



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**REQUERIMIENTOS SOBRE LA RESISTENCIA AL FUEGO Y TRASPASO
DE HUMOS EN PUERTAS USADAS EN LOS EDIFICIOS**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

JEAN ANTOINE MAHUZIER IOMMI

**PROFESOR GUÍA:
MIGUEL ÁNGEL PÉREZ ARIAS**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
MIGUEL BUSTAMANTE S.
WILLIAMS R. CALDERÓN MUÑOZ**

**SANTIAGO DE CHILE
2017**

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA
OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Civil
POR: Jean Antoine Mahuzier Iommi
FECHA: 25/01/2017
PROF. GUÍA: Miguel Ángel Pérez Arias

REQUERIMIENTOS SOBRE LA RESISTENCIA AL FUEGO Y TRASPASO DE HUMOS EN PUERTAS USADAS EN LOS EDIFICIOS

El presente trabajo se resume en un estudio de los requerimientos sobre la resistencia al fuego y traspaso de humos en puertas usadas en los edificios en Chile y la compartimentación de humos, de tal forma de conocer el estándar nacional y compararlo con el internacional, el cual consistió en un grupo de países compuesto por Estados Unidos, España y Reino Unido.

La metodología aplicada consistió en el estudio de los marcos regulatorios, que rigen la protección contra incendios de los edificios, de Chile, Estados Unidos, España y Reino Unido, además de las normas técnicas sobre los ensayos a puertas de fuego y humo que estos marcos hacen referencia, para así realizar una comparación de los distintos estándares y conocer el nivel nacional con respecto al internacional. Además se estudió libros y publicaciones que tuvieran relación a la compartimentación de humos para poder responder a las preguntas de por qué, cómo y cuándo es necesario este tipo de enfoque.

Una vez visualizado los requerimientos nacionales e internacionales, se expuso las deficiencias del marco regulatoria nacional y se propusieron modificaciones a éste para acercar la normativa chilena al nivel internacional. Junto a lo anterior se plantearon lineamientos para las inspecciones técnicas, de forma de asegurar la correcta aplicación de las propuestas de modificación.

La conclusión obtenida de este trabajo consiste resumidamente en que el marco regulatorio chileno se encuentra desactualizado, principalmente con lo que respecta a la compartimentación y el control de humos. Además la norma NCh935/2, utilizada para ensayar las puertas de fuego en Chile, presenta una serie de deficiencias en lo que respecta a la desviación estándar exigida de la temperatura del horno, al uso de termopares instalados en el marco de la puerta y en el modo en que se ensaya la integridad de la puerta.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Motivación	1
1.2	Objetivos	2
1.2.1	Objