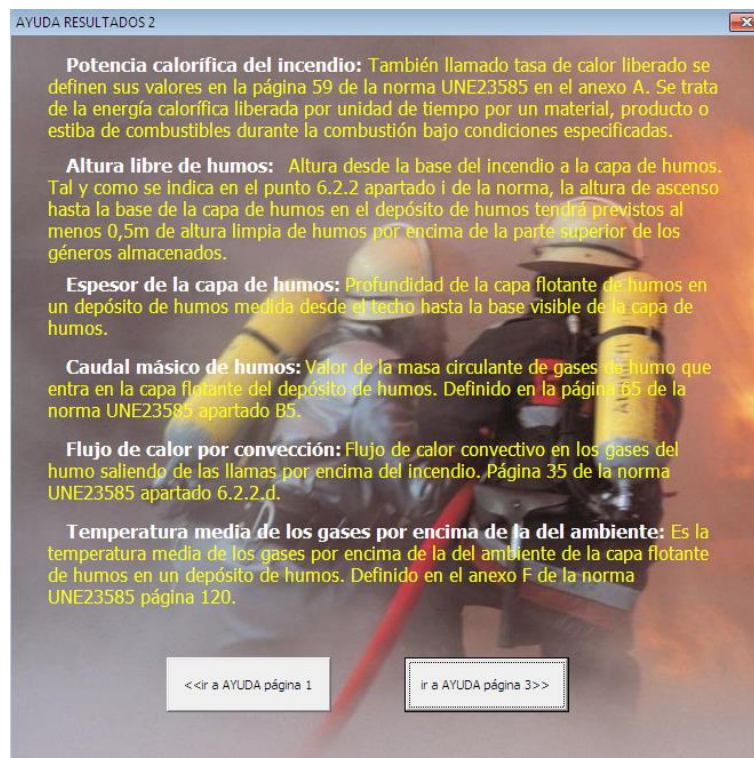


Figura 4.7 Pantalla de ayuda resultados 2 opción nave con actividad de almacenamiento.



Figura 4.8 Pantalla de ayuda resultados 3 opción nave con actividad de almacenamiento.

Clicar el botón correspondiente para desplazarse de una hoja de ayuda a la siguiente o a la anterior y para volver a la hoja de resultados previa, clicar en el botón de VOLVER a resultados de la hoja ayuda número 3.

Continuando en la pantalla resultados y clicando el botón de SUPERFICIE AERODINÁMICA nos dirigimos a una nueva ventana de resultados tal y como se muestra a continuación. En ella se muestra el parámetro más importante que resulta la superficie aerodinámica calculada. En el caso de que se quiera obtener el número exacto de exutorios a instalar en la nave, clicar el botón derecho ubicado debajo del resultado en el que indica SELECCIÓN DE EXUTORIOS. En la misma página también existe la opción de realizar un nuevo cálculo o salir de la aplicación a través de clicar sus botones correspondientes. Asimismo existe la opción de pulsar el botón de <<ATRÁS para volver a consultar los resultados obtenidos en la página anterior.



Figura 4.9 Pantalla de resultados superficie aerodinámica opción nave con actividad de almacenamiento.

La pantalla de selección de exutorios comerciales nos permite utilizar el desplegable para seleccionar el exutorio comercial que queremos utilizar en la instalación. Cada vez que realizamos una selección en el desplegable aparecen las características principales del exutorio siguientes:

- MARCA/MODELO
- COEFICIENTE AERODINÁMICO
- ANCHO
- LARGO
- SUPERFICIE GEOMÉTRICA
- SUPERFICIE AERODINÁMICA

Los exutorios que aparecen en el desplegable corresponden a los almacenados en la base de datos de la aplicación.

Nuevamente las unidades de las variables se definen junto con ésta. En este caso se utilizan los mm y mm².

The screenshot shows a software window titled "SELECCIÓN EXUTORIOS COMERCIALES". At the top, there is a dropdown menu with "ttttt" selected. Below this, there are several input fields: "MARCA/MODELO" with "COTTES EURA 060-11", "COEFICIENTE AERODINÁMICO" with "0,6", "ANCHO [mm]" with "600", "LARGO [mm]", "SUPERFICIE GEOMÉTRICA [mm²]", and "SUPERFICIE AERODINÁMICA [mm²]", all of which are currently empty. To the right of the "MARCA/MODELO" field is a "CLEAR" button. At the bottom right, there are two buttons: "ALMACENAR nuevo exutorio en Base de Datos" and "ELIMINAR exutorio seleccionado en Base de Datos". At the bottom of the window, there are two more buttons: "<<VOLVER A SUPERFICIE AERODINÁMICA" and "CALCULAR NÚMERO DE EXUTORIOS>>". The background of the window shows a 3D rendering of a roof with several skylights.

Figura 4.10 Pantalla de selección de exutorios comerciales.

En el caso de que queramos utilizar en los cálculos un exutorio que no se encuentre en la base de datos del programa, existe la posibilidad de añadir nuevos elementos comerciales. Para ello se debe clicar el botón de limpieza CLEAR e introducir la nueva información. Una vez introducida la nueva información clicar el botón de ALMACENAR nuevo exutorio en Base de Datos. A continuación aparecerá una ventana para confirmar la orden efectuada.

This screenshot is similar to Figure 4.10, but with a Microsoft Excel dialog box overlaid in the center. The dialog box has the title "Microsoft Excel" and contains the text: "¿Son correctos los datos?" and "¿Desea proceder?". There are two buttons at the bottom of the dialog: "Aceptar" and "Cancelar". The background window is the same as in Figure 4.10, but the input fields now contain "rr" for "MARCA/MODELO", "COEFICIENTE AERODINÁMICO", "ANCHO [mm]", and "LARGO [mm]". The "ALMACENAR" and "ELIMINAR" buttons are partially obscured by the dialog box.

Figura 4.11 Ventana de confirmación ALMACENAR.

En el caso de clicar al botón de Aceptar se almacenarán automáticamente los nuevos datos.

No se podrá repetir una misma marca y modelo, con lo que resulta recomendable vigilar bien los espacios y nomenclatura utilizados a la hora de registrar los exutorios comerciales para evitar errores de duplicidad.

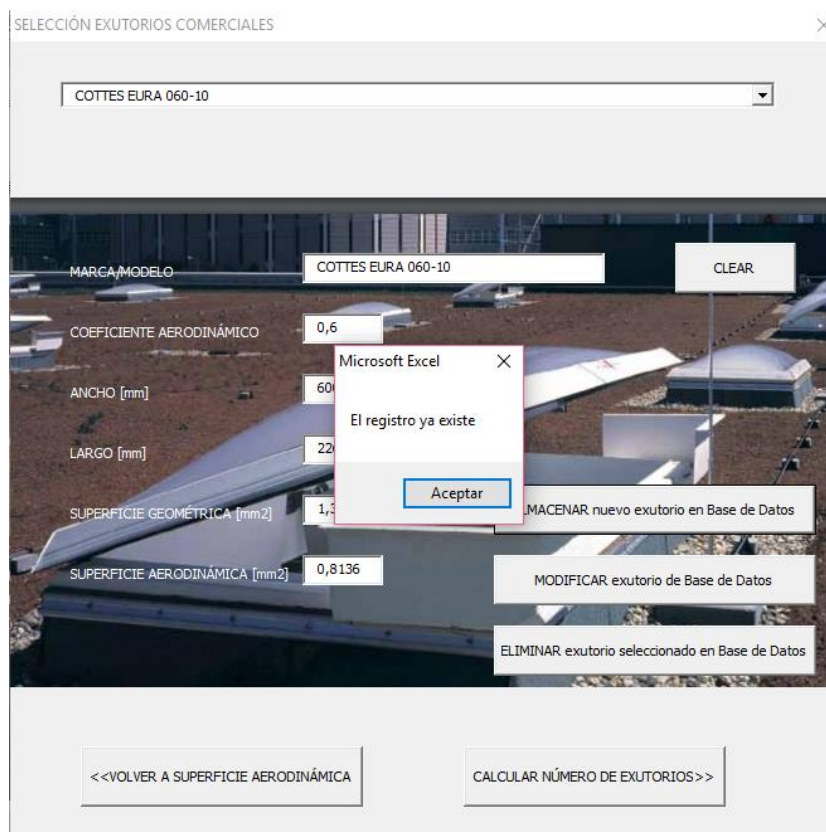


Figura 4.12 Error de repetición de marca y modelo de exutorio.

En el caso de que se quiera modificar un exutorio existente seleccionar en el desplegable superior la marca y modelo que se quiera modificar. Una vez seleccionado, modificar los datos pertinentes borrando y sobrescribiendo en el cuadro de texto correspondiente. La única información que no se puede modificar es la marca y modelo ya que la base de datos consideraría que resulta un nuevo exutorio y no una modificación. Una vez introducidos los nuevos datos, clicar el botón de MODIFICAR exutorio de Base de Datos y los cambios serán almacenados automáticamente.

Finalmente existe la opción de ELIMINAR exutorio seleccionado en la base de datos. Para poder eliminar seleccionar en el desplegable el exutorio que queramos eliminar y clicar el botón correspondiente.

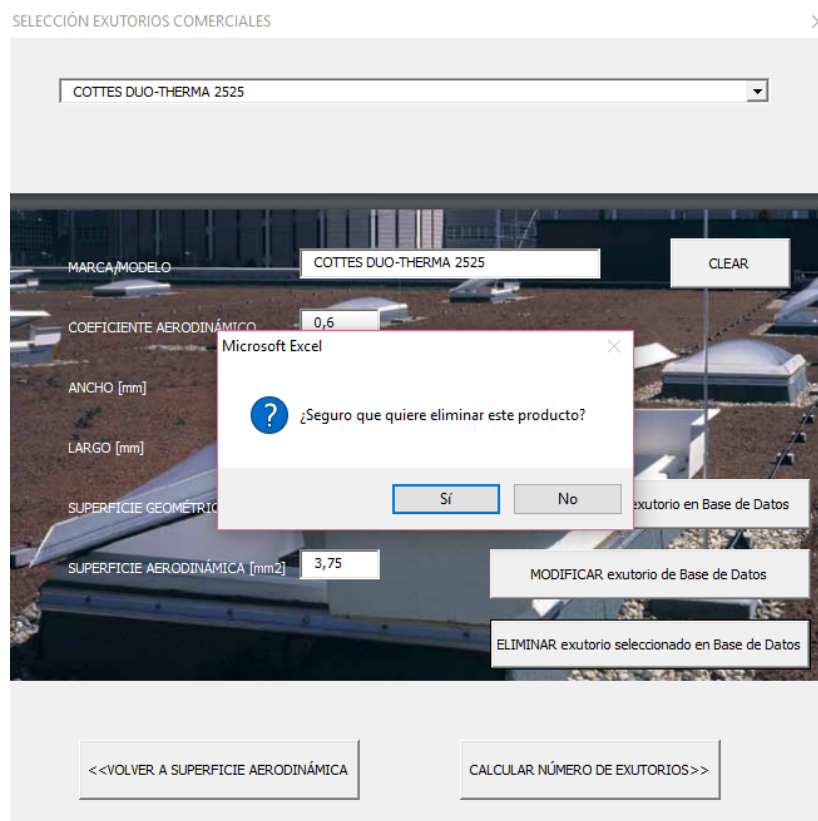


Figura 4.13 Ventana de confirmación ELIMINAR

Una vez seleccionado el exutorio adecuado en el desplegable clicar el botón inferior derecho para calcular el número de exutorios para la nave estudiada. Aparecerá una ventana de resultados como la mostrada a continuación:

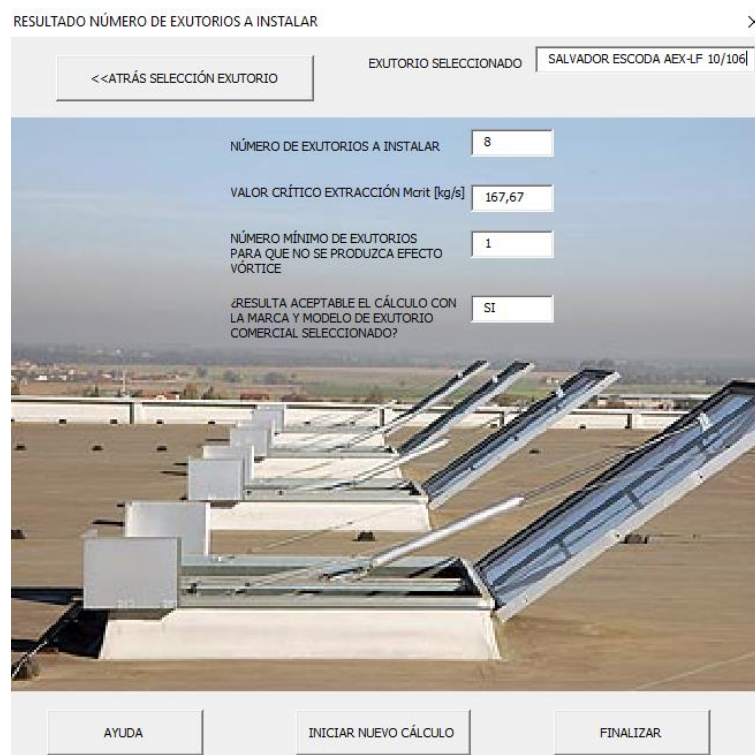


Figura 4.14 Ventana final de resultado número de exutorios

En primer lugar se muestra el número de exutorios a instalar y seguidamente el resultado de los parámetros para comprobar si el número de exutorios obtenido es el adecuado para evitar el efecto vórtice (valor crítico de extracción, número mínimo de exutorios, aceptabilidad del cálculo realizado con el exutorio seleccionado).

En el caso de querer consultar más información sobre los parámetros que aparecen en la hoja de resultados clicar el botón de ayuda donde aparece un mayor detalle de los resultados.

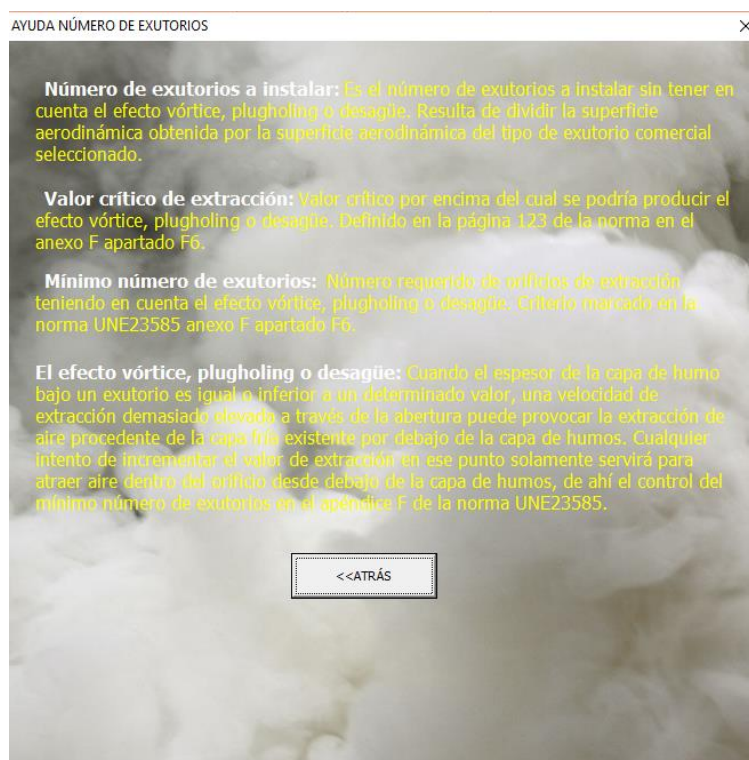


Figura 4.15 Ventana AYUDA a resultados número de exutorios

En el caso de que la respuesta de si resulta aceptable el cálculo con la marca y modelo de exutorio comercial seleccionado sea afirmativa, podemos considerar el resultado como válido. Si la respuesta es negativa clicar el botón de <<ATRÁS SELECCIÓN EXUTORIO para seleccionar un exutorio diferente hasta conseguir que el diseño sea válido y la casilla correspondiente, marque un SI.

4.2.4 Cálculo SCTEH de una nave con actividad principal distinta a la de almacenamiento

Se selecciona en la pantalla de inicio el botón derecho que indica OTRAS ACTIVIDADES PRINCIPALES.



Figura 4.16 Pantalla de inicio de la aplicación.

A continuación aparece una ventana con los datos input del programa para que los cálculos puedan ser realizados. Los datos que se deben introducir son los siguientes:

- Superficie del sector de incendio de la nave
- Altura del sector de incendio de la nave
- Existencia de rociadores instalados y en caso afirmativo tipo
- Usos de la nave industrial

Las unidades de cada variable se indican al lado de su definición y suelen pertenecer al Sistema Internacional.

Figura 4.17 Pantalla de introducción de datos opción sin actividad principal almacenamiento.

La opción AYUDA permite consultar detalles de los datos input que solicita el programa y para volver a la pantalla de introducción de datos una vez en la ayuda, clicar en el botón de VOLVER.



Figura 4.18 Pantalla de ayuda input datos opción sin actividad principal de almacenamiento.

