

Conceptos básicos para el estudio de la resistencia al fuego, de puertas

Por: Carlos Laín Ortega
Dr. Ingeniero de Montes

1. Conceptos de resistencia al fuego de puertas

La protección contra el incendio exige la compartimentación de los edificios; las paredes de cada departamento deben presentar un grado de resistencia al fuego adecuado a las características o al uso del mismo.

La obtención de un grado predeterminado de resistencia al fuego en las puertas no tiene más problemas especiales que los de los elementos de construcción, tales como: tabiques, techos, etc. Es indispensable que la puerta cumpla su función de acceso durante la exposición normal. Debería tener, teóricamente, el mismo grado de resistencia al fuego que los muros, tabiques donde está colocada, pues de lo contrario, constituye un punto débil. Sin embargo, ello no es posible en la mayoría de los casos y estos puntos débiles son inevitables, debiendo existir como accesos practicables a los departamentos del edificio, pero deben tener un grado de resistencia al fuego suficiente.

Las puertas y otros elementos de cierre practicables, de huecos interiores contenidos en elementos compartimentarios de un sector de incendio —según la NBE-CPI-82—, ofrecerán los siguientes tiempos de resistencia al fuego con la cara que se determine, en función de la que sea exigible a dicho elemento compartimentario.

RESISTENCIA AL FUEGO

Del elemento de separación	De la puerta
Minutos	Minutos
240	90
180	60
120	60
90	30
60	30
30	30

En función de los materiales que amparan es más peligroso que atraviesen la puerta las llamas del incendio que el calor que puede pasar a través de ella, esto justifica la clasificación de PARALLAMAS. Las puertas, en la mayor parte de los casos, no tienen por qué ser cortafuegos, pues no importa en tales casos que pase el calor a su través, ya que se supone que no hay nada que pueda inflamarse; no es éste el caso de los tabiques que tienen detrás muebles, cortinas, etc., que pueden inflamarse si $T_M = 140^\circ \text{C}$.

La NBE-CPI-82, al hacer la clasificación al fuego de los elementos constructivos, hace la excepción de las puertas, para las cuales se excluye el mantenimiento de la condición de aislamiento térmico, siendo entonces, todas las puertas parallamas, sin exigir en ningún caso puertas cortafuegos, como hay en los demás países, a no

ser que se llegue posteriormente a modificar esta norma, exigiendo el cumplimiento del mantenimiento de la condición de aislamiento térmico en ciertos casos.

En el estado actual de los estudios científicos en materia de protección contra el incendio, parece suficiente disponer la puerta con un grado de resistencia al fuego, atendiendo a: primero, media hora; segundo, una hora, y tercero, hora y media, respectivamente.

Las puertas con un grado de resistencia al fuego de hora y media, resultan caras y muy difíciles de construir sin elementos de madera.

Otro factor que influye en el grado de resistencia al fuego —como veremos más adelante—, es el espesor de la hoja de la puerta.

Las puertas deben montarse en el horno en el sentido que pueden abrirse hacia fuera del horno, hacia la cara no expuesta al fuego, es decir, en dirección a la salida o evacuación de personas; al final del ensayo debe poderse abrir.

En lo que se refiere al estudio de investigación está, en este caso, limitado al estudio de puertas de hoja plana, solamente. En otros términos, este estudio no puede englobar todos los tipos de puertas existentes en el mercado. No englobando las puertas correderas, ni las puertas de ascensores, ni las puertas con elementos metálicos, ni las puertas con elementos vidriados, pues cada una de ellas debe ser objeto de un programa de investigación distinto.

En razón de los elementos empleados en su fabricación podemos dividir las en: vidrieras, metálicas y de madera o productos derivados.

No obstante, estudiaremos únicamente con carácter orientativo las puertas con elementos vidriados y las puertas con elementos metálicos.

2. Puertas con elementos vidriados

Las puertas con elementos vidriados son indispensables en hospitales, clínicas, ascensores etc. Tienen problemas difíciles de resolver como es la conductibilidad térmica, la rotura del vidrio y la máxima intensidad de radiación que produce.

Si se concibe como puerta parallamas, es decir, como barrera antillama, puede emplearse el vidrio armado.

Si se concibe como puerta cortafuegos hay que emplear vidrios especiales de importación que encarecen extraordinariamente a estas puertas cortafuegos.

3. Puertas con

elementos metálicos

Las puertas con elementos metálicos, en caso de incendio, no ofrecen un grado de resistencia al fuego adecuado. Para un mismo grado de resistencia al fuego tienen que estar construidas con diseños especiales, que le convierten en una puerta muchísimo más cara que la construida a base de elementos derivados de la madera.

Las puertas metálicas, por efecto del calor, se curvan de forma muy desigual, tanto en la cara expuesta como en la no expuesta al fuego.

El marco metálico tiene los mismos problemas que las hojas metálicas, debido a la transmisión de calor, por lo que habrá que protegerle bien no exponiéndolo directamente al fuego, al colocarlo para ensayarlo, o mediante protectores aplicados de modo que el termopar situado en el marco no supere la temperatura máxima admisible, ΔT_M .

La dilatación desigual de la cara expuesta y de la cara no expuesta, debida al elevado coeficiente de transmisión de calor del acero ($62 \text{ Kcal m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}$), hace que en el lado de la cerradura se originen curvaturas en la parte superior e inferior, produciéndose fisuras que permiten el paso del calor y de la llama, lo que hace que la puerta falle por la temperatura máxima, ΔT_M (puertas cortafuegos y por paso de llama (puerta parallamas).

Para corregir este defecto de la cerradura metálica, los constructores desarrollaron cerraduras de tres puntos con lo que resolvieron el problema momentáneamente, pues la cerradura falla al final, produciéndose un alabeo repentino. Esta cerradura tiene el inconveniente de que al tenerse que abrir la puerta después del ensayo, por tener más puntos de cierre, la posibilidad de fallo de que no pueda abrirse, es mucho mayor.

La construcción de puertas con elemento metálico para evitar estos inconvenientes debe hacerse de forma que la cara expuesta y la no expuesta estén separadas físicamente en dos piezas, teniendo, además en su interior un aislamiento térmico que limita la temperatura media y máxima de los termopares situados en la cara no expuesta al fuego, siendo ésto lo que encarece a las puertas metálicas.

4. Puertas de madera y productos derivados

Por ser la madera un material muy aislante, las puertas construidas con elementos de madera, su grado cortafuegos y parallamas, suelen coincidir, cualidad de la que no disfrutaban las puertas metálicas.

Una puerta plana normal construida con dos

caras de tablero de fibra o tablero contrachapado y alma de cartón, sin holguras protegidas, apenas tiene cinco minutos de resistencia al fuego. En cuanto a su reacción al fuego es fácilmente inflamable M-4, puesto que los tableros de fibras o contrachapados son muy delgados y el alma de cartón muy inflamable.

Estas puertas planas apenas pueden conseguir un cuarto de hora que es el mínimo exigible en algunos países, para ello hay que cambiar el alma de cartón por un alma de tablero de partículas normal. Aumentando el grueso del tablero de partículas se pueden llegar a obtener puertas planas con un grado de resistencia de media hora, ya que el tablero de partículas dificulta la transmisión del calor por su superficie, el coeficiente de transmisión de calor del tablero de partículas, varía de 0,08 a 0,15 kcal m/m² °C.

La obtención de puertas de madera cortafuegos de media hora, no presenta ningún problema especial, teniendo cuidado con los pernios y las cerraduras.

Para obtener puertas con grado cortafuegos de una hora, hay que mejorar el chasis, el alma y el marco y, si queremos llegar a la de hora y media cortafuegos, hay que recurrir a diseños especiales, incorporando otros elementos distintos a la madera.

5. Comentarios a los resultados obtenidos en diversos estudios de puertas cortafuego

5.1. Resistencia al fuego

Según la NBE-CPI-82, las puertas para que puedan ser clasificadas como resistentes al fuego, deben tener una resistencia al menos de media hora.

Del estudio hecho por G. Herpul, R. Minné, G. Vuyletgre y P. Vendeveldf, en «La resistance au feu des portes», sobre 73 puertas con diferentes hojas, marcos, holguras y herrajes, se deriva que el 34,25 % de las puertas ensayadas, no podían ser calificadas como resistentes al fuego, después de diversas correcciones se ha llegado al 45,20 % de puertas con grado de resistencia de media hora, el 19,18 % de las puertas con un grado de resistencia de una hora y, solamente, el 1,37 % con un grado de resistencia de una hora y media.