Una vez introducidos los datos clicar el botón de CALCULAR en la pantalla de introducción de datos obteniendo la siguiente pantalla de resultados:

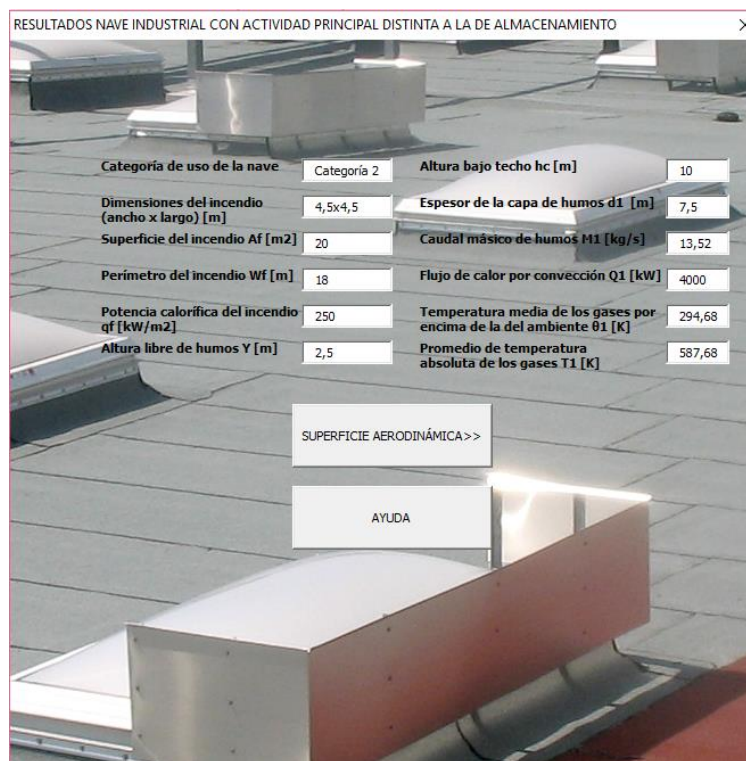


Figura 4.19 Pantalla de resultados 1 opción sin actividad principal de almacenamiento.

Tal y como puede observarse en la figura, los resultados que se obtienen son los siguientes:

- Categoría de uso de la nave
- Dimensiones del incendio
- Superficie del incendio
- Perímetro del incendio
- Potencia calorífica del incendio
- Altura libre de humos
- Altura bajo techo
- Espesor de la capa de humos
- Caudal másico de humos
- Flujo de calor por convección
- Temperatura media de los gases por encima de la del ambiente
- Promedio de temperatura absoluta de los gases

Tal y como se ha ido indicando, las unidades de todas las variables se indican al lado de la definición de cada parámetro y suelen utilizarse en el Sistema Internacional.

El botón de ayuda conduce a dos ventanas que definen los parámetros existentes y su relación con la norma UNE23585 en caso que se haya considerado relevante.



Figura 4.20 Pantalla de ayuda resultados 1 opción sin actividad principal almacenamiento.



Figura 4.21 Pantalla de ayuda resultados 2 opción sin actividad principal almacenamiento.

Una vez clicado el botón de VOLVER a resultados aparece de nuevo la pantalla de resultados. Clicando el botón de SUPERFICIE AERODINÁMICA>> nos dirigimos a una nueva ventana de resultados tal y como se muestra a continuación. En ella se muestra el parámetro más importante que resulta la superficie aerodinámica calculada. En el caso de que se quiera obtener el número exacto de exutorios a instalar en la nave, clicar el botón derecho ubicado debajo del resultado en el que indica selección de exutorios. En la misma página también existe la opción de realizar nuevamente un nuevo cálculo o salir de la aplicación a través de clicar sus botones correspondientes. El botón <<ATRÁS nos permite volver a consultar la pantalla de resultados 1.



Figura 4.22 Pantalla de resultados superficie aerodinámica opción sin actividad principal almacenamiento.

La pantalla de selección de exutorios comerciales nos permite utilizar el desplegable para seleccionar el exutorio comercial que queramos utilizar en la instalación. Cada vez que realizamos una selección en el desplegable aparecen las características principales del exutorio siguientes:

- MARCA/MODELO
- COEFICIENTE AERODINÁMICO
- ANCHO
- LARGO
- SUPERFICIE GEOMÉTRICA
- SUPERFICIE AERODINÁMICA

Las unidades utilizadas aparecen al lado de la descripción del parámetro utilizándose en este caso mm y mm².

Los exutorios que aparecen en el desplegable corresponden a los almacenados en la base de datos de la aplicación.

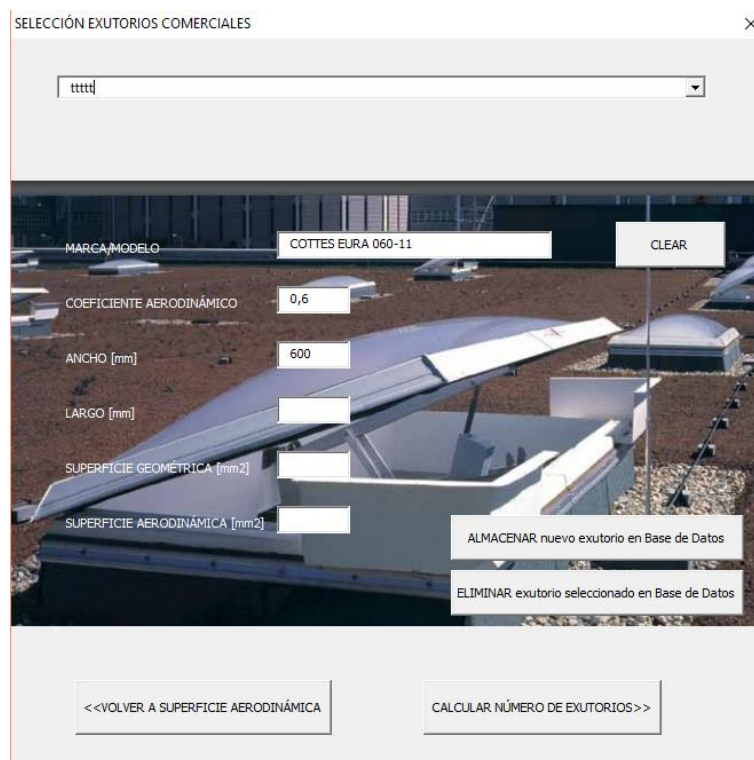


Figura 4.23 Pantalla de selección de exutorios comerciales.

En el caso de que queramos utilizar en los cálculos un exutorio que no se encuentre en la base de datos del programa, existe la posibilidad de añadir nuevos elementos comerciales. Para ello se debe clicar el botón de limpieza CLEAR e introducir la nueva información. Una vez introducida la nueva información clicar el botón de ALMACENAR nuevo exutorio en Base de Datos. A continuación aparecerá una ventana para confirmar la orden efectuada.

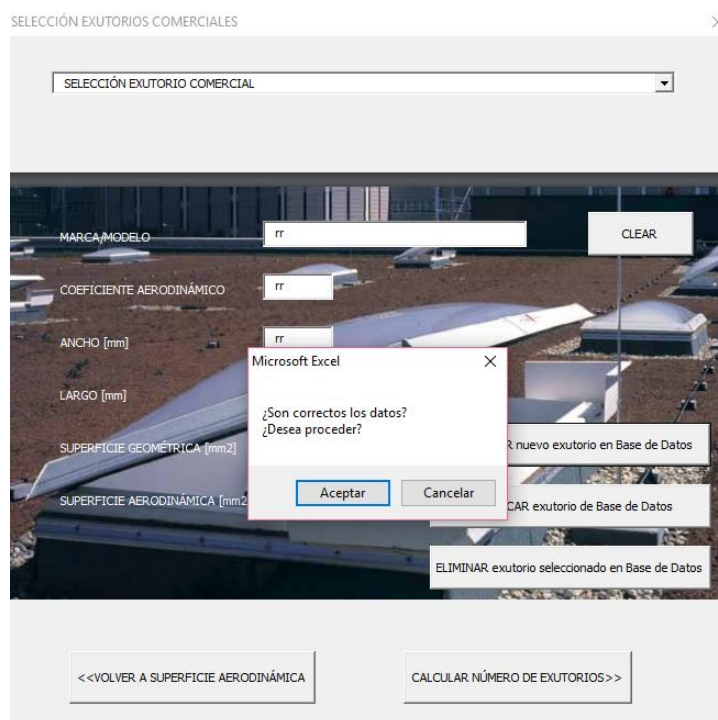


Figura 4.24 Ventana de confirmación ALMACENAR.

En el caso de clicar al botón de aceptar se almacenarán automáticamente los nuevos datos. No se podrá repetir una misma marca y modelo, con lo que resulta recomendable vigilar bien los espacios y nomenclatura utilizados a la hora de registrar los exutorios comerciales.

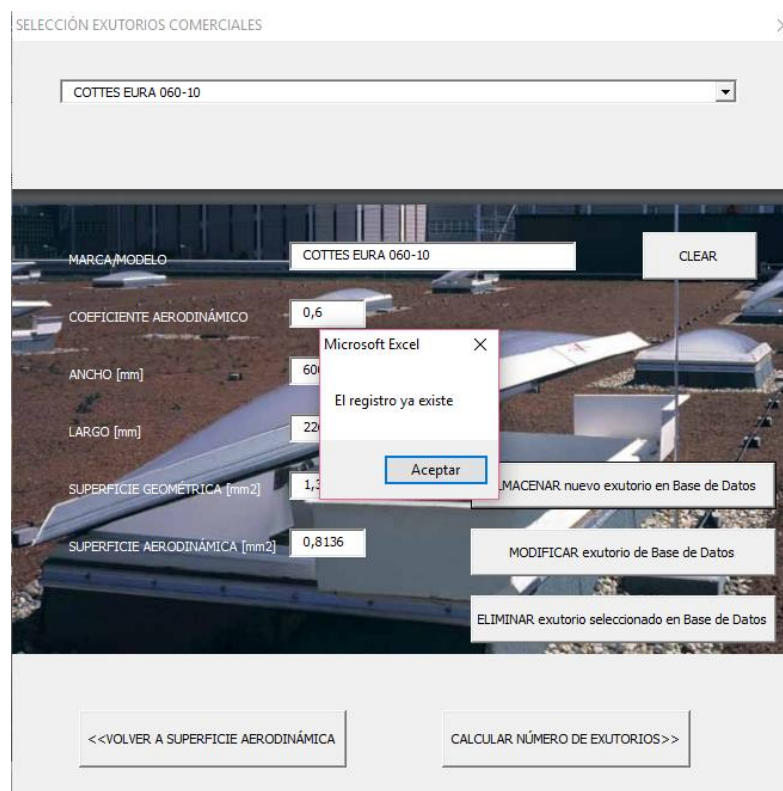


Figura 4.25 Error de repetición de marca y modelo de exutorio.

En el caso de que se quiera modificar un exutorio existente seleccionar en el desplegable superior la marca y modelo que se quiera modificar. Una vez seleccionado, modificar los datos pertinentes sobrescribiendo en el cuadro de texto correspondiente. La única información que no se puede modificar es la marca y modelo ya que la base de datos consideraría que resulta un nuevo exutorio. Una vez modificados los datos, clicar el botón de MODIFICAR exutorio de Base de Datos y los cambios serán almacenados automáticamente.

Finalmente existe la opción de ELIMINAR exutorio seleccionado en la base de datos. Para poder eliminar seleccionar en el desplegable el exutorio que queramos eliminar y clicar el botón correspondiente.

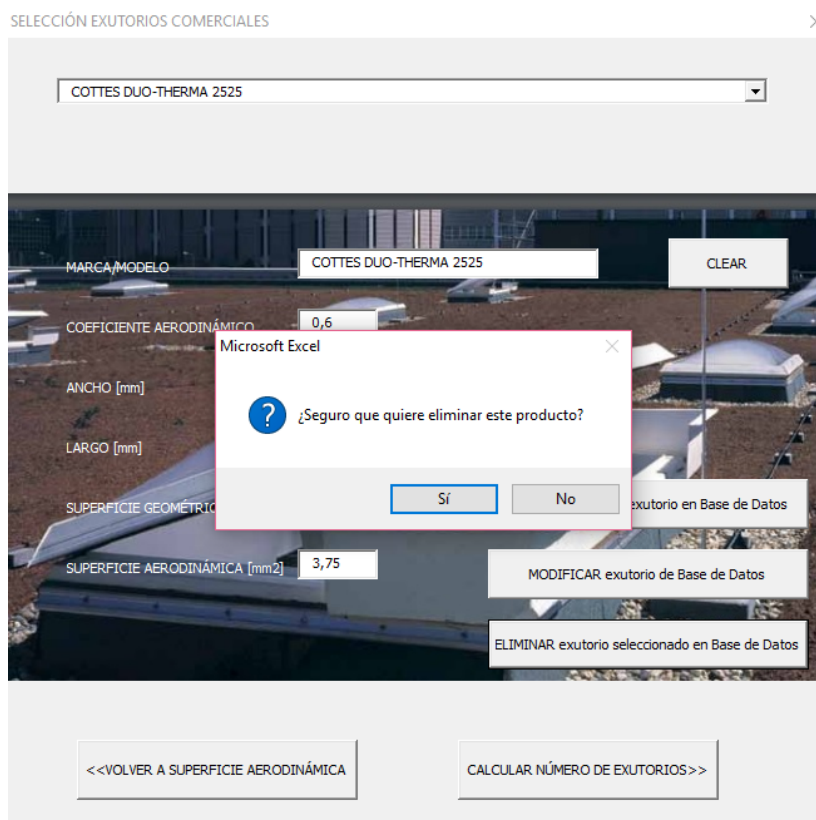


Figura 4.26 Ventana de confirmación ELIMINAR

Una vez seleccionado el exutorio adecuado en el desplegable clicar el botón inferior derecho para calcular el número de exutorios. Aparecerá una ventana de resultados como la mostrada a continuación:

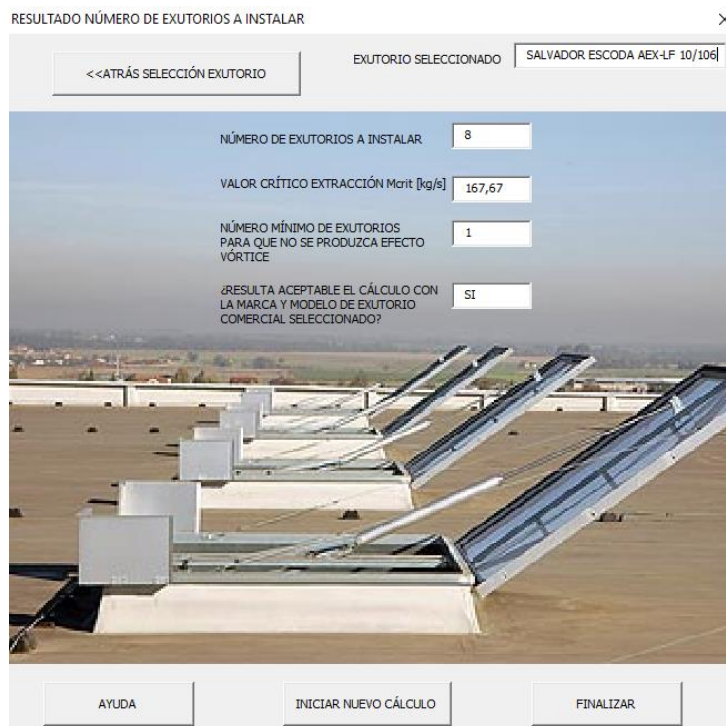


Figura 4.27 Ventana final de resultado número de exutorios

En primer lugar se muestra el número de exutorios a instalar y seguidamente el resultado de los parámetros para comprobar si el número de exutorios obtenido es el adecuado para evitar el efecto vórtice (valor crítico de extracción, número mínimo de exutorios, aceptabilidad del cálculo realizado con el exutorio seleccionado).

En el caso de querer consultar más información sobre los parámetros que aparecen en la hoja de resultados clicar el botón de AYUDA donde aparece un mayor detalle de los resultados.

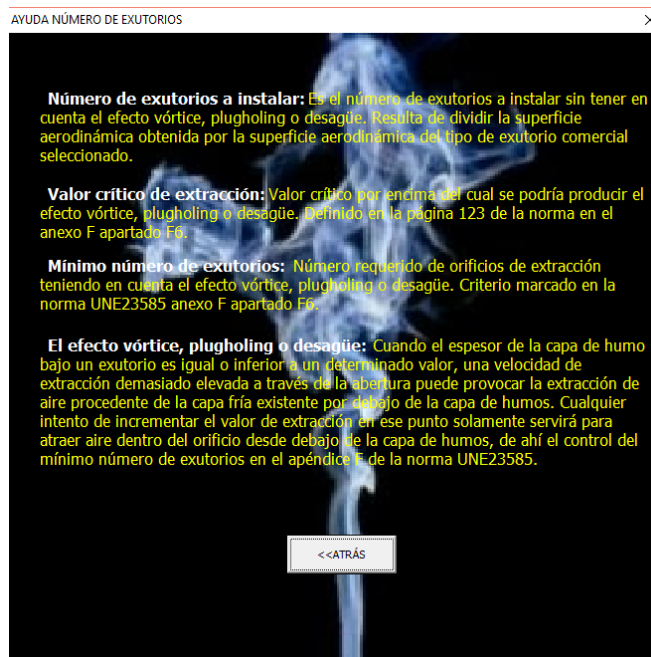


Figura 4.28 Ventana AYUDA a resultados número de exutorios opción distinta a almacenamiento

En el caso de que la respuesta de si resulta aceptable el cálculo con la marca y modelo de exutorio comercial seleccionado sea afirmativa, podemos considerar el resultado como válido. Si la respuesta es negativa clicar el botón de <<ATRÁS SELECCIÓN EXUTORIO para seleccionar un exutorio diferente hasta conseguir que el diseño sea válido.

4.3 Manual de programación

La aplicación diseñada se ha realizado con la ayuda de la programación de las hojas de cálculo de Microsoft Excel 2010 y con la implementación de diversos formularios y módulos de Microsoft Visual Basic 7.0.

El procedimiento de programación y código utilizado se dispone en el anexo I del presente trabajo.

5 Validación de la aplicación diseñada

Con el fin de poder verificar que la aplicación diseñada funciona correctamente, se procede a contrastar los resultados obtenidos a través de la aplicación con un ejemplo realizado con cálculos manuales y otro utilizando una aplicación informática de uso libre de la marca Cottés [11]. En esta última comprobación únicamente se podrá contrastar el caso tipo 2 de nave cuya actividad principal sea distinta al almacenamiento, ya que el programa únicamente contempla dicho caso.

5.1 Cálculo SCTEH de una nave con actividad principal de almacenamiento

5.1.1 Enunciado del problema

Se estudiará el caso de una nave industrial de 9 metros de altura cuya actividad básica es el almacenamiento de bobinas de cable eléctrico. La distribución del almacén es con pasillos de 2 metros de ancho y el almacenaje tiene 6 metros de altura y 3 de ancho, con embalajes incombustibles eventualmente colocados sobre palets de madera. Los rociadores instalados son de techo y se calcularán el número de exutorios necesarios con el modelo y marca COTTES DUO-THERMA 2525.

5.1.2 Cálculo manual

5.1.2.1 Categorías de almacenaje.

El tipo de material almacenado seleccionado en la clasificación de los riesgos [1] página 149 del anexo M es el de cables eléctricos, telefónicos y telegráficos y junto con el tipo de embalaje que corresponde al C1 obtenemos una categoría de almacenaje SC2.

5.1.2.2 Altura crítica de almacenaje.

Observando la tabla 2 de la página 149 del anexo M de la norma [1] se obtiene una altura crítica de almacenaje de 3 metros. Como se supera la altura crítica (6 metros) estaremos tratando un almacenaje en altura.

5.1.2.3 Dimensiones del incendio.

Tal y como indica la tabla M.1 del anexo de la norma [1]:

Anchura del incendio en la base w =anchura de las estanterías=3m

Ensanche del incendio en altura $x=0,18 \cdot h=0,18 \cdot 6=1,08$ m

Superficie de incendio $A_f=4/3 \cdot h \cdot (w+x)=32,64$ m

Perímetro de incendio $W_f=2 \cdot (w+4x)=14,64$ m

5.1.2.4 Potencia calorífica del incendio

Dicho parámetro se especifica en el anexo A de la norma. Para incendios con rociadores tomaremos un q_f de 625kW/m².

5.1.2.5 Altura libre de humos Y

Se considera un valor de 0,5+la altura de las estanterías de almacenamiento, por tanto la Y tiene un valor de 6,5m.

5.1.2.6 Altura bajo techo hc

Se considera de 9m.

5.1.2.7 Espesor de la capa de humos

$$d1=hc-Y=9-6,5=2,5m$$

5.1.2.8 Caudal másico de humos

$$Mf = Ce \cdot P \cdot Y^{3/2}$$
$$Mf = 0,19 \cdot 14,64 \cdot 6,5^{3/2}=46,1kg/s$$

5.1.2.9 Flujo de calor por convección

$$Qf = 0,8 \cdot q_f \cdot A_f = 0,8 \cdot 625 \cdot 32,64 = 16320kW$$

5.1.2.10 Temperatura media de los gases por encima de la del ambiente de la capa flotante de humos en un depósito de humos

$$\theta_1 = \frac{Q_1}{c \cdot M_1}$$
$$\theta_1 = \frac{16320}{1,004 \cdot 46,1} = 352,6K$$

5.1.2.11 Promedio de temperatura absoluta en la capa flotante de un depósito de humos T1

$$T_1 = T_{amb} + \theta_1$$
$$T_1 = 293 + 352,6 = 645,6K$$

5.1.2.12 Superficie aerodinámica de los exutorios AvCv

$$A_{vtot} \cdot C_v = \frac{M_1}{\rho_{amb}} \cdot \left(\frac{T_1^2 + \left(\frac{A_{vtot} \cdot C_v}{A_i \cdot C_i} \right)^2 \cdot T_{amb} \cdot T_1}{2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb}} \right)^{\frac{1}{2}}$$
$$A_{vtot} \cdot C_v = \frac{46,1}{1,225} \cdot \left(\frac{645,6^2 + (1)^2 \cdot 293 \cdot 645,6}{2 \cdot 9,81 \cdot 2,5 \cdot 352,6 \cdot 293} \right)^{\frac{1}{2}}$$
$$A_{vtot} \cdot C_v = 13,01m^2$$

5.1.2.13 Número de exutorios a instalar

$$N = \frac{13,01}{3,75} = 3,47$$

Serán requeridos al menos 4 exutorios COTTES DUO-THERMA 2525

5.1.2.14 Valor crítico de extracción

Para comprobar que no se produzca el efecto vórtice con el número de exutorios obtenidos:

$$Dv = \sqrt{\frac{3,75 \cdot 4}{\pi}} = 2,19$$
$$M_{crit} = \frac{2,05 \cdot 1,225 \cdot [9,81 \cdot 293 \cdot 352,6]^{0,5} \cdot 2,5^2 \cdot 2,19^{0,5}}{645,6}$$
$$M_{crit} = 36,21 \text{ kg/s}$$

5.1.2.15 Número mínimo de exutorios

$$N \geq \frac{46,1}{36,21} = 1,27 \text{ El número mínimo de exutorios es 2.}$$

5.1.2.16 Aceptación del cálculo con el exutorio comercial seleccionado

Como el número de exutorios calculado es superior al número mínimo de exutorios se acepta el cálculo. La nave requerirá 4 exutorios de la marca y modelo COTTES DUO-THERMA 2525.

5.1.3 Cálculo mediante la aplicación diseñada

Se introducen los datos indicados en el enunciado (apartado 5.1.1) en el programa.

INTRODUCCIÓN DE DATOS DE LA NAVE INDUSTRIAL CON ACTIVIDAD PRINCIPAL DE ALMACENAMIENTO

Ancho estanterías de almacenamiento w [m] 3 Ancho de pasillos [m] 2

Alto estanterías de almacenamiento h [m] 6 Rociadores de techo

Altura de la nave [m] 9

Embalajes incombustibles, eventualmente colocados sobre palets de madera

Cables eléctricos, telefónicos y telegráficos

CALCULAR AYUDA

Figura 5.1 Introducción de datos en la aplicación

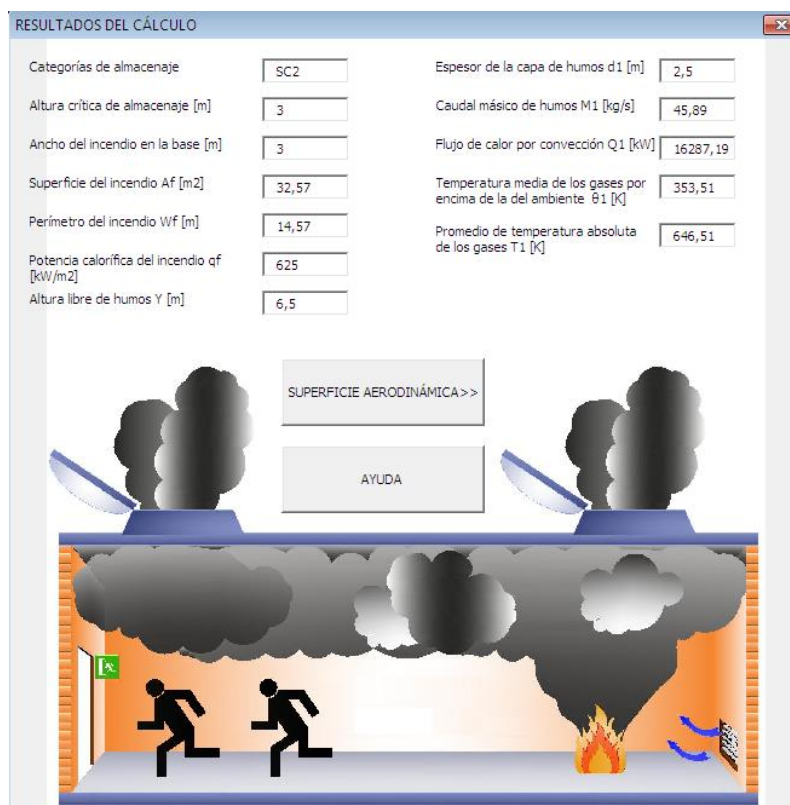


Figura 5.2 Resultados 1



Figura 5.3 Resultados 2

SELECCIÓN EXUTORIOS COMERCIALES

COTTES DUO-THERMA 2525

MARCA/MODELO: COTTES DUO-THERMA 2525 CLEAR

COEFICIENTE AERODINÁMICO: 0,6

ANCHO [mm]: 2500

LARGO [mm]: 2500

SUPERFICIE GEOMÉTRICA [mm²]: 6,25

SUPERFICIE AERODINÁMICA [mm²]: 3,75

ALMACENAR nuevo exutorio en Base de Datos

MODIFICAR exutorio de Base de Datos

ELIMINAR exutorio seleccionado en Base de Datos

<<VOLVER A SUPERFICIE AERODINÁMICA

CALCULAR NÚMERO DE EXUTORIOS>>

Figura 5.4 Selección de exutorio comercial

RESULTADO NÚMERO DE EXUTORIOS A INSTALAR

<<ATRÁS SELECCIÓN EXUTORIO

EXUTORIO SELECCIONADO: COTTES DUO-THERMA 2525

NÚMERO DE EXUTORIOS A INSTALAR: 4

VALOR CRÍTICO EXTRACCIÓN Merit [kg/s]: 36,17

NÚMERO MÍNIMO DE EXUTORIOS PARA QUE NO SE PRODUZCA EFECTO VÓRTICE: 2

¿RESULTA ACEPTABLE EL CÁLCULO CON LA MARCA Y MODELO DE EXUTORIO COMERCIAL SELECCIONADO?: SI

AYUDA

INICIAR NUEVO CÁLCULO

FINALIZAR

Figura 5.5 Resultados 3

5.1.4 Resultados

Los resultados obtenidos en ambos métodos son los siguientes:

Tabla 5.1. Comparativa de resultados Caso 1 realizados manualmente y con la aplicación diseñada.

Parámetros	Manual	Aplicación diseñada	% error
Categorías de almacenaje	SC2	SC2	0%
Altura crítica de almacenaje [m]	3	3	0%
Ancho del incendio en la base [m]	3	3	0%
Superficie del incendio Af [m ²]	32,64	32,57	0,2%
Perímetro de incendio Wf [m]	14,64	14,57	0,4%
Potencia calorífica del incendio qf [kW/m ²]	625	625	0%
Altura libre de humos Y [m]	6,5	6,5	0%
Espesor de la capa de humos d1 [m]	2,5	2,5	0%
Caudal másico de humos Mf [kg*s]	46,1	45,9	0,4%
Flujo de calor por convección Qi [kW]	16320	16287	0,2%
Temperatura media de los gases por encima de la del ambiente θ_1 [K]	352,6	353,5	0,3%
Temperatura media absoluta de los gases de la capa flotante de un depósito de humos T1 [K]	645,6	646,5	0,1%
Superficie aerodinámica (AvCv) de los exutorios	13,01	12,95	0,4%
Número de exutorios a instalar por depósito (número entero)	4	4	0%
Valor crítico de extracción Mcrit [kg/s]	36,21	36,17	0,1%
Número mínimo de exutorios para que no se produzca efecto vórtice (número entero)	2	2	0%
Resulta aceptable el cálculo con el modelo de exutorio comercial seleccionado?	SI	SI	0%

Tal y como puede observarse los resultados coinciden significativamente y se puede concluir que el programa reproduce correctamente los cálculos realizados manualmente.

5.2 Cálculo SCTEH de una nave con actividad principal distinta a la de almacenamiento

5.2.1 Enunciado del problema

Se estudiará el caso de una nave industrial cuya actividad es la fabricación de componentes metálicos para el automóvil con unas dimensiones de 6950m² y una altura libre hasta la cubierta de 9m. No hay sistema de rociadores de techo.

5.2.2 Cálculo manual

El criterio empleado en la actualidad es que la superficie máxima de sectores sea de 2000m², por ello se decide dividir la nave en cuatro sectores de humo de 1737,5m².

5.2.2.1 Categorías de uso de la nave.

En el anexo M de la norma UNE23585 no existe como tal el uso de fabricación de componentes mecánicos para automóviles pero sí los talleres de reparación de partes mecánicas y talleres de reparación carrocerías automóviles, ambos clasificados como N2.

A partir de aquí se observa que la categoría correspondiente al riesgo normal N2 corresponde a la categoría 2.

Tabla 2
Categorías de uso y altura crítica de almacenaje

Categorías de uso	Espacios a proteger				Altura crítica de almacenaje
	Riesgo Ligero	Riesgo Normal	Riesgo elevado		
			Fabricación	Almacenaje (tabla 1)	
Categoría 1	L	N1		SC1	4,0 m
Categoría 2		N2		SC2	3,0 m
Categoría 3		N3		SC3	2,1 m
Categoría 4		N4	D1 a D4	SC4	1,2 m

Figura 5.6 Categoría de uso

5.2.2.2 Dimensiones del incendio, perímetro y superficie.

Una vez obtenida la categoría de uso de la nave podemos determinar las dimensiones de incendio en la Tabla 3 del anexo M de la página 148 de la norma. Se obtiene una dimensión de 4,5x4,5, perímetro 18m y superficie de 20m².

Tabla 3
Dimensiones normalizadas de incendio
(espacios sin almacenaje o de poca altura con estanterías)

Categorías de usos (tabla 2)	Dimensiones del incendio	Perímetro W_f	Superficie A_f
Categoría 1	3,0 m × 3,0 m	12 m	9 m ²
Categoría 2	4,5 m × 4,5 m	18 m	20 m ²
Categoría 3	6,0 m × 6,0 m	24 m	36 m ²
Categoría 4	9,0 m × 9,0 m	36 m	81 m ²

Figura 5.7 Dimensiones de incendio

5.2.2.3 Potencia calorífica del incendio

Se tomará como valor medio para la potencia calorífica del fuego 1250kW/m². Se trata de un incendio con rociadores y la actividad no es exclusiva de almacenamiento.

5.2.2.4 Altura libre de humos Y

Se toma un valor de 2,5 metros siguiendo las recomendaciones de la tabla 2 de la página 36 de la norma[1].

5.2.2.5 Altura bajo techo H

Tal y como indica el enunciado se considera una altura de 9m.

5.2.2.6 Espesor de la capa de humos d1

El espesor de la capa de humos será la altura bajo techo menos el espacio libre de humos Y, por tanto 6,5m.

5.2.2.7 Caudal másico de humos

En el anexo B de la norma apartado B.1, se define un método de cálculo para casos en que el penacho se encuentra por encima de un gran incendio donde:

$$Mf = Ce \cdot P \cdot Y^{\frac{3}{2}}$$
$$Mf = 0,19 \cdot 18 \cdot 2,5^{\frac{3}{2}} = 13,52 \text{ kg/s}$$

5.2.2.8 Flujo de calor por convección

$$Qf = 0,8 \cdot 20 \cdot 1250 = 20000 \text{ kW}$$

5.2.2.9 Temperatura media de los gases por encima de la del ambiente de la capa flotante de humos en un depósito de humos

$$\theta_1 = \frac{Q_1}{c \cdot M_1}$$
$$\theta_1 = \frac{20000}{1,004 \cdot 13,52} = 1473,4 \text{ K}$$

5.2.2.10 Promedio de temperatura absoluta en la capa flotante de un depósito de humos T1

$$T_1 = T_{amb} + \theta_1$$
$$T_1 = 293 + 1473,4 = 1766,4 \text{ K}$$

5.2.2.11 Superficie aerodinámica de los exutorios AvCv

$$A_{vtot} \cdot C_v = \frac{M_1}{\rho_{amb}} \cdot \left(\frac{T_1^2 + \left(\frac{A_{vtot} \cdot C_v}{A_i \cdot C_i} \right)^2 \cdot T_{amb} \cdot T_1}{2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$A_{vtot} \cdot C_v = \frac{13,52}{1,225} \cdot \left(\frac{1766,4^2 + (1)^2 \cdot 293 \cdot 1766,4}{2 \cdot 9,81 \cdot 6,5 \cdot 1473,4 \cdot 293} \right)^{\frac{1}{2}} = 2,84 \text{m}^2$$

5.2.2.12 Número de exutorios a instalar

Si seleccionamos un exutorio COTTES EURA 240-4 con las siguientes características:

- Dimensiones 2400mmx940mm
- Superficie 2,26m²
- Coeficiente aerodinámico de evacuación Cv=0,6

$$N = \frac{2,84}{2,26 \cdot 0,6} = 2,09$$

N=3 exutorios de este tipo por sección de incendio

5.2.2.13 Valor crítico de extracción

$$Dv = \sqrt{\frac{2,26 \cdot 0,6 \cdot 4}{\pi}} = 1,31 \text{m}$$

$$M_{crit} = \frac{2,05 \cdot 1,225 \cdot [9,81 \cdot 293 \cdot 1473,4]^{0,5} \cdot 6,5^2 \cdot 1,31^{0,5}}{1766,4} = 141,48 \text{kg/s}$$

5.2.2.14 Número mínimo de exutorios

$$N_{min} \geq \frac{M_1}{M_{crit}}$$

$$N_{min} \geq \frac{2,84}{141,48} = 0,02$$

Nmin 1 exutorio

5.2.2.15 Aceptación del cálculo con el exutorio comercial seleccionado

Por último se comprueba que el número de exutorios a instalar calculado que eran 3 cumple con el valor obtenido del número mínimo de exutorios que es 1. El exutorio seleccionado sería válido. Instalando 3 exutorios por sector de incendio lo que supone un total de 12 exutorios para toda la nave.