Del estudio de investigación realizado en el INIA, resulta que el 18,2 % de las puertas de madera ensayadas, no se han podido clasificar como resistentes al fuego, el 54,5 % de las puertas de madera se clasifican en un grado de resistencia al

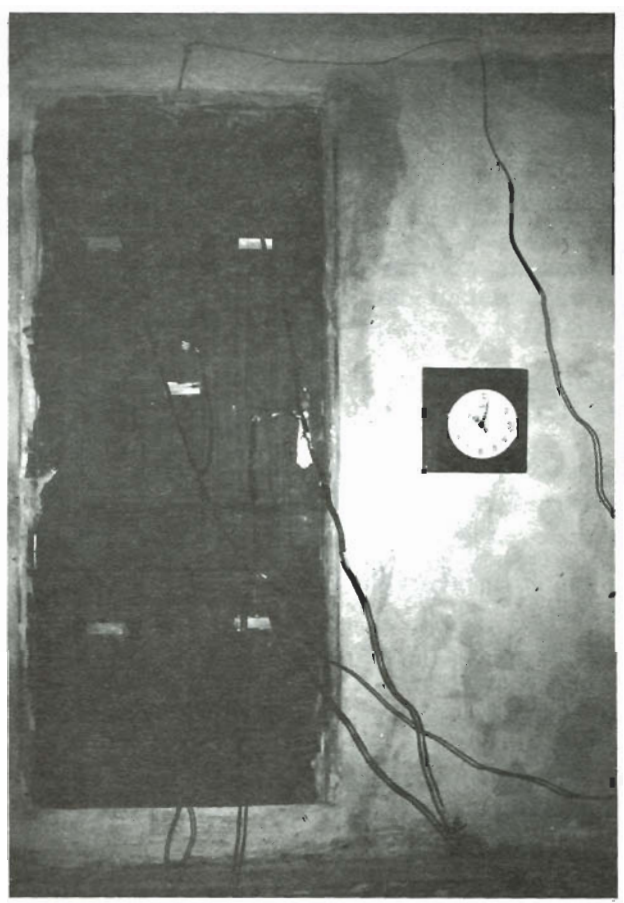
fuego de media hora, el 18,2 % de puertas de madera se clasifican con un grado de resistencia al fuego de una hora y el 9,1 % de puertas de madera, se clasifican con un grado de resistencia al fuego de una hora y media.

Puertas	Madera	En general
No clasificadas	18,2 %	34,25 %
Clasificadas 1/2 h	54,5 %	45,20 %
Clasificadas 1 h	18,2 %	19,18 %
Clasificadas 1 1/2 h	5,1 %	1,37 %

5.2. Causas de los fallos en la resistencia al fuego

De los tres criterios: estabilidad mecánica, estanqueidad a las llamas y aislamiento térmico, tenemos, según G. Herpul, los siguientes porcentajes:

	%
Aislamiento térmico	75,34
Estanqueidad a las llamas	23,20
Estabilidad mecánica	1,37



Como vemos, la mayoría de los fallos, 75,34 %, se producen por el aumento medio de la temperatura ΔT_M y el aumento máximo de la temperatura en la superficie de la hoja, marco, herrajes y cerradura, siendo fundamental tratar de eliminar en lo posible, cualquier puente térmico que se pueda formar en la puerta.

5.3. Localización de los puntos críticos

Según el estudio estadístico efectuado por M. Jean, en «Etude sur la resistance au feu des portes palières», sobre 65 puertas de madera o sus derivados, los porcentajes de fallos, se localizan en las siguientes zonas:

	% de fallos
En el marco	49,23
En los goznes.	15,38
Cerca de la cerradura.	13,85
En la hoja.	21,54

6. Estudio de los factores que influyen en la resistencia al fuego de las puertas

En la resistencia al fuego de las puertas, influye extraordinariamente la puesta en obra y la construcción, estos dos aspectos son realmente decisivos y su descuido puede arruinar rápidamente la resistencia de la puerta.

Los factores que inciden en la resistencia al fuego de las puertas, son:

Hoja:

- Construcción del alma.
- Construcción de la armadura.
- Revestimiento.

Marco:

- Construcción.
- Grueso.
- Molduras entre hoja y marco
- De la disposición y amarre al tabique.

Holguras:

- En la hoja y en el marco.

Herrajes:

- Cerradura y goznes.

6.1. La hoja

6.1.1. El alma

Para obtener una puerta cortafuegos debe estudiarse el alma y el chasis de la puerta como



elementos fundamentales para determinar la temperatura máxima y, a veces, la temperatura media en la cara no expuesta, por tanto, en su construcción se emplearán materiales aislantes de bajo coeficiente de transmisión de calor.