5.2.3 Cálculo mediante software de uso libre de Cottess Group [11]

A continuación se muestra la captura de pantalla del programa de uso libre de Cottess Group. Tener en cuenta que los datos que se encuentran en un recuadro en blanco son datos que se introducen por parte del usuario por lo que son los datos input que se han añadido.

1

Geometría del edificio *i*

Longitud de la nave (máx: 60) m	<input type="text" value="83,37"/>	Anchura de la nave (máx: 60) m	<input type="text" value="83,37"/>	Superficie de la nave m ²	<input type="text" value="6950,56"/>
Nº depósitos de humo ud	<input type="text" value="4"/>	Altura máx. de la nave m	<input type="text" value="9"/>	Altura mín. de la nave m	<input type="text" value="9"/>

Valores predeterminados

Temperatura ambiente °C	<input type="text" value="20"/>	Calor del aire kJ/kg °K	<input type="text" value="1,004"/>
Densidad del aire Kw/m ³	<input type="text" value="1,225"/>	Aceleración gravedad m	<input type="text" value="9,81"/>

2

Definir existencia de rociadores y temperatura de disparo *i*

Extinción automática	<input type="radio"/> SI <input checked="" type="radio"/> NO	Temperatura de disparo °C	<input type="text"/>
----------------------	--	------------------------------	----------------------

3

Dimensiones del incendio *i*

Tamaño - Ver Tabla 3. Norma UNE 23585, pág. 148. Calor liberado - ANEXO A Norma UNE 23585, pág.59

Tamaño del fuego, largo m	<input type="text" value="4,5"/>	Tamaño del fuego, ancho m	<input type="text" value="4,5"/>	Calor liberado Kw/m ²	<input type="text" value="1250"/>
Factor de convección	<input type="text" value="0,8"/>	Coef. plantas abiertas	<input type="text" value="0,188"/>		

4

Definir altura libre de humos *i*

Altura libre de humos m	<input type="text" value="2,5"/>	Profundidad mínima barrera m	<input type="text" value="0,1"/>
----------------------------	----------------------------------	---------------------------------	----------------------------------

Figura 5.8 Captura 1 de pantalla aplicación libre de Cottes Group [11]

5

Resultados *i*

Altura media de evacuación	<input type="text" value="9"/>	m	Espesor humos admisible	<input type="text" value="6,5"/>	m	Altura desde el suelo	<input type="text" value="2,4"/>	m
Perímetro del fuego	<input type="text" value="18"/>	m	Área de fuego	<input type="text" value="20,25"/>	m ²	Flujo calor convectivo	<input type="text" value="20250"/>	kw
Masa de humos	<input type="text" value="13,38"/>	kg/s	Increment. máximo temperatura	<input type="text" value="1507,42"/>	°K	Increment. mínimo temperatura	<input type="text" value="1507,42"/>	°K
Increment. medio temperatura	<input type="text" value="1507,42"/>	kg/s	Temperatura ambiente	<input type="text" value="293"/>	°K	Temperatura capa humo	<input type="text" value="1800,42"/>	°K

6

Superficie aerodinámica necesaria *i*

Relación superficie evacuación / superficie entrada de aire	<input type="text" value="1"/>
Superficie aerodinámica necesaria por depósito de humos	<input type="text" value="2,82"/> m ²

Figura 5.9 Captura 2 de pantalla aplicación libre de Cottes Group [11]

7

Selección de tipo de aireador y número de aireadores *i*

Tipo	EURA
Modelo	<input type="text" value="240-4"/>
Coefficiente aerodinámico	<input type="text" value="0,6"/>
Valor mínimo*	
Ancho Exutorio	<input type="text" value="2400"/> mm
Largo Exutorio	<input type="text" value="940"/> mm
Superf. geométrica exutorio	<input type="text" value="2,26"/> m ²
Superf. aerodinámica exutorio	<input type="text" value="1,35"/> m ²
Ancho obstrucción	<input type="text" value="0"/> mm
Aumentos superf. (doble obstrucc.)	<input type="text" value="0"/> m ²
Nº total exutorios por depósito	<input type="text" value="3"/>
Nº total exutorios en la nave	<input type="text" value="12"/>

Figura 5.10 Captura 3 de pantalla aplicación libre de Cottes Group [11]

5.2.4 Cálculo a través de la aplicación diseñada

A continuación se muestran los datos introducidos y los resultados del mismo problema utilizando el programa diseñado.

INTRODUCCIÓN DE DATOS DE LA NAVE INDUSTRIAL SIN ACTIVIDAD PRINCIPAL DE ALMACENAMIENTO

Superficie del sector de incendio de la nave [m²] 1737,5 No van a instalarse rociadores

Altura del sector de incendio de la nave [m] 9

Taller de reparación de partes mecánicas

AYUDA CALCULAR

Figura 5.11 Introducción de datos del enunciado en aplicación diseñada

RESULTADOS NAVE INDUSTRIAL CON ACTIVIDAD PRINCIPAL DISTINTA A LA DE ALMACENAMIENTO

Categoría de uso de la nave	Categoría 2	Altura bajo techo hc [m]	9
Dimensiones del incendio (ancho x largo) [m]x[m]	4,5x4,5	Espesor de la capa de humos d1 [m]	6,5
Superficie del incendio Af [m ²]	20	Caudal másico de humos I11 [kg/s]	13,52
Perímetro del incendio Wf [m]	18	Flujo de calor por convección Q1 [kW]	20000
Potencia calorífica del incendio qf [kW/m ²]	1250	Temperatura media de los gases por encima de la del ambiente θ1 [K]	1473,5
Altura libre de humos Y [m]	2,5	Promedio de temperatura absoluta de los gases T1 [K]	1766,5

SUPERFICIE AERODINÁMICA >>

AYUDA

Figura 5.12 Resultados 1

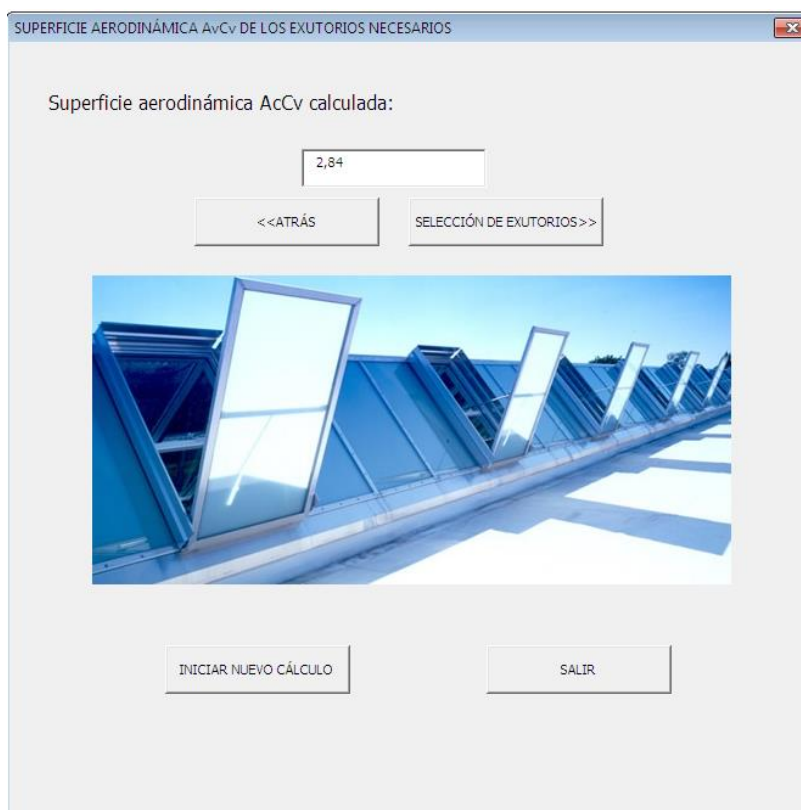


Figura 5.13 Resultados 2

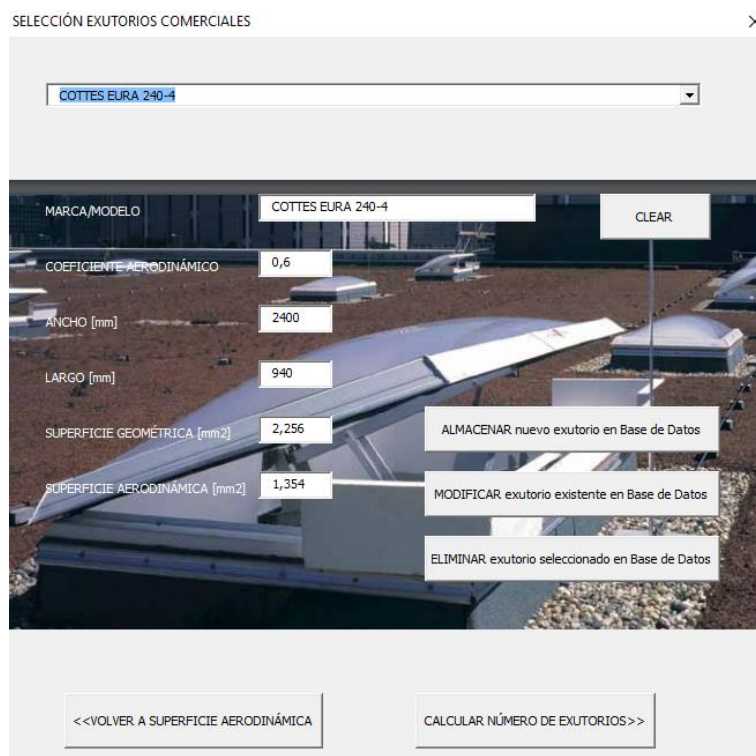


Figura 5.14 Selección de exutorio comercial

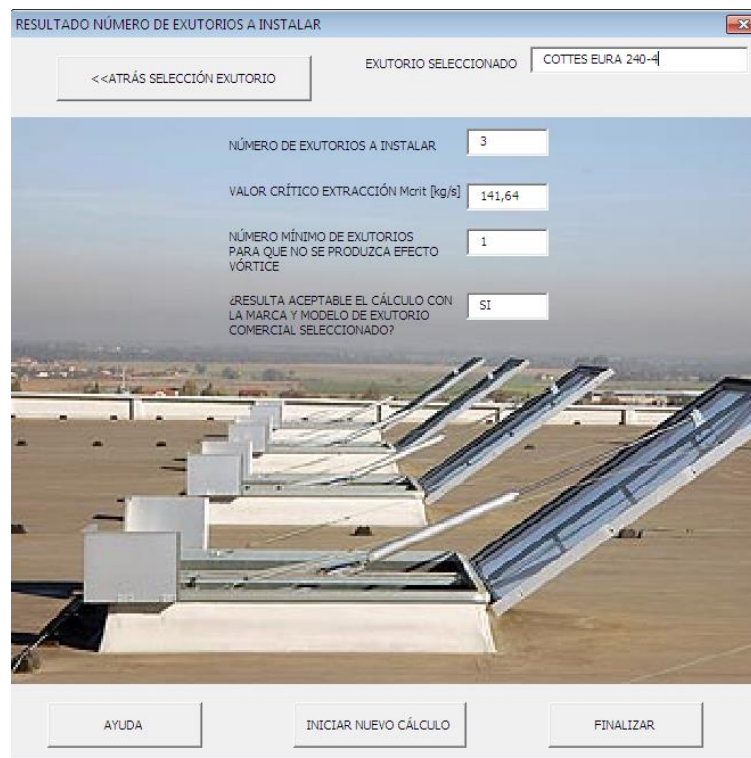


Figura 5.15 Resultados 3

5.2.5 Resultados

A continuación se muestra una tabla con todos los datos obtenidos en los anteriores apartados. Tal y como puede observarse los resultados son prácticamente exactos y las únicas diferencias observadas se dan por efecto de los decimales empleados.

Tabla 5.2. Comparativa de resultados Caso 2 realizados manualmente, con la aplicación libre de la compañía Cottes Group y con la aplicación diseñada.

Parámetros	Manual	Aplicación Cottes Group	% error	Aplicación diseñada	%error
Categorías de uso de la nave	Categoría 2	Lo introduce el usuario	-	Categoría 2	0%
Dimensiones del incendio (ancho x largo) [m]x[m]	4,5x4,5	Lo introduce el usuario	0%	4,5x4,5	0%
Superficie del incendio Af [m ²]	20	20,25	1,25%	20	0%
Perímetro de incendio Wf [m]	18	18	0%	18	0%
Potencia calorífica del incendio qf [kW/m ²]	1250	Lo introduce el usuario	-	1250	0%
Altura libre de humos Y [m]	2,5	Lo introduce el usuario	-	2,5	0%
Altura bajo techo hc [m]	9	9	0%	9	0%
Espesor de la capa de humos d1 [m]	6,5	6,5	0%	6,5	0%
Caudal másico de humos Mf [kg*s]	13,52	13,38	1%	13,52	0%
Flujo de calor por convección Ql [kW]	20000	20250	1,3%	20000	0%
Temperatura media de los gases por encima de la del ambiente θ_1 [K]	1473,4	1507,42	2,3%	1473,5	0%

Análisis y diseño de una aplicación informática de la norma UNE23585:2004 de Sistemas de Control de Temperatura y Evacuación de Humos para naves de una sola planta con actividad industrial, incluida la de almacenamiento

Parámetros	Manual	Aplicación Cottes Group	% error	Aplicación diseñada	%error
Temperatura media absoluta de los gases de la capa flotante de un depósito de humos T1 [K]	1766,4	1800,42	1,9%	1766,5	0%
Superficie aerodinámica (AvCv) de los exutorios	2,84	2,82	0,7%	2,84	0%
Número de exutorios a instalar por depósito (número entero)	3	3	0%	3	0%
Número total de exutorios en la nave (número entero)	12	12	0%	12	0%
Valor crítico de extracción Mcrit [kg/s]	141,48	-	-	141,64	0,1%
Número mínimo de exutorios para que no se produzca efecto vórtice	0,02	-	-	0,02	0%
Número mínimo de exutorios para que no se produzca efecto vórtice (número entero)	1	-	-	1	0%
Resulta aceptable el cálculo con el modelo de exutorio comercial seleccionado?	SI	-	-	SI	0%
Exutorio seleccionado	COTTES EURA 240-4	COTTES EURA 240-4	-	COTTES EURA 240-4	-

6 Análisis de los parámetros principales implicados en los cálculos

6.1 Deducción teórica

La fórmula principal de la superficie aerodinámica de los exutorios utilizada es la siguiente:

$$A_{vtot} \cdot C_v = \frac{M_1}{\rho_{amb}} \cdot \left(\frac{T_1^2 + \left(\frac{A_{vtot} \cdot C_v}{A_i \cdot C_i} \right)^2 \cdot T_{amb} \cdot T_1}{2 \cdot g \cdot d_1 \cdot \theta_1 \cdot T_{amb}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6.1)$$

Observando dicha expresión y considerando que la g , ρ_{amb} y T_{amb} no van a ser parámetros manipulables, se deducen las siguientes relaciones:

- A mayor caudal de humos M_1 generado, mayor superficie aerodinámica de exutorios necesaria.
- A mayor coeficiente de descarga C_v del exutorio, se requiere menor superficie aerodinámica.
- A mayor temperatura absoluta T_1 en la capa flotante de un depósito de humos, se requiere una mayor superficie de exutorios.
- A mayor profundidad de la capa flotante de humos d_1 , se requiere menos superficie aerodinámica de los exutorios.
- A mayor temperatura media de los gases por encima de la del ambiente θ_1 , menor superficie aerodinámica de los exutorios requerida (este valor depende de T_1 y éste último tiene mayor peso).
- Cuanta más superficie aerodinámica de las entradas de aire $A_i \cdot C_i$ con respecto la superficie aerodinámica de los exutorios $A_{vtot} \cdot C_v$, menor superficie aerodinámica de los exutorios requerida. (Esta relación suele establecerse en uno).

Observando los exponentes de la expresión se concluye que los parámetros de mayor influencia son en primer lugar el caudal de humos que se genera, el coeficiente de descarga del exutorio instalado, la temperatura absoluta de la capa flotante, la relación superficie extracción-superficie entrada de aire, la profundidad de la capa flotante y la temperatura media de los gases por encima de la del ambiente (este valor depende de T_1).

Fruto de este análisis se determina que si queremos obtener una superficie aerodinámica mínima en un diseño, será recomendable que el incendio base de diseño genere **poco caudal de humo**, que los **exutorios instalados tengan un coeficiente de descarga elevado**, que la **temperatura absoluta de la capa flotante no sea elevada** y la **profundidad de la capa flotante también sea elevada**.

Sabemos que el caudal de humo depende (ecuación 3.9 y 2.4) del coeficiente de caudal de entrada para un gran penacho de humos de incendio (C_e). Se trata de un factor que tiene en cuenta aspectos dimensionales y también el calor producido por el fuego donde $C_e=0,19$ para recintos de gran-espacio donde el techo está muy por encima del incendio y un $C_e=0,337$ para habitaciones de pequeño-espacio con aberturas de aireación predominantemente al lado del incendio. Al ser una nave industrial es poco probable que podamos jugar con este factor, puesto que las condiciones ambientales y el calor de llama suelen ser los mismos (1100K) y dimensionalmente es muy probable que nos encontremos

siempre con espacios grandes y que la anchura de la mayor dimensión del espacio, sea muchas veces (al menos 5) el diámetro teórico de fuego.