Si se trata de puertas metálicas, el alma constituye el puente térmico entre la cara expuesta al fuego y la cara no expuesta, por eso, la obtención de puertas metálicas se hace más difícil, siendo el 80 % de las ensayadas con una resistencia inferior a media hora. Sin embargo, si la puerta es de madera, el puente térmico está constituido por el alma y los paramentos expuesto y exterior, teniendo que, el 58 % de las puertas ensayadas superan la media hora de resistencia.

Los materiales que se emplean para la construcción de las hojas, son: madera, acero y lana de roca, aglomerados inorgánicos, madera y aglomerados inorgánicos, acero y aglomerados inorgánicos, madera y productos intumescentes.

Debiendo emplear materiales aislantes, combinados con los materiales anteriores, como el amianto-cemento, fibrocemento, el amianto, la vermiculita y la perlita, fibra de vidrio, etc.

La madera como material de construcción del

alma de las puertas cortafuegos y parallamas, tiene la ventaja de ser un buen aislante térmico y tener una velocidad de paso de llama muy bajo. Si se trata de tablero de partículas, debe elegirse de alta densidad. Las juntas deben tratarse de evitar y, si existen, deben sellarse con colas de resorcina.

Si empleamos en la construcción del alma, tableros aglomerados de partículas, obtenemos con facilidad unas resistencias al fuego mayores de media hora, teniendo como inconveniente un aumento del peso de la puerta y una disminución de la resistencia mecánica.

La resistencia al fuego en este tipo de almas, viene dada por la ecuación:

$$RF \text{ (minutos)} = \frac{1}{0,7} (d-3); \quad d = \text{mm}$$

En este tipo de almas, el paso de calor a la cara no expuesta, suele coincidir con el paso de llamas, teniendo la misma resistencia al fuego como cortafuegos que como parallamas.

La incorporación al alma de madera de buenos productos intumescentes (Palusol), hace que se puedan conseguir puertas de una resistencia de hora y media:

6.1.2. Los revestimientos de la hoja

Dependiendo del uso a que vaya destinada la puerta frente al fuego si se desea utilizar como parallamas o cortafuegos —si se trata de puertas metálicas y si se conciben como puertas parallamas—, el revestimiento puede ser una chapa de acero de 2 mm. El revestimiento en este caso, sufrirá dilataciones, pero no dejará pasar la llama.

Si se concibe como puerta cortafuegos, el revestimiento de la chapa de acero no sirve.

Si se trata de puertas planas de madera, los paramentos que suelen utilizarse son los tableros contrachapados o los tableros de fibra de densidad elevada. Estos deben encolarse perfectamente con cola de resorcina al alma de la puerta. En las partes exteriores —más a efectos decorativos que de resistencia— llevan una chapa de madera noble a la que pueden aplicarse barnices ignífugos con objeto de ganar algunos minutos.

6.1.3. El chasis de la hoja

El chasis, juntamente con el espesor, constituyen los elementos fundamentales de la puerta, a efectos de la resistencia al fuego. El chasis y el alma constituyen el puente térmico que separa los

paramentos exteriores y nos llevan a la ruina de la puerta por pasar algún termopar de la temperatura de $180^\circ + ta$, o bien, la media de los termopares pasa de la temperatura de $140^\circ + ta$.

Aparte del paso del calor, el chasis al ser atacado por el fuego se deforma, arrastrando el alma y a los revestimientos, produciendo en toda la hoja una curvatura, que si es muy grande, puede provocar fisuras entre el marco y la hoja, dejando pasar a través de las holguras producidas por la deformación la llama y el calor.

6.1.4. El espesor de la hoja

El espesor de la hoja está en relación directa con la resistencia de la puerta.

Se puede establecer una recta de regresión lineal entre la resistencia al fuego en minutos y el espesor de la hoja en milímetros:

$$RF \text{ (min.)} = 0,83 d(\text{mm}) - 3,21$$

siendo el coeficiente de regresión lineal calculado de 0,40.

Teniendo en cuenta el gran número de variables que intervienen sobre la resistencia al fuego, indica que existe una relación entre la resistencia al fuego y el espesor.

En función del chasis de la puerta y del espesor de la hoja, la puerta se deforma, pudiéndose calcular de una manera aproximada la flecha, según la fórmula:

$$p = \frac{h^2 x}{8d} \frac{T_1 - T_2}{1 + xT_2}$$

siendo:

h = altura en m.

x = coeficiente de dilatación lineal del material en $\text{mm}/^\circ\text{C}$.

d = espesor del chasis en m.

T_1 = temperatura del interior del horno en $^\circ\text{C}$.

T_2 = temperatura en la cara no expuesta en $^\circ\text{C}$.

p = flecha en m.

Se ha supuesto que los materiales de la hoja siguen las leyes de la dilatación lineal.

En las puertas de madera, al quemarse la cara expuesta se contrae y la flecha se produce en el lado del horno, excepto si la madera tiene humedad o si tiene poca holgura en el que se produce la flecha al lado no expuesto.

Para aumentar la resistencia al fuego respecto a las hojas, deben construirse: 1.º) con materiales que tengan bajos los coeficientes de transmisión de calor y de dilatación; 2.º) deben tener el espesor mayor posible, siempre que no eleve el peso de la puerta excesivamente, y 3.º) emplear productos intumescentes.

6.2. El marco

En los marcos con elementos metálicos, el calor pasa de la cara expuesta a la cara no expuesta con mucha facilidad, debido a la presencia de los puentes térmicos, siendo muy difícil pasar de una resistencia al fuego de media hora.

Para la construcción de un marco que evite este inconveniente se hacen en dos partes separadas por un aislamiento térmico, constituido por materiales aislantes o productos intumescentes.

Los marcos de madera, no tienen los inconvenientes que presentan los marcos metálicos y se obtienen con ellos una resistencia al fuego de media hora con muchísima facilidad. Si se quieren obtener resistencias mayores es necesario proceder a proteger el marco con productos intumescentes, lográndose resistencias de hasta hora y media.

Los materiales, en general, que se emplean para la construcción del marco, son análogos a los que empleamos en la construcción de la hoja.

Los factores que influyen en la resistencia al fuego de los marcos, son:

a) Los materiales con los que está construido, que deberán tener bajos coeficientes de dilatación y transmisión de calor y alta resistencia mecánica.

b) El espesor del marco depende del tipo de puerta resistente que queramos construir, quedando una relación directa entre el espesor del marco y la resistencia al fuego.

c) El modo de realizar el amarre del marco al tabique, existiendo diferentes posibilidades:

1.^a Marcos simplemente empotrados en el tabique.

2.^a Marcos simplemente empotrados con cubrejuntas en la cara expuesta al fuego, que unen el marco y el tabique.

3.^a Marcos simplemente empotrados con cubrejuntas que unen el marco con el tabique, tanto en la cara expuesta como en la cara no expuesta.

4.^a Marco protegido por el muro en la cara expuesta al fuego y en la cara no expuesta sin cubrejuntas.

5.^a Marco protegido por el muro en la cara expuesta al fuego y en la cara no expuesta lleva cubrejuntas.

d) La manera de sujetar el marco al muro debe ser firme e igual a como se va a colocar en la construcción, dependiendo del tipo y número de anclajes que lleve, de manera que después del ensayo tenga la suficiente resistencia mecánica para aguantar el peso de la puerta al abrirse.

6.3. Las holguras

En las holguras influyen la naturaleza de los materiales que forman la hoja y el marco de la puerta.

La utilización de los productos intumescentes en la hoja y en el marco, o bien sólo en la hoja o en el marco, producen una obturación de la holgura no produciéndose a través de ellos el paso del calor y las llamas, con lo que se produce una ganancia extraordinaria de la resistencia al fuego.

El grueso de las holguras es otro factor a tener en cuenta; para el caso de puertas de madera se exige que tengan, al menos, 3 mm de holgura.

Se ha estudiado la influencia de la holgura máxima g , existiendo una recta de regresión lineal entre la resistencia al fuego y la holgura máxima: $R_f = -5,84 \cdot g + 55,08$, con un coeficiente de regresión del 0,45. Según esta ecuación, por cada milímetro de aumento de la holgura, la resistencia al fuego disminuye en seis minutos.

La influencia tan grande del grueso de la holgura, en la resistencia al fuego, hace que el ajuste de la hoja al marco tenga mucha importancia, con lo que la colocación de la hoja con la holgura máxima permitida debe ajustarse en el mismo sitio, ya que el 40 % de las puertas suelen fallar en el sitio en el que la holgura sea superior.

Las juntas deben hacerse con materiales intumescentes del tipo de cintas, pastas preparadas, Palusol, etc.