El caudal de humo (ecuación 3.9) también depende del perímetro de incendio y éste a su vez, depende del tipo de material almacenado y de como se comporte como combustible, de la existencia de rociadores o no y de las dimensiones de las estanterías de almacenamiento en el caso de que estemos con una actividad principal de almacenamiento. Materiales que se queman con facilidad y generan humo, la no existencia de rociadores o dimensiones de estanterías elevadas (tanto de ancho como de alto) facilitan que el perímetro de incendio sea mayor y por tanto, el caudal de humo a considerar. En el caso de que no se considere un almacenamiento a gran altura el tipo de material tiene mayor importancia que en el caso de almacenamientos a gran altura. En éste último pasa a tener mayor peso el hecho de que se utilicen rociadores o no y la disposición de los materiales combustibles frente al tipo de combustible.

Si la actividad no es principalmente de almacenamiento entonces el perímetro depende exclusivamente del material combustible que podamos encontrar en la nave (por lo tanto de la actividad) siendo los materiales que combustionan con facilidad, los que van asociados a dimensiones más grandes del perímetro teórico de incendio.

Por último la altura libre de humos Y influye el valor del caudal de humos, además es un factor que está elevado por 1,5 por lo que tiene una influencia a considerar. En naves con actividad principal de almacenamiento es la altura de las estanterías del almacén +1,5 por lo que nuevamente la altura del material almacenado tiene una influencia. En naves sin actividad principal de almacenamiento se suele considerar un valor fijo de 2,5 (página 36[1]) según si la edificación tiene más o menos aforo de personas (edificaciones públicas o no públicas. Por lo que se ha indicado cabe esperar que la altura libre de humos sea mucho mayor en naves con actividad de almacenamiento que en otras actividades industriales.

El espesor de la capa de humos depende directamente de la altura de la nave y la altura libre de humos ya que ésta es la diferencia entre la altura de la nave y la altura libre de humos. Para que el espesor sea elevado suele interesar que la altura de la nave sea elevada y en ocasiones puede ser recomendable utilizar elementos como las cortinas de humos para facilitar que se genere un espesor considerable.

En cuanto a la temperatura media de los gases por encima de la del ambiente θ_1 (ecuación 3.2) cabe indicar que para que esta sea elevada requiere de un flujo de calor convectivo en los gases del humo grande con respecto el caudal de humos. El calor convectivo es 0,8 veces el valor del calor emitido predeterminado para el modelo de incendio de diseño ($q_f \cdot A_f$). Por tanto, una vez más importa el tipo de material que se esté quemando (calor liberado) y el tamaño del incendio teórico que depende como lo hacía el valor del perímetro, del material combustible, de la existencia de rociadores y dimensiones de almacenamiento, en el caso de actividades de almacenamiento.

6.2 Comprobación mediante el programa diseñado

Aprovechando que se dispone de la aplicación de cálculo diseñada, se procede a comprobar que las deducciones realizadas son correctas y la influencia de los cambios que se realicen en los datos input del programa.

6.2.1 Relación de parámetros en naves industriales con actividad principal de almacenamiento

A continuación se muestran resultados de los diferentes casos estudiados. Generalmente de un caso a otro se cambia uno de los parámetros input con el fin de poder analizar las influencias y relaciones existentes entre las variables.

Tabla 6.1. Resultado de diferentes casos calculados para comprobar la influencia de las distintas variables que entran en juego en la metodología de cálculo con actividad principal de almacenamiento.

tipo	parámetro	caso 1	caso 2	caso 3	caso 4	caso 5	caso 6	caso 7	caso 8
dato input	Ancho de estanterías de almacenamiento [m]	1	1	2	1	1	1	1	1
dato input	Ancho de pasillos[m]	1	1	1	1	1	1	1	1
dato input	Alto de estanterías de almacenamiento [m]	8	8	8	8	1	1	8	8
ato input	Alto de la nave[m]	9	9	9	12	9	9	9	9
dato input	Rociadores	NO	De techo	De techo	De techo	De techo	De techo	En techo y niveles intermed.	De techo
dato input	Tipo de embalajes	Incombust.	Incombust.	Incombust.	Incombust.	Incombust.	Todos no incluidos C1,C2	Incombust.	Todos no incluidos C1,C2
dato input	Materiales almacenados	Abonos	Abonos	Abonos	Abonos	Abonos	Fuegos artificiales	Abonos	Fuegos artificiales
dato input	Categoría de almacenaje	SC1	SC1	SC1	SC1	SC1	SC4	SC1	SC4
dato output	Superficie del incendio[m ²]	81	25,91	36,58	25,91	1,57	81	12,95	25,91
dato output	Perímetro del incendio[m]	36	13,43	15,43	13,43	3,43	36	6,72	13,43
dato output	Espesor de la capa de humos[m]	0,5	0,5	0,5	3,5	7,5	7,5	0,5	0,5
dato output	Caudal másico de humos[kg/s]	169,51	63,25	72,66	63,25	1,2	12,57	31,62	63,25
dato output	Flujo de calor por convección[kW]	567000	12955	18288,33	12955	785,76	785,76	6477,5	12955
dato output	Temperatura media de los gases[K]	3331,69	204,02	250,68	204,02	653,86	62,28	204,02	204,02
dato output	Superficie aerodinámica [m ²]	168,5	42,25	47,13	15,97	0,2	3	21,12	42,25

Se observa que las influencias desarrolladas en el apartado teórico 6.1 se cumplen, observando influencias importantes según el uso o no de rociadores y tipo utilizado, se observa influencia en la superficie aerodinámica dependiendo del espesor de la capa de

humos que suele venir relacionado con el alto de las estanterías y también con el alto de la nave (no influye sobre las dimensiones teóricas de incendio y otros parámetros como el caudal másico de humos o temperaturas y flujos convectivos casos 2 y 4). También se constata gran influencia de las dimensiones del incendio teórico (relacionado con caudal de humos y flujo por convección) que vienen marcadas por las dimensiones de las estanterías de almacenamiento. Sólo en el caso de encontrarnos en un almacenamiento de baja altura (caso 6), existe mayor influencia de los tipos de materiales almacenados y del tipo de embalaje. En gran altura las variables de mayor peso son las dimensionales del almacén.

6.2.2 Relación de parámetros en naves industriales sin actividad principal de almacenamiento

A continuación se muestra una tabla con todos los datos obtenidos según distintos casos estudiados, en los que se ha modificado al menos una de las variables para comprobar las influencias existentes.

Tabla 6.2. Resultado de diferentes casos calculados para comprobar la influencia de las distintas variables que entran en juego en la metodología de cálculo con actividad principal de almacenamiento.

tipo	parámetro	caso 1	caso 2	caso 3	caso 4	caso 5	caso 6	caso 7	caso 8
dato input	Superficie del sector de incendio de la nave [m2]	1500	1500	1500	1500	3000	1500	1500	1500
dato input	Altura del sector de incendio de la nave [m]	9	13	9	9	9	9	9	9
dato input	Rociadores	NO	NO	De techo	De techo e intermedios	NO	NO	NO	NO
dato input	Usos de la nave industrial	Abonos quim.	Abonos quim.	Abonos quim.	Abonos quim.	Abonos quim.	Almacén de harinas	Cafés	Asfaltos
dato output	Categoría de uso de la nave	Cat.2	Cat.2	Cat.2	Cat.2	Cat.2	Cat.3	Cat.1	Cat.4
dato output	Superficie del incendio[m2]	20	20	20	20	20	36	9	81
dato output	Perímetro del incendio[m]	18	18	18	18	18	24	12	36
dato output	Espesor de la capa de humos[m]	6,5	10,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
dato output	Caudal másico de humos[kg/s]	13,52	13,52	13,52	13,52	13,52	18,02	9,01	27,04
Dato output	Flujo de calor por convección[kW]	20000	20000	10000	10000	20000	36000	9000	81000
dato output	Temperatura media de los gases[K]	1473,53	1473,53	736,77	736,77	1773,53	1989,27	994,64	2983,91
dato output	Superficie aerodinámica[m2]	2,84	2,23	2,45	2,45	2,84	4,14	1,72	7,15

Se observa que cuando la actividad principal no es de almacenamiento, las influencias que dependen de la actividad de la nave y por tanto, del tipo de material combustible que pueda arder, son fundamentales en la superficie aerodinámica a obtener.

Con la metodología propuesta por la norma no se constata influencia dimensional del sector de incendio, significativa. El uso o no de rociadores implica diferencias en el flujo de calor por convección, temperaturas y superficie aerodinámica, pero no en el caudal de humos. A diferencia del caso de almacenamiento, no se establecen diferencias según la tipología de rociador.

El espesor de la capa de humos que viene marcado por la altura de la nave, también tiene cierta influencia en el resultado final y no modifica ni los parámetros de caudal másico, temperaturas o flujo de calor, sino que directamente modifica la superficie aerodinámica.

7 Conclusiones

Una vez realizado el trabajo final de máster se destaca que me ha permitido ampliar conocimientos acerca del tema de conraincendios, más concretamente de los sistemas de control de temperatura y evacuación de humos. Este tema era desconocido para mi puesto que nunca ha entrado dentro de mi ámbito laboral y académico. Asimismo me ha ayudado a ampliar mis conocimientos de Excel y Visual Basic y considero que dominar estas cuestiones para poder diseñar aplicaciones como la creada en este trabajo, pueden ser muy útiles de cara a un futuro como herramienta de soporte a cualquier trabajo que pueda realizarse dentro del ámbito de la ingeniería u otras aplicaciones.

El programa diseñado es capaz de utilizar la metodología propuesta por la norma estudiada UNE23585:2004 y permite obtener resultados equivalentes a los realizados manualmente y con la aplicación que ofrece la compañía Cottes Group [11] dedicada a suministrar material y estudios sobre estos sistemas.

Se concluye que dados los resultados obtenidos en el apartado 5, el programa de cálculo diseñado es válido para calcular el número de exutorios necesario para una nave de una sola planta con actividades industriales, incluida la de almacenamiento. Una vez diseñado y validado se ha utilizado para analizar la influencia de las distintas variables que están en juego en estos cálculos, con el fin de obtener una mejor comprensión del problema.

Los factores más importantes para el cálculo de la superficie aerodinámica y en consecuencia, el número de exutorios son el caudal de humos que se genera, que depende básicamente del perímetro de fuego, el calor producido por el fuego y la altura libre de humos, el coeficiente de descarga del exutorio instalado, la temperatura absoluta T_1 de la capa flotante, la profundidad de la capa flotante y la temperatura media de los gases por encima de la del ambiente (este valor depende de T_1).

Se determina que si queremos obtener una superficie aerodinámica mínima en un diseño, será recomendable que el incendio base de diseño genere poco caudal de humo (tenga un perímetro de fuego reducido, los combustibles tengan una baja tasa de calor liberado y la altura libre de humos no sea excesiva), que los exutorios instalados tengan un coeficiente de descarga elevado, que la temperatura absoluta de la capa flotante no sea elevada y la profundidad de la capa flotante sea elevada.

Se constatan ciertas particularidades del caso nave industrial con actividad principal de almacenamiento y el caso de la nave sin dicha actividad principal. En el primer caso el factor del material que arde es menos crucial (sobre todo en almacenes a grandes alturas cuyo factor más importante es la geometría de las estanterías del material almacenado) que en el segundo caso, que resulta un factor fundamental.

Se destaca la importancia en los diseños de permitir cierta altura libre de humos para que las personas que estén en el edificio durante el incendio tengan unas mínimas condiciones para evacuar o bien al menos, que las pueda tener el personal contra incendios.

La geometría interna de los edificios, los materiales empleados en la construcción del edificio, la ventilación y los sistemas de control de temperatura y evacuación de humos pueden ser clave a la hora de minimizar las consecuencias de un incendio, por tanto, es importante tener en cuenta todos estos aspectos tanto por los requisitos normativos que deben ser cumplidos, como también para utilizar criterios que favorezcan la seguridad en los diseños.

8 Referencias

8.1 Normativas

- [1] UNE23585:2004 "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".
- [2] Reglamento de Seguridad Contra Incendios para los Establecimientos Industriales (RD2267/2004, del 3 de diciembre).
- [3] UNE-EN12101-6:2006 "Sistemas para control de humo y de calor. Parte6: Especificaciones para los sistemas de diferencial de presión. Equipos".
- [4] UNE23584:2008 "Seguridad contra incendios. Sistemas de control de temperatura y evacuación de humos (SCTEH). Requisitos para la instalación en obra, puesta en marcha y mantenimiento periódico de los SCTEH.

8.2 Libros y artículos

- [5] Andrés Aznar Carrasco, "Protección contra incendios", 2ª ed, Ed.Alción, Madrid 1999.
- [6] Jesús Manuel Quintela Cortes, "Instalaciones contra incendios", 1a ed, Ed. UOC, Barcelona 2010.
- [7] Juan M. Suay Belenguer, "Manual de instalaciones contra incendios", 1a ed, Ed. AMV, Madrid 2010.
- [8] Álvaro Fernández de Castro Díaz, "Nota técnica de prevención: Sistemas de control de temperatura y evacuación de humos de incendio", Centro nacional de medios de protección, 2012.
- [9] Michèle Amelot, "VBA Excel 2010. Programación en Excel: Macros y lenguaje VBA", 1ª ed, Ed ENI, Barcelona 2010.
- [10] Michael Halvorson, "Microsoft Visual Basic 2010. Step by step", Ed.Microsoft Press, Washington, 2010.

8.3 Páginas web

- [11] Aplicación de cálculo de Cottess group para naves con actividad principal distinta a la de almacenamiento: <http://www.cottesgroup.com/aula-tecnica/calculo-prescriptivo-de-scteh.html>
- [12] Exutorios Comerciales de Salvador Escoda: [http://www.salvadorescoda.com/tecnico/CM/tec%20CM04001-250 Exutorios.pdf](http://www.salvadorescoda.com/tecnico/CM/tec%20CM04001-250%20Exutorios.pdf)
- [13] Efecto vórtice: <http://blog.prefire.es/2015/05/plugholing-o-minimo-numero-de-puntos-de-extraccion-de-humos/>
- [14] https://www.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=1030496

ANEXO I

**MANUAL DE PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN DE
CÁLCULO**

**Trabajo Final de Máster
dirigido por Dr. Carlos Turón**

Máster en Ingeniería Industrial



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

**Tarragona
2016**

1. Pantalla de inicio de la aplicación

La pantalla de inicio del programa se diseña a través de un formulario de Visual Basic 7.0. En él se vinculan las cuatro opciones existentes a sus formularios correspondientes. Las opciones son el salir del programa (CommandButton2), calcular el caso tipo de la nave industrial con actividad principal de almacenamiento (CommandButton1), realizar el cálculo del caso tipo de la nave industrial con actividad principal distinta al almacenamiento (CommandButton3) o el ir a la opción de fijar las variables ambientales (CommandButton4).

El código vinculado al primer formulario (UserForm1) es el siguiente:

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
Unload UserForm1  
UserForm2.Show  
Sheets("Hoja1").Select  
End Sub  
Private Sub CommandButton2_Click()  
End  
End Sub  
Private Sub CommandButton3_Click()  
Unload UserForm1  
UserForm7.Show  
Sheets("Hoja1").Select  
End Sub  
Private Sub CommandButton4_Click()  
Unload UserForm1  
UserForm21.Show  
End Sub
```

Figura I.1. Código UserForm1.

2. Nave industrial de una planta con actividad principal de almacenamiento

2.1 Datos de entrada

Los siguientes datos se introducen directamente en la hoja de cálculo de Microsoft Excel a través del formulario de Visual Basic (UserForm2). Cada TextBox o ComboBox de los datos input tiene asignada una celda específica de la Hoja 1 del Excel:

Tabla I.1. Relación entre Excel y Visual Basic de los parámetros de entrada del programa.

Datos input del programa	Celda Excel	Objeto Visual Basic
Ancho estanterías de almacenamiento w [m]	B4	TextBox1
Alto estanterías de almacenamiento h [m]	B5	TextBox4
Ancho de pasillos [m]	B6	TextBox3
Altura de la nave (o altura bajo techo) hc [m]	B23	TextBox5
Tipo de rociadores	B7	ComboBox1
Embalajes del material almacenado	B8	ComboBox2
Materiales almacenados	B9	ComboBox3

```

Private Sub CommandButton1_Click()
    Sheets("Hoja1").Select
    ActiveSheet.Cells(4, 2) = Val(TextBox1.Text)
    ActiveSheet.Cells(5, 2) = Val(TextBox4.Text)
    ActiveSheet.Cells(6, 2) = Val(TextBox3.Text)
    ActiveSheet.Cells(7, 2) = ComboBox1
    ActiveSheet.Cells(8, 2) = ComboBox2
    ActiveSheet.Cells(9, 2) = ComboBox3
    ActiveSheet.Cells(23, 2) = Val(TextBox5.Text)
    Unload UserForm2
    Load UserForm3
    UserForm3.Show
End Sub
Private Sub CommandButton2_Click()
    Unload UserForm2
    Load UserForm4
    UserForm4.Show
End Sub

```

Figura I.2. Código vinculado al formulario 2 UserForm2

El formulario de datos de entrada tiene dos botones. Uno que permite acceder a un formulario de ayuda (UserForm4) y otro botón (CommandButton1-calcular) que conduce al primer formulario de resultados (UserForm3).

2.1 Cálculos y resultados

Los primeros resultados que se obtienen están relacionados con el formulario UserForm3.

```

Private Sub UserForm_Activate()
    Sheets("Hoja1").Select
    Me.TextBox3.Value = Round(Hoja1.Range("B18"), 2)
    Me.TextBox4.Value = Round(Hoja1.Range("B19"), 2)
    Me.TextBox5.Value = Round(Hoja1.Range("B20"), 2)
    Me.TextBox8.Value = Round(Hoja1.Range("B21"), 2)
    Me.TextBox9.Value = Round(Hoja1.Range("B22"), 2)
    Me.TextBox10.Value = Round(Hoja1.Range("B24"), 2)
    Me.TextBox11.Value = Round(Hoja1.Range("B25"), 2)
    Me.TextBox12.Value = Round(Hoja1.Range("B26"), 2)
    Me.TextBox13.Value = Round(Hoja1.Range("B27"), 2)
    Me.TextBox14.Value = Round(Hoja1.Range("B28"), 2)
End Sub
Private Sub CommandButton1_Click()
    Unload UserForm3
    Load UserForm5
    UserForm5.Show
End Sub
Private Sub CommandButton2_Click()
    Unload UserForm3
    Load UserForm6
    UserForm6.Show
End Sub

```

Figura I.3. Código vinculado al formulario 3 UserForm3

En este formulario se asocia cada TextBox a la celda correspondiente de Microsoft Excel. Esta asignación se produce una vez se activa el formulario indicado. Tal y como se puede observar, los botones existentes conducen a otros formularios que serán descritos posteriormente.

Tal y como se ha indicado, los datos input se asocian a una serie de celdas de Microsoft Excel. La hoja de cálculo efectuará los cálculos tal y como se muestra a continuación.

	A	B	C	D
1	Cálculo SCTEH UNE 23585			
2	<u>CASO TIPO: nave industrial de una planta con actividad principal de almacenamiento</u>			
3				
4	Ancho estanterías de almacenamiento w [m]	3		
5	Alto estanterías de almacenamiento h [m]	6		
6	Ancho de pasillos [m]	2		
7	Tipo de rociadores	Rociadores de techo		
8	Embalajes del material almacenado	Embalajes incombustibles, eventualmente colocados sobre palets de madera	C2	
9	Materiales almacenados	Cables eléctricos, telefónicos y telegráficos	S2	C2S2
10	Categorías de almacenaje	SC2		
11	Altura crítica de almacenaje [m]	3		
12	Se trata de un almacenamiento a gran altura?	SI		
13	Ancho del incendio en la base [m]	3	FALSO	
14	Superficie del incendio Af [m2] para almacenamiento de gran altura	32,57437416	entre 9 y 81	
15	Perímetro de incendio para almacenamiento de gran altura Wf [m]	14,57437416		
16	Superficie del incendio Af [m2] para almacenamiento de poca altura	20		
17	Perímetro Wf mediante tabla normalizada para almacenamiento de poca altura [m]	18		
18	FINAL Ancho del incendio en la base (según el tipo de almacenamiento (gran altura/poca altura) [m]	3		
19	FINAL Af final (según el tipo de almacenamiento (gran altura/poca altura)	32,57437416		
20	FINAL Wf (según el tipo de almacenamiento (gran altura/poca altura)	14,57437416		

Figura I.4. Captura de pantalla de la fila 1 a la 20 Hoja 1 de Excel

Tabla I.2. Relación de parámetros, celdas y fórmulas utilizadas hasta fila20 de la Hoja 1.

Parámetros	Celda Excel	Objeto Visual Basic	Fórmula asociada
	C8	-	=BUSCAR(B8;'Embalajes,categorías,alturacrít'!A1:A3;'Embalajes,categorías,alturacrít'!B1:B3)
	C9	-	=BUSCAR(B9;'Materiales almacenados'!A2:A123;'Materiales almacenados'!B2:B123)
	D9	-	=CONCATENAR(C8;C9)
Categorías de almacenaje	B10	TextBx1	=BUSCAR(D9;'Embalajes,categorías,alturacrít'!H6:H17;'Embalajes,categorías,alturacrít'!I6:I17)
Altura crítica de almacenaje [m]	B11	TextBx2	=BUSCAR(B10;'Embalajes,categorías,alturacrít'!H21:H24;'Embalajes,categorías,alturacrít'!I21:I24)
¿Se trata de un almacenamiento a gran altura?	B12	-	=SI(B5>B11;"SI";"NO")
Ancho del incendio en la base [m]	B13	-	=B4
Superficie del incendio Af [m2] para almacenamiento de gran altura	C13	-	=SI(B12="NO";BUSCAR(B10;'dimen incendio'!A1:A4;'dimen incendio'!B1:B4))
Perímetro de incendio para almacenamiento de gran altura Wf [m]	B14	-	=BUSCAR(B7;'dimen incendio'!A7:A9;'dimen incendio'!F7:F9)
Perímetro de incendio para almacenamiento de gran altura Wf [m]	B15	-	=BUSCAR(B7;'dimen incendio'!A7:A9;'dimen incendio'!G7:G9)

	Celda Excel	Objeto Visual Basic	Fórmula asociada
Superficie del incendio Af [m2] para almacenamiento de poca altura	B16	-	=BUSCAR(B10;'dimen incendio'!A1:A4;'dimen incendio'!E1:E4)
Perímetro Wf mediante tabla normalizada para almacenamiento de poca altura [m]	B17	-	=BUSCAR(B10;'dimen incendio'!A1:A4;'dimen incendio'!D1:D4)
FINAL Ancho del incendio en la base (según el tipo de almacenamiento (gran altura/poca altura) [m]	B18	TextBox3	=(SI(B12="SI";B13;C13))
FINAL Af final (según el tipo de almacenamiento (gran altura/poca altura)	B19	TextBox4	=SI(B12="SI";B14;B16)
FINAL Wf (según el tipo de almacenamiento (gran altura/poca altura)	B20	TextBox5	=SI(B12="SI";B15;B17)

	A	B	C
1	Categorías de almacenaje a gran altura		
2	Abonos (con exclusión de los nitratos	S1	
3	Aceiteras	S2	
4	Acumuladores eléctricos	S2	
5	Aguas gaseosas	S1	
6	Alcohol no paletizado	S1	
7	Alcohol sobre paletas	S2	
8	Alimentación	S1	
9	Almacenes de fibras textiles antes de la hilatura	S2	
10	Almacenes de tejidos, artículos manufacturados	S1	
11	Alquitranes	S2	
12	Aparatos eléctricos del hogar	S1	
13	Artículos marinos	S2	
14	Aserraderos	S2	
15	Asfaltos	S2	
16	Azúcar	S2	
17	Bandas magnéticas	S2	
18	Barnices	S2	
19	Barriles vacíos (no metálicos)	S2	
20	Betunes	S2	
21	Bombillas	S1	
22	Cables eléctricos, telefónicos y telegráficos	S2	
23	Carbones	S1	
24	Carpinterías	S2	
25	Cartones ondulados	S3	

Figura I.5. Captura parcial de pantalla de la hoja de Materiales almacenados de Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Embalajes incombustibles, eventualmente colocados sobre palets de madera	C1								
2	Embalajes de papel, cartón, cartón ondulado, madera o materias plásticas, excluyendo las espumas plastificadas puestas eventualmente sobre palets de madera	C2								
3	Todos los embalajes no incluidos en C1 o C2	C3								
4										
5	Tabla 1 Categorías de almacenaje								C1S1	SC1
6	Embalajes								C1S2	SC2
7	Materiales almacenados								C1S3	SC3
8			S1	S2	S3	S4			C1S4	SC4
9	C1	Embalajes incombustibles, eventualmente colocados sobre palets de madera	SC1	SC2	SC3	SC4			C2S1	SC2
10	C2	Embalajes de papel, cartón, cartón ondulado, madera o materias plásticas, excluyendo las espumas plastificadas puestas eventualmente sobre palets de madera	SC2	SC2	SC3	SC4			C2S2	SC2
11									C2S3	SC3
12									C2S4	SC4
13									C3S1	SC3
14									C3S2	SC3
15									C3S3	SC3
16									C3S4	SC4
17										
18	Tabla 2 Categorías de uso y altura crítica de almacenaje									
19	Categorías de uso	Espacios a proteger				Altura crítica de almacenaje				
20		Riesgo Ligero	Riesgo Normal	Riesgo elevado						
21				Fabricación	Almacenaje (tabla 1)			SC1	4	
22	Categoría 1	L	N1					SC2	3	
23	Categoría 2		N2					SC3	2,1	
24	Categoría 3		N3					SC4	1,2	
25	Categoría 4		N4	D1 a D4						
26										
27										
28										
29										
30										
31										

Figura I.6. Captura de pantalla de la hoja de Embalajes, categories, alturacrít de Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	SC1	3	3x3	12	9							
2	SC2	4,5	4,5x4,5	18	20							
3	SC3	6	6x6	24	36							
4	SC4	9	9x9	36	81							
5												
6						Superficie	Ensanche (perímetro de incendio)					
7	No van a instalarse rociadores					81	36					
8	Rociadores de techo					32,5743742	14,5743742					
9	Rociadores en techo y en niveles intermedios					16,2871871	7,28718708					
10												
11												
12	Ensanche del incendio en altura x fórmula para calcular Ensanche (perímetro)					1,07179677						
13												
14												
15												
16	Tabla M.1 Dimensiones normalizadas del incendio (Almacenaje con estanterías, con rociadores)											
17	Anchura del incendio en la base (véase la figura M.1) = anchura w de las estanterías											
18	Ensanche del incendio en altura (véase la figura M.1) $x = 2/3 \cdot h \cdot \tan 15^\circ = 0,18 h$ (metros)											
19	Rociadores en techo											
20	Rociadores en techo y en Niveles Intermedios											
21	Superficie del incendio (m^2) (min. $9 m^2$, máx. $81 m^2$)											
22	$A_f = 4/3 h (w + x)$											
23	$A_f = 2/3 h (w + x)$											
24	Ensanche del incendio en altura (véase la figura M.1)											
25	$W_f = 2 (w + 4x)$											
26	$W_f = w + 4x$											
27												
28												
29	Si el almacenaje no dispone de rociadores automáticos, aunque el incendio corre el riesgo de una combustión generalizada, si se especifica la instalación de un sistema de evacuación de humos para facilitar la evacuación y la acción de los servicios de extinción en las etapas iniciales del incendio, considerar:											
30	Perímetro del incendio: $W_f = 36 m$											
31	Superficie del incendio: $A_f = 9 \cdot 9 = 81 m^2$											
32												
33												
34												
35												
36												

Figura I.7. Captura de pantalla de la hoja de dimen incendio de Excel

	A	B	C	D	E
20	FINAL Wf (según el tipo de almacenamiento (gran altura/poca altura)	14,57437416			
21	Potencia calorífica del incendio qf [kW/m2]	625			
22	Altura libre de humos Y [m]	6,5	0,5m por encima de la materia almacenada		
23	Altura bajo techo hc [m]	9			
24	Espesor de la capa de humos d1 [m]	2,5			
25	Caudal másico de humos Mf [kg*s]	45,88952376	Y<	57,07	
26	Flujo de calor por convección Ql [kW]	16287,18708		Ql= qf * Af * α=kW Donde α es el factor por convección del flujo de calor total. En punto 622 norma valor de 0,8	
27	Temperatura media de los gases por encima de la del ambiente de la capa flotante de humos en un depósito de humos θ1 [K]	353,507654		θl= Ql / Mf * c	valor mínimo=20°C
28	Temperatura media absoluta de los gases de la capa flotante de un depósito de humos T1 [K]	646,507654		t1= tamb + θl	
29	Superficie aerodinámica (AvCv) de los exutorios	12,9527425			
30	MARCA/MODELO	COTTES DUO-THERMA 2525			
31	COEFICIENTE AERODINÁMICO	0,6			
32	ANCHO [mm]	2500			
33	LARGO [mm]	2500			
34	SUPERFICIE GEOMÉTRICA [mm2]	6,25			
35	SUPERFICIE AERODINÁMICA [mm2]	3,75			
36	Dv Dimensión lineal característica del aireador [m]	2,185096861			
37	Número de exutorios a instalar	3,454064667		4	
38	Valor crítico de extracción Mcrit [kg/s]	36,17423598			
39	Número mínimo de exutorios para que no se produzca efecto vórtice	0,358065406		1	
40	Resulta aceptable el cálculo con el modelo de exutorio comercial seleccionado?	SI			

Figura I.8. Captura de pantalla de la fila 21 a la 40 Hoja 1 de Excel

Tabla I.3. Relación de parámetros, celdas y fórmulas de la fila 21 a la 29 de la Hoja 1.

Parámetros	Celda Excel	Objeto Visual Basic	Fórmula asociada
Potencia calorífica del incendio qf [kW/m2]	B21	TextBx8	=BUSCAR(VERDADERO;'tasas de calor liberado anexo A'!C2:C5;'tasas de calor liberado anexo A'!F2:F5) (ver figura I.9 y explicación posterior de la hoja).
Altura libre de humos Y [m]	B22	TextBx9	=B5+0,5
Altura bajo techo hc [m]	B23		Ver tabla I.1 por ser dato input.
Espesor de la capa de humos d1 [m]	B24	TextBx10	=B23-B22
Caudal másico de humos Mf [kg*s]	B25	TextBx11	=0,19*B20*(B22)^(3/2)
Flujo de calor por convección Ql [kW]	B26	TextBx12	=B21*B14*0,8
Temperatura media de los gases por encima de la del ambiente θ1 [K]	B27	TextBx13	=B26/(B25*'parámetros de entrada'!\$C\$1)
Temperatura media absoluta de los gases de la capa flotante de un depósito de humos T1 [K]	B28	TextBx14	=B27+'parámetros de entrada'!\$C\$3
Superficie aerodinámica (AvCv) de los exutorios	B29	TextBox1	=B25/'parámetros de entrada'!\$C\$4*RAIZ((Hoja1!B28^2+(1^2)*'pa rámetros de entrada'!\$C\$3*Hoja1!B28)/(2*'parámetros de entrada'!\$C\$2*Hoja1!B24*Hoja1!B27*'parámetros de entrada'!\$C\$3))

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2	Rociadores en techo y en niveles intermedios		FALSO	Rociadores en techo y en niveles intermedios	250	625	
3	No van a instalarse rociadores	(conjuntos de combustible hasta 2m de altura).	FALSO	No van a instalarse rociadores (conjuntos de combustible hasta 2m de altura).	250	1250	<2
4	No van a instalarse rociadores	(conjuntos de combustible entre 2 y 4m de altura).	FALSO	No van a instalarse rociadores (conjuntos de combustible entre 2 y 4m de altura).	1750	8750	2<x>4
5	Rociadores de techo		VERDADERO	Rociadores de techo	250	625	
6							
7							
8	a)Incendio con rociadores	(conjuntos de combustible entre 2 y 4m de altura).					
9	qf(low)=250kW/m2						
10	qf(high)=625kW/m2						
11	b)Incendio sin rociadores						
12	-Combustible hasta 2m altura						
13	qf(low)=250kW/m2						
14	qf(high)=1250kW/m2						
15	-Combustible entre 2 y 4m de altura						
16	qf(low)=250*(hf-1)kW/m2						
17	qf(high)=1250*(hf-1)kW/m2						
18							
19							

Figura I.9. Captura de pantalla tasas de calor liberado anexo A

	A	B	C	D	E
1	calor del aire c		1,004	kJ/kg*K	
2	aceleración gravedad		9,81	m/s2	
3	temperatura ambiente		293	K	
4	densidad aire a la temperatura ambiente		1,225	kg/m3	
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					

Figura I.10. Captura de pantalla hoja parámetros de entrada de Excel

Tabla I.4. Relación de celdas y fórmulas utilizadas hoja tasas de calor liberado anexo A.

Celda	Fórmula asociada
B8	=SI(2<Hoja1!B5;" (conjuntos de combustible entre 2 y 4m de altura).";" (conjuntos de combustible hasta 2m de altura).")
C2	=\$A\$2=Hoja1!B7
C3	=Y(\$B\$8=\$B\$3;A3=Hoja1!B7)
C4	=Y(\$B\$8=\$B\$4;A4=Hoja1!B7)
C5	=A5=Hoja1!B7
E4	=250*(Hoja1!B5-1)
F4	=1250*(Hoja1!B5-1)

El UserForm5 está relacionado con el resultado de la superficie aerodinámica de los exutorios.