Las que mejor resultado han dado, tanto por la construcción como por la resistencia, son las tiras de Palusol, rodeando los largueros y travesaños y colocando encima de la capa de Palusol cuatro cantos perimetrales de madera, de forma que pueda ajustarse la hoja al marco sin afectar a los materiales intumescentes.

6.4. Los herrajes y cerraduras

Los herrajes y cerraduras, por ser elementos metálicos, absorben rápidamente el calor, lo transmiten y lo ceden a los materiales que tienen en contacto, favoreciendo el paso del calor y de la llama, arruinando la puerta.

Los materiales con que deben diseñarse no deben fundirse durante el ensayo, debiéndose emplear el acero y no emplearse materiales como el aluminio, los plásticos normales, zinc, etc.

Las cerraduras con un punto fijo no impiden el pandeo de la hoja, las cerraduras con tres puntos fijos, impiden el pandeo de la hoja durante más tiempo, lográndose que el 18 % de las puertas alcancen una resistencia de una hora; las

cerraduras con cinco puntos fijos impiden el pandeo de la hoja muy bien durante la media hora, sobrepasando este valor el 50 % de las puertas ensayadas.

Las cerraduras con un punto fijo, son las recomendadas para puertas de media hora y las cerraduras de tres puntos fijos son mejores para las puertas de una hora; las cerraduras de cinco puntos fijos no sirven para las puertas de una hora, pues el pandeo en ella se produce súbitamente antes de una hora

Otro inconveniente que tienen las cerraduras de tres puntos fijos y las de cinco puntos fijos, es que elevan el coste de la puerta y producen fallos al tenerse que abrir después del ensayo, puesto que al tener más puntos fijos, la posibilidad de que no retroceda es mayor, al retorcerse las varillas de mando directamente expuestas al fuego.

Las cerraduras son siempre puntos débiles de la hoja de la puerta, en donde el tipo de cerradura y su protección son factores decisivos para disminuir el puente térmico, produciendo los resultados más favorables.

Las cerraduras que deberán utilizarse serán las cerraduras extraplanas y protegida toda ella con material aislante, de manera que se formen cámaras de aire, impidiendo que el calor atraviese de cara a cara la puerta. Los materiales sintéticos dan unos resultados muy desfavorables.

En cuanto a los pernos —que constituyen otro punto débil de la puerta, pues en ellos se producen el 4,5 % de los fallos de la puerta—, deben diseñarse con materiales especiales que no se fundan durante el ensayo. El material que hemos empleado es el acero.

En las puertas de madera hay que protegerlos con materiales aislantes, debiéndose determinar el número de pernos que hacen falta y su colaboración para que tengan la suficiente resistencia y que la puerta pueda abrirse después del ensayo.

Los tornillos que se emplean tendrán la cabeza y el diámetro adecuado de forma que no produzcan puntos débiles, ni en el marco ni en la hoja de la puerta.

7. Conclusiones

La resistencia al fuego de una puerta, viene determinada por tres factores: los materiales utilizados, el tipo de construcción y el tipo de acabado.

Hay materiales, como sucede con los metales, que reaccionan muy bien frente al fuego, mientras que su resistencia al mismo no es grande.

La construcción de puertas con elementos metálicos hace difícil que se pueda llegar a resistencias mayores de media hora, sin recurrir a diseños complicados.

Si el material utilizado es la madera, su reacción al fuego no es buena, aunque puede mejorarse ignifugando. Su resistencia al fuego es muy alta, pues el fuego tiene una velocidad de paso a su través de 0,7 mm/min.

La construcción de puertas con materiales de madera hace que se puedan obtener, con muchísima facilidad, puertas cortafuegos de media hora, y mejorando ligeramente éstas, se obtienen puertas cortafuegos de una hora, y haciendo diseños especiales se puede conseguir la puerta cortafuegos de hora y media.

El marco y la hoja deben construirse de manera que la holgura sea la máxima permitida y utilizando materiales intumescentes que hagan que al conseguir éstos una temperatura adecuada se dilaten, cerrando herméticamente la holgura.

El espesor de la hoja de las puertas de madera es un factor principal, pues está en relación directa con la resistencia de la puerta. La instalación en la hoja de unas barras no es la solución práctica que se esperaba.

Un buen diseño de la puerta debe exigir un buen acabado de la puerta, exigiéndose el mismo cuando se haga el control de las puertas puestas en obra.

La construcción de una puerta resistente al fuego se diseña teniendo en cuenta todos los factores estudiados que influyen en la resistencia al fuego de las mismas.