```

Private Sub CommandButton2_Click()
End
End Sub
Private Sub CommandButton4_Click()
Unload UserForm5
Load UserForm12
UserForm12.Show
End Sub
Private Sub UserForm_Activate()
Me.TextBox1.Value = Round(Hoja1.Range("B29"), 2)
End Sub
Private Sub CommandButton1_Click()
Unload UserForm5
Load UserForm1
UserForm1.Show
End Sub
Private Sub CommandButton3_Click()
Unload UserForm5
Load UserForm3
UserForm3.Show
End Sub

```

Figura I.11. Código UserForm5

A continuación pasamos al UserForm12 para una nueva entrada de datos sobre los exutorios comerciales que queremos instalar. A continuación se muestra el código utilizado en este formulario. Cabe destacar que este es el formulario más complejo donde se muestra en un ComboBox el listado existente de exutorios comerciales de la Base de Datos del programa. Ésta puede ser modificada añadiendo nuevos exutorios comerciales (botón Ch1), modificando los parámetros existentes en la Base de Datos (Ch2) y por último Eliminando si se considera oportuno, algún exutorio almacenado (Ch3).

Asimismo se ha programado un botón (clear-Ch5) para limpiar los datos de los TextBox con el fin de poder añadir información cuando se quiera añadir un exutorio nuevo en la base de datos.

A continuación se muestra el código asociado al UserForm12:

```

Private Sub CommandButton2_Click()
Unload UserForm12
Load UserForm13
UserForm13.Show
End Sub
Private Sub CommandButton3_Click()
Unload UserForm12
Load UserForm5
UserForm5.Show
End Sub
Private Sub Ch2_Click()
Dim Fila As Integer
Dim final As Integer
For Fila = 488 To 700
If Me.TBO01 = Cells(Fila, 1) Then
Cells(Fila, 2) = Val(TBO2.Text)
Cells(Fila, 3) = Val(TBO3.Text)
Cells(Fila, 4) = Val(TBO4.Text)
Cells(Fila, 5) = Val(TBO5.Text)
Cells(Fila, 6) = Val(TBO6.Text)
Exit For
End If
Next
Me.CBO1 = ""
Me.TBO01 = ""
Me.TBO2 = ""
Me.TBO3 = ""
Me.TBO4 = ""
Me.TBO5 = ""
Me.TBO6 = ""
End Sub
Private Sub Ch3_Click()
Dim Fila As Integer
Dim final As Integer
For Fila = 488 To 700
If Cells(Fila, 1) = "" Then
final = Fila - 1
Exit For
End If
Next
If MsgBox("¿Seguro que quiere eliminar este producto?", vbQuestion + vbYesNo) = vbYes Then
For Fila = final To 488 Step -1
'CORRECCIÓN: Esto hace que los registros se eliminen desde el final hasta la fila 2 con un paso de -1
If Me.TBO01 = Cells(Fila, 1) Then
Cells(Fila, 1).EntireRow.Delete
Exit For
End If
Next
MsgBox "Producto eliminado", vbInformation + vbOKOnly
Else
Exit Sub
End If

```

```

Me.CBO1 = ""
Me.TBO01 = ""
Me.TBO2 = ""
Me.TBO3 = ""
Me.TBO4 = ""
Me.TBO5 = ""
Me.TBO6 = ""
End Sub
Private Sub CBO1_Change()
Dim Fila As Integer
Dim final As Integer
For Fila = 488 To 700
If Cells(Fila, 1) = "" Then
final = Fila - 1
Exit For
End If
Next
For Fila = 488 To 700
If CBO1 = Cells(Fila, 1) Then
Me.TBO01 = Cells(Fila, 1)
Me.TBO2 = Cells(Fila, 2)
Me.TBO3 = Cells(Fila, 3)
Me.TBO4 = Cells(Fila, 4)
Me.TBO5 = Cells(Fila, 5)
Me.TBO6 = Cells(Fila, 6)
Exit For
End If
Next
ActiveSheet.Cells(30, 2) = CBO1
ActiveSheet.Cells(31, 2) = Val(TBO2.Text)
ActiveSheet.Cells(32, 2) = Val(TBO3.Text)
ActiveSheet.Cells(33, 2) = Val(TBO4.Text)
ActiveSheet.Cells(34, 2) = Val(TBO5.Text)
ActiveSheet.Cells(35, 2) = Val(TBO6.Text)
End Sub
Private Sub Ch1_Click()
Dim Fila As Integer
Dim final As Integer
Dim REGISTRO As Integer
For Fila = 488 To 700
If Cells(Fila, 1) = "" Then
final = Fila
Exit For
End If
Next
For REGISTRO = 488 To final
If Cells(REGISTRO, 1) = Me.TBO01 Then
MsgBox "El registro ya existe"
Exit Sub
Exit For
End If
Next

```

```

If MsgBox("¿Son correctos los datos?" + Chr(13) + "¿Desea proceder?", vbOKCancel) = vbOK Then
Cells(final, 1) = Me.TBO01
Cells(final, 2) = Val(TBO2.Text)
Cells(final, 3) = Val(TBO3.Text)
Cells(final, 4) = Val(TBO4.Text)
Cells(final, 5) = Val(TBO5.Text)
Cells(final, 6) = Val(TBO6.Text)
Me.CBO1 = ""
Me.TBO01 = ""
Me.TBO2 = ""
Me.TBO3 = ""
Me.TBO4 = ""
Me.TBO5 = ""
Me.TBO6 = ""
Else
Exit Sub
End If
End Sub

Private Sub Ch5_Click()
TBO01 = Empty
TBO2 = Empty
TBO3 = Empty
TBO4 = Empty
TBO5 = Empty
TBO6 = Empty
End Sub

```

Figura I.12. Código UserForm12

	A	B	C	D	E	F
487	MARCA Y MODELO	COEFICIENTE AERODINÁMICO	ANCHO mm	LARGO mm	SUPERFICIE GEOMÉTRICA	SUPERFICIE AERODINÁMICA
488	COTTES DUO-THERMA 1520	0,60	1500,00	2000,00	3,00	1,80
489	COTTES DUO-THERMA 2020	0,60	2000,00	2000,00	4,00	2,40
490	COTTES DUO-THERMA 2525	0,6	2500	2500	6,25	3,75
491	COTTES EURA 060-10	0,6	600	2260	1,356	0,8136
492	COTTES EURA 060-11	0,6	600	940	1,49	0,89
493	COTTES EURA 060-11	0,60	600,00	2480,00	1,49	0,89
494	COTTES EURA 060-12	0,60	600,00	2700,00	1,62	0,97
495	COTTES EURA 060-13	0,60	600,00	2920,00	1,75	1,05
496	COTTES EURA 060-3	0,60	600,00	720,00	0,43	0,26
497	COTTES EURA 060-4	0,60	600,00	940,00	0,56	0,34
498	COTTES EURA 060-5	0,60	600,00	1160,00	0,70	0,42
499	COTTES EURA 060-6	0,60	600,00	1380,00	0,83	0,50
500	COTTES EURA 060-7	0,60	600,00	1600,00	0,96	0,58
501	COTTES EURA 060-8	0,60	600,00	1820,00	1,09	0,66
502	COTTES EURA 060-9	0,60	600,00	2040,00	1,22	0,73
503	COTTES EURA 120-10	0,60	1200,00	2260,00	2,71	1,63
504	COTTES EURA 120-11	0,60	1200,00	2480,00	2,98	1,79
505	COTTES EURA 120-12	0,60	1200,00	2700,00	3,24	1,94
506	COTTES EURA 120-13	0,60	1200,00	2920,00	3,50	2,10
507	COTTES EURA 120-3	0,60	1200,00	720,00	0,86	0,52
508	COTTES EURA 120-4	0,60	1200,00	940,00	1,13	0,68
509	COTTES EURA 120-5	0,60	1200,00	1160,00	1,39	0,84
510	COTTES EURA 120-6	0,60	1200,00	1380,00	1,66	0,99
511	COTTES EURA 120-7	0,60	1200,00	1600,00	1,92	1,15
512	COTTES EURA 120-8	0,60	1200,00	1820,00	2,18	1,31
513	COTTES EURA 120-9	0,60	1200,00	2040,00	2,45	1,47
514	COTTES EURA 180-10	0,60	1800,00	2260,00	4,07	2,44
515	COTTES EURA 180-11	0,60	1800,00	2480,00	4,46	2,68
516	COTTES EURA 180-12	0,60	1800,00	2700,00	4,86	2,92
517	COTTES EURA 180-13	0,60	1800,00	2920,00	5,26	3,15
518	COTTES EURA 180-3	0,60	1800,00	720,00	1,30	0,78
519	COTTES EURA 180-4	0,60	1800,00	940,00	1,69	1,02
520	COTTES EURA 180-5	0,60	1800,00	1160,00	2,09	1,25

Figura I.13. Captura pantalla Hoja1 Excel a partir de fila 487 hasta 520. La base de Datos de los exutorios se encuentra entre las filas 487 y puede alargarse hasta la 700.

Tabla I.5. Relación entre Excel y Visual Basic de los datos input exutorios de la base de datos de la aplicación.

Datos input del programa	Celda Excel	Objeto Visual Basic
MARCA/MODELO	B30	TBO01
COEFICIENTE AERODINÁMICO	B31	TBO2
ANCHO [mm]	B32	TBO3
LARGO [mm]	B33	TBO4
SUPERFICIE GEOMÉTRICA [mm ²]	B34	TBO5
SUPERFICIE AERODINÁMICA [mm ²]	B35	TBO6

Tabla I.6. Relación de parámetros, celdas y fórmulas utilizadas de la fila 36 a la 40 de la Hoja 1.

Parámetros	Celda Excel	Objeto Visual Basic	Fórmula asociada
Dv Dimensión lineal característica del aireador	B36		=RAIZ(B35*4/PI())
Número de exutorios a instalar	B37	-	=B29/B35
Número de exutorios a instalar (número entero)	C37	Tx1	=REDONDEAR.MAS(B37;0)
Valor crítico de extracción Mcrit [kg/s]	B38	Tx2	=(2,05*'parámetros de entrada'!\$C\$4*('parámetros de entrada'!\$C\$2*'parámetros de entrada'!\$C\$3*Hoja1!B27)^0,5*Hoja1!B24^2*Hoja1!B36^0,5)/Hoja1!B28
Número mínimo de exutorios para que no se produzca efecto vórtice	B39	-	=B29/B38
Número mínimo de exutorios para que no se produzca efecto vórtice (número entero)	C39	Tx3	=REDONDEAR.MAS(B39;0)
Resulta aceptable el cálculo con el modelo de exutorio comercial seleccionado?	B40	Tx4	=SI(C39<=C37;"SI";"NO")
Exutorio seleccionado	B30	Te1	-

```

Private Sub CommandButton1_Click()
Unload UserForm13
UserForm12.Show
End Sub
Private Sub CommandButton2_Click()
End
End Sub
Private Sub CommandButton3_Click()
Unload UserForm13
UserForm14.Show
End Sub
Private Sub CommandButton4_Click()
Unload UserForm13
UserForm1.Show
End Sub
Private Sub UserForm_Activate()
Me.Tx1 = Range("C37")
Me.Tx2.Value = Round(Hoja1.Range("B38"), 2)
Me.Tx3 = Range("C39")
Me.Tx4 = Range("B40")
Me.Te1 = Range("B30")
End Sub

```

Figura I.14. Código UserForm13

2.2 Formularios de ayuda

A lo largo del programa se presentan una serie de botones de ayuda que refieren a una serie de formularios de texto con información sobre los parámetros utilizados a lo largo del programa. Los Userforms dedicados a este fin son los siguientes:

Tabla I.7. Relación de formularios de ayuda en Caso tipo I.

Formulario	Nombre de la ventana
Userform4	AYUDA INPUT DATOS
Userform6	AYUDA RESULTADOS 1
Userform10	AYUDA RESULTADOS 2
Userform11	AYUDA RESULTADOS 3
Userform14	AYUDA NÚMERO DE EXUTORIOS

3. Nave industrial de una planta con actividad principal distinta a la de almacenamiento

3.1 Datos de entrada

Los siguientes datos se introducen directamente en la hoja de cálculo de Microsoft Excel a través del formulario de Visual Basic (UserForm7). Cada TextBox o ComboBox de los datos input tiene asignada una celda específica de la Hoja 1 del Excel:

Tabla I.8. Relación entre Excel y Visual Basic de los parámetros de entrada del programa.

Datos input del programa	Celda Excel	Objeto Visual Basic
Superficie del sector de incendio de la nave [m ²]	B63	TextB1
Altura del sector de incendio de la nave [m]	B64	TextB5
Tipo de rociadores	B65	ComboB1
Usos de la nave industrial	B66	ComboB3

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
Sheets("Hoja1").Select  
ActiveSheet.Cells(63, 2) = Val(TextB1.Text)  
ActiveSheet.Cells(64, 2) = Val(TextB5.Text)  
ActiveSheet.Cells(65, 2) = ComboB1  
ActiveSheet.Cells(66, 2) = ComboB3  
Unload UserForm7  
Load UserForm8  
UserForm8.Show  
End Sub  
Private Sub CommandButton2_Click()  
Unload UserForm7  
Load UserForm16  
UserForm16.Show  
End Sub
```

Figura I.15. Código vinculado al formulario 7 UserForm7

El formulario de datos de entrada tiene dos botones. Uno que permite acceder a un formulario de ayuda (UserForm16) y otro botón (CommandButton1-calcular) que conduce al primer formulario de resultados (UserForm8).

2.1 Cálculos y resultados

Los primeros resultados que se obtienen están relacionados con el formulario UserForm8.

```
Private Sub CommandButton2_Click()  
Unload UserForm8  
UserForm16.Show  
End Sub  
Private Sub UserForm_Activate()  
Sheets("Hoja1").Select  
Me.Te1.Value = Hoja1.Range("B67")  
Me.Te3.Value = Hoja1.Range("B68")  
Me.Te4.Value = Round(Hoja1.Range("B69"), 2)  
Me.Te5.Value = Round(Hoja1.Range("B70"), 2)  
Me.Te8.Value = Round(Hoja1.Range("B71"), 2)  
Me.Te9.Value = Round(Hoja1.Range("B72"), 2)  
Me.Te10.Value = Round(Hoja1.Range("B74"), 2)  
Me.Te11.Value = Round(Hoja1.Range("B75"), 2)  
Me.Te12.Value = Round(Hoja1.Range("B76"), 2)  
Me.Te13.Value = Round(Hoja1.Range("B77"), 2)  
Me.Te14.Value = Round(Hoja1.Range("B78"), 2)  
Me.Te15.Value = Round(Hoja1.Range("B73"), 2)  
End Sub  
Private Sub CommandButton1_Click()  
Unload UserForm8  
Load UserForm9  
UserForm9.Show  
End Sub
```

Figura I.16. Código vinculado al formulario 8 UserForm8

En este formulario se asocia cada TextBox a la celda correspondiente de Microsoft Excel. Esta asignación se produce una vez se activa el formulario indicado. Tal y como se puede observar, los botones existentes conducen a otros formularios que serán descritos posteriormente.

Tal y como se ha indicado, los datos input se asocian a una serie de celdas de Microsoft Excel. La hoja de cálculo efectúa los cálculos tal y como se muestra a continuación.

	A	B	C
58	Cálculo SCTEH UNE 23585		
59	CASO TIPO: nave industrial de una planta con actividad principal de almacenamiento		
60			
61	Ancho del sector de incendio de la nave industrial [m]	=	
62	Largo del sector de incendio de de la nave industrial [m]	=	
63	Superficie del sector de incendio de la nave industrial [m]	1737,5	
64	Altura del sector de incendio de la nave industrial [m]	9	
65	Tipo de rociadores	Rociadores de techo	
66	Usos de la nave industrial	Taller de reparación de partes mecánicas	
67	Categoría de uso de la nave industrial	Categoría 2	
68	Dimensiones del incendio	4,5x4,5	
69	Superficie del incendio Af	20	
70	Perímetro del incendio Wf	18	
71	Potencia calorífica del incendio qf [kW/m2]	625	se considera qhigh (criterio conservador)
72	Altura libre de humos Y [m]	2,5	
73	Altura bajo techo hc [m]	9	
74	Espesor de la capa de humos dl [m]	6,5	
75	Caudal másico de humos Mf [kg*s]	13,52	
76	Flujo de calor por convección Ql [kW]	10000	
77	Temperatura media de los gases por encima de la del ambiente de la capa flotante de humos en un depósito de humos θ_1 [K]	736,6981777	
78	Temperatura media absoluta de los gases de la capa flotante de un depósito de humos T1 [K]	1029,698178	
79	Superficie aerodinámica (AvCv) de los exutorios	2,454941597	

Figura I.17. Captura de pantalla de la fila 58 a la 79 Hoja 1 de Excel

Tabla I.9. Relación de parámetros, celdas y fórmulas utilizadas hasta fila20 de la Hoja 1.

Parámetros	Celda Excel	Objeto Visual Basic	Fórmula asociada
Categorías de uso de la nave	B67	Te1	=BUSCAR(B66;'Clasificación de los riesgos'!A1:A272;'Clasificación de los riesgos'!B1:B272)
Dimensiones del incendio (ancho x largo) [m]x[m]	B68	Te3	=BUSCAR(B67;'Clasificación de los riesgos'!E1:E4;'Clasificación de los riesgos'!F1:F4)
Superficie del incendio Af [m2]	B69	Te4	=BUSCAR(B67;'Clasificación de los riesgos'!E1:E4;'Clasificación de los riesgos'!H1:H4)
Perímetro de incendio Wf [m]	B70	Te5	=BUSCAR(B67;'Clasificación de los riesgos'!E1:E4;'Clasificación de los riesgos'!G1:G4)
Potencia calorífica del incendio qf [kW/m2]	B71	Te8	=SI(B65="No van a instalarse rociadores";1250;625)
Altura libre de humos Y [m]	B72	Te9	=2,5
Altura bajo techo hc [m]	B73	Te15	=B64

Parámetros	Celda Excel	Objeto Visual Basic	Fórmula asociada
Espesor de la capa de humos d1 [m]	B74	Te10	=B73-B72
Caudal másico de humos Mf [kg*s]	B75	Te11	=0,19*B70*(B72^(3/2))
Flujo de calor por convección Ql [kW]	B76	Te12	=B71*B69*0,8
Temperatura media de los gases por encima de la del ambiente θ_1 [K]	B77	Te13	=B76/(B75*'parámetros de entrada'!\$C\$1)
Temperatura media absoluta de los gases de la capa flotante de un depósito de humos T1 [K]	B78	Te14	=B77+'parámetros de entrada'!\$C\$3
Superficie aerodinámica (AvCv) de los exutorios	B79	TextBox1	=B75/'parámetros de entrada'!\$C\$4*RAIZ((Hoja1!B78^2+(1^2)*'parámetros de entrada'!\$C\$3*Hoja1!B78)/(2*'parámetros de entrada'!\$C\$2*Hoja1!B74*Hoja1!B77*'parámetros de entrada'!\$C\$3))

	A	B	C	D
1	Abonos químicos minerales	Categoría 2	N2	
2	Aceterías con uso de solventes	Categoría 4	N4	
3	Aceterías sin uso de solventes	Categoría 3	N3	
4	Acetileno	Categoría 4	D4	
5	Achicoria	Categoría 3	N3	
6	Acondicionamientos públicos	Categoría 3	N3	
7	Acuarrelamientos	Categoría 1	L	
8	Aglomerados de cemento	Categoría 1	N1	
9	Aguas minerales, termales y bebidas análogas	Categoría 1	N1	
10	Aislantes para electricidad	Categoría 3	N3	
11	Alimentos para animales (sin uso de solventes, harina de pescado y análogos)	Categoría 3	N3	
12	Almacén de harinas	Categoría 3	N3	
13	Almidonado	Categoría 3	N3	
14	Alquitranes	Categoría 4	D1	
15	Amoníaco sintético	Categoría 2	N2	
16	Aprestos	Categoría 3	N3	
17	Aprestos con lana	Categoría 4	N4	
18	Arcilla, tierras diversas (fábrica de objetos)	Categoría 2	N2	
19	Artículos de deporte	Categoría 3	N3	
20	Asfaltos	Categoría 4	D3	
21	Asilos	Categoría 1	L	
22	Asilos para bebés	Categoría 1	L	
23	Astilleros	Categoría 3	N3	
24	Azucareras (sin refinería)	Categoría 2	N2	
25	Azúcares (refinerías)	Categoría 3	N3	
26	Bandas magnéticas	Categoría 3	N3	
27	Baños públicos	Categoría 1	L	
28	Baquellita	Categoría 3	N3	
29	Betunes	Categoría 4	D3	
30	Betunes	Categoría 3	N3	
31	Bibliotecas	Categoría 1	L	
32	Bisuterías	Categoría 1	N1	

Figura I.18. Captura parcial de pantalla de la hoja de Clasificación de los riesgos de Excel

79	Superficie aerodinámica (AvCv) de los exutorios	2,285241833	
80	MARCA/MODELO	COTTES EURA 060-10	
81	COEFICIENTE AERODINÁMICO	0,6	
82	ANCHO [mm]	600	
83	LARGO [mm]	2260	
84	SUPERFICIE GEOMÉTRICA [mm ²]	1,356	
85	SUPERFICIE AERODINÁMICA [mm ²]	0,8136	
86	Dv Dimensión lineal característica del aireador [m]	1,017795507	
87	Número de exutorios a instalar	2,808802647	3
88	Valor crítico de extracción Mcrit [kg/s]	201,3896592	
89	Número mínimo de exutorios para que no se produzca efecto vórtice	0,011347364	1
90	Resulta aceptable el cálculo con el modelo de exutorio comercial seleccionado?	SI	

Figura I.19. Captura de pantalla de la fila 79 a la 90 Hoja 1 de Excel

Tabla I.10. Relación de parámetros, celdas y fórmulas utilizadas de la fila 80 a la 90 de la Hoja 1.

	A	B	C	D	E
1	calor del aire c		1,004	kJ/kg*K	
2	aceleración gravedad		9,81	m/s2	
3	temperatura ambiente		293	K	
4	densidad aire a la temperatura ambiente		1,225	kg/m3	
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					

Figura I.20. Captura de pantalla Hoja parámetros de entrada de Excel

El UserForm9 está relacionado con el resultado de la superficie aerodinámica de los exutorios.

```

Private Sub CommandButton2_Click()
End
End Sub
Private Sub CommandButton4_Click()
Unload UserForm9
Load UserForm18
UserForm18.Show
End Sub
Private Sub UserForm_Activate()
Me.TextBox1.Value = Round(Hoja1.Range("B79"), 2)
End Sub
Private Sub CommandButton1_Click()
Unload UserForm9
Load UserForm1
UserForm1.Show
End Sub
Private Sub CommandButton3_Click()
Unload UserForm9
Load UserForm8
UserForm8.Show
End Sub

```

Figura I.21. Código UserForm9

A continuación pasamos al UserForm18 para una nueva entrada de datos sobre los exutorios comerciales que queremos instalar. A continuación se muestra el código utilizado en este formulario. Cabe destacar que este es el formulario más complejo donde se muestra en un ComboBox el listado existente de exutorios comerciales de la Base de Datos del programa. Ésta puede ser modificada añadiendo nuevos exutorios comerciales (botón C1), modificando los parámetros existentes en la Base de Datos (C2) y por último Eliminando si se considera oportuno, algún exutorio almacenado (C3).

Asimismo se ha programado un botón (clear-C5) para limpiar los datos de los TextBox con el fin de poder añadir información cuando se quiera añadir un exutorio nuevo en la base de datos.

```

Private Sub C2_Click()
Dim Fila As Integer
Dim final As Integer
For Fila = 487 To 700
If Me.TB01 = Cells(Fila, 1) Then
Cells(Fila, 2) = Val(TB2.Text)
Cells(Fila, 3) = Val(TB3.Text)
Cells(Fila, 4) = Val(TB4.Text)
Cells(Fila, 5) = Val(TB5.Text)
Cells(Fila, 6) = Val(TB6.Text)
Exit For
End If
Next
Me.CB1 = ""
Me.TB01 = ""
Me.TB2 = ""
Me.TB3 = ""
Me.TB4 = ""
Me.TB5 = ""
Me.TB6 = ""
End Sub

Private Sub C3_Click()
Dim Fila As Integer
Dim final As Integer
For Fila = 487 To 700
If Cells(Fila, 1) = "" Then
final = Fila - 1
Exit For
End If
Next
If MsgBox("¿Seguro que quiere eliminar este producto?", vbQuestion + vbYesNo) = vbYes Then
For Fila = final To 487 Step -1 'CORRECCIÓN: Esto hace que los registros se eliminen desde el final hasta la fila 2 con un paso
If Me.TB01 = Cells(Fila, 1) Then
Cells(Fila, 1).EntireRow.Delete
Exit For
End If
Next
MsgBox "Producto eliminado", vbInformation + vbOKOnly
Else
Exit Sub
End If
Me.CB1 = ""
Me.TB01 = ""
Me.TB2 = ""
Me.TB3 = ""
Me.TB4 = ""
Me.TB5 = ""
Me.TB6 = ""
End Sub

Private Sub CommandButton2_Click()
Unload UserForm18
UserForm19.Show
End Sub

Private Sub CommandButton3_Click()
Unload UserForm18
UserForm9.Show
End Sub

Private Sub CB1_Change()
Dim Fila As Integer
Dim final As Integer
For Fila = 487 To 700
If Cells(Fila, 1) = "" Then
final = Fila - 1
Exit For
End If
Next
For Fila = 487 To 700
If CB1 = Cells(Fila, 1) Then
Me.TB01 = Cells(Fila, 1)
Me.TB2 = Cells(Fila, 2)
Me.TB3 = Cells(Fila, 3)
Me.TB4 = Cells(Fila, 4)
Me.TB5 = Cells(Fila, 5)
Me.TB6 = Cells(Fila, 6)
Exit For
End If
Next
ActiveSheet.Cells(80, 2) = CB1
ActiveSheet.Cells(81, 2) = Val(TB2.Text)
ActiveSheet.Cells(82, 2) = Val(TB3.Text)
ActiveSheet.Cells(83, 2) = Val(TB4.Text)
ActiveSheet.Cells(84, 2) = Val(TB5.Text)
ActiveSheet.Cells(85, 2) = Val(TB6.Text)
End Sub

Private Sub C1_Click()
Dim Fila As Integer
Dim final As Integer
Dim REGISTRO As Integer
For Fila = 487 To 700
If Cells(Fila, 1) = "" Then
final = Fila
Exit For
End If
Next
For REGISTRO = 487 To final
If Cells(REGISTRO, 1) = Me.TB01 Then
MsgBox "El registro ya existe"
Exit Sub
Exit For
End If
Next

```

```

If MsgBox("¿Son correctos los datos?" + Chr(13) + "¿Desea proceder?", vbOKCancel) = vbOK Then
Cells(final, 1) = Me.TB01
Cells(final, 2) = Val(TB2.Text)
Cells(final, 3) = Val(TB3.Text)
Cells(final, 4) = Val(TB4.Text)
Cells(final, 5) = Val(TB5.Text)
Cells(final, 6) = Val(TB6.Text)
Me.CB1 = ""
Me.TB01 = ""
Me.TB2 = ""
Me.TB3 = ""
Me.TB4 = ""
Me.TB5 = ""
Me.TB6 = ""
Else
Exit Sub
End If
End Sub
Private Sub C5_Click()
TB01 = Empty
TB2 = Empty
TB3 = Empty
TB4 = Empty
TB5 = Empty
TB6 = Empty
End Sub

```

Figura I.22. Código UserForm18

	A	B	C	D	E	F
	MARCA Y MODELO	COEFICIENTE AERODINÁMICO	ANCHO mm	LARGO mm	SUPERFICIE GEOMÉTRICA	SUPERFICIE AERODINÁMICA
487	COTTES DUO-THERMA 1520	0,60	1500,00	2000,00	3,00	1,80
488	COTTES DUO-THERMA 2020	0,60	2000,00	2000,00	4,00	2,40
489	COTTES DUO-THERMA 2525	0,6	2500	2500	6,25	3,75
490	COTTES EURA 060-10	0,6	600	2260	1,356	0,8136
491	COTTES EURA 060-11	0,6	600	940	1,49	0,89
492	COTTES EURA 060-11	0,60	600,00	2480,00	1,49	0,89
493	COTTES EURA 060-12	0,60	600,00	2700,00	1,62	0,97
494	COTTES EURA 060-13	0,60	600,00	2920,00	1,75	1,05
495	COTTES EURA 060-3	0,60	600,00	720,00	0,43	0,26
496	COTTES EURA 060-4	0,60	600,00	940,00	0,56	0,34
497	COTTES EURA 060-5	0,60	600,00	1160,00	0,70	0,42
498	COTTES EURA 060-6	0,60	600,00	1380,00	0,83	0,50
499	COTTES EURA 060-7	0,60	600,00	1600,00	0,96	0,58
500	COTTES EURA 060-8	0,60	600,00	1820,00	1,09	0,66
501	COTTES EURA 060-9	0,60	600,00	2040,00	1,22	0,73
502	COTTES EURA 120-10	0,60	1200,00	2260,00	2,71	1,63
503	COTTES EURA 120-11	0,60	1200,00	2480,00	2,98	1,79
504	COTTES EURA 120-12	0,60	1200,00	2700,00	3,24	1,94
505	COTTES EURA 120-13	0,60	1200,00	2920,00	3,50	2,10
506	COTTES EURA 120-3	0,60	1200,00	720,00	0,86	0,52
507	COTTES EURA 120-4	0,60	1200,00	940,00	1,13	0,68
508	COTTES EURA 120-5	0,60	1200,00	1160,00	1,39	0,84
509	COTTES EURA 120-6	0,60	1200,00	1380,00	1,66	0,99
510	COTTES EURA 120-7	0,60	1200,00	1600,00	1,92	1,15
511	COTTES EURA 120-8	0,60	1200,00	1820,00	2,18	1,31
512	COTTES EURA 120-9	0,60	1200,00	2040,00	2,45	1,47
513	COTTES EURA 180-10	0,60	1800,00	2260,00	4,07	2,44
514	COTTES EURA 180-11	0,60	1800,00	2480,00	4,46	2,68
515	COTTES EURA 180-12	0,60	1800,00	2700,00	4,86	2,92
516	COTTES EURA 180-13	0,60	1800,00	2920,00	5,26	3,15
517	COTTES EURA 180-3	0,60	1800,00	720,00	1,30	0,78
518	COTTES EURA 180-4	0,60	1800,00	940,00	1,69	1,02
519	COTTES EURA 180-5	0,60	1800,00	1160,00	2,09	1,25

Figura I.23. Captura pantalla Hoja1 Excel a partir de fila 487 hasta 520. La base de Datos de los exutorios se encuentra entre las filas 487 y puede alargarse hasta la 700.

Tabla I.10. Relación entre Excel y Visual Basic de los datos input exutorios de la base de datos de la aplicación.

Datos input del programa	Celda Excel	Objeto Visual Basic
MARCA/MODELO	B80	TBO1
COEFICIENTE AERODINÁMICO	B81	TB2
ANCHO [mm]	B82	TB3
LARGO [mm]	B83	TB4
SUPERFICIE GEOMÉTRICA [mm ²]	B84	TB5
SUPERFICIE AERODINÁMICA [mm ²]	B85	TB6

Tabla I.11. Relación de parámetros, celdas y fórmulas utilizadas de la fila 80 a la 90 de la Hoja 1.

Parámetros	Celda Excel	Objeto Visual Basic	Fórmula asociada
Dv Dimensión lineal característica del aireador	B86	-	=RAIZ(B85*4/PI())
Número de exutorios a instalar	B87	-	=B79/B85
Número de exutorios a instalar (número entero)	C87	Tex1	=REDONDEAR.MAS(B87;0)
Valor crítico de extracción Mcrit [kg/s]	B88	Tex2	=(2,05*'parámetros de entrada'!\$C\$4*('parámetros de entrada'!\$C\$2*'parámetros de entrada'!\$C\$3*Hoja1!B77)^0,5*Hoja1!B74^2*Hoja1!B86^0,5)/Hoja1!B78
Número mínimo de exutorios para que no se produzca efecto vórtice	B89	-	=B79/B88
Número mínimo de exutorios para que no se produzca efecto vórtice (número entero)	C89	Tex3	=REDONDEAR.MAS(B89;0)
Resulta aceptable el cálculo con el modelo de exutorio comercial seleccionado?	B90	Tex4	=SI(C89<=C87;"SI";"NO")
Exutorio seleccionado	B80	T1	-

```

Private Sub Co1_Click()
Unload UserForm19
UserForm18.Show
End Sub
Private Sub Co3_Click()
Unload UserForm19
UserForm20.Show
End Sub
Private Sub Co4_Click()
Unload UserForm13
UserForm1.Show
End Sub
Private Sub UserForm_Activate()
Me.Tex1 = Range("C87")
Me.Tex2.Value = Round(Hoja1.Range("B88"), 2)
Me.Tex3 = Range("C89")
Me.Tex4 = Range("B90")
Me.T1 = Range("B80")
End Sub
Private Sub Co2_Click()
End
End Sub

```

Figura I.24. Código UserForm19

2.2 Formularios de ayuda

A lo largo del programa se presentan una serie de botones de ayuda que refieren a una serie de formularios de texto con información sobre los parámetros utilizados a lo largo del programa. Los Userforms dedicados a este fin son los siguientes:

Tabla I.12. Relación de formularios de ayuda en Caso tipo I.

Forumulario	Nombre de la ventana
Userform16	AYUDA INPUT DATOS
Userform15	AYUDA RESULTADOS 1
Userform17	AYUDA RESULTADOS 2
Userform20	AYUDA NÚMERO DE EXUTORIOS

4. Fijar las variables ambientales

Tal y como se ha indicado en la descripción de la pantalla de inicio, en el Userform1 a través del botón CommandButton4 podemos acceder a una ventana para fijar las variables ambientales (Userform21).

En esta pantalla existen 4 botones que nos permiten volver a la pantalla de inicio (CommandButton2), Limpiar los datos de las variables ambientales con el fin de poder introducir nuevos datos (CommandButton4), un botón para guardar los nuevos parámetros fijados (CommandButton3) y un botón para restablecer los datos por defecto (CommandButton1).

El código del Useform descrito, es el siguiente:

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
Sheets("parámetros de entrada").Select  
Cells(3, 3) = "293"  
Cells(4, 3) = "1.225"  
Cells(1, 3) = "1.004"  
Me.X1 = Cells(3, 3)  
Me.X2 = Cells(4, 3)  
Me.X3 = Cells(1, 3)  
Sheets("Hoja1").Select  
End Sub  
Private Sub CommandButton2_Click()  
Unload UserForm21  
Load UserForm1  
UserForm1.Show  
End Sub  
Private Sub CommandButton3_Click()  
Sheets("parámetros de entrada").Select  
Cells(3, 3) = Val(X1.Text)  
Cells(4, 3) = Val(X2.Text)  
Cells(1, 3) = Val(X3.Text)  
Sheets("Hoja1").Select  
End Sub  
Private Sub CommandButton4_Click()  
Me.X1 = ""  
Me.X2 = ""  
Me.X3 = ""  
End Sub  
Private Sub UserForm_Activate()  
Sheets("parámetros de entrada").Select  
Me.X1 = Cells(3, 3)  
Me.X2 = Cells(4, 3)  
Me.X3 = Cells(1, 3)  
Sheets("Hoja1").Select  
End Sub
```

Figura I.25. Código UserForm21

Tabla I.13. Relación de parámetros formulario Visual Basic y Celdas Excel de la Hoja de parámetros de entrada.

Parámetros	Celda Excel	Objeto Visual Basic
Temperatura ambiente [k]	C3	X1
Densidad del aire [kW/m3]	C4	X2
Calor específico del aire [kJ/(kg*K)]	C1	X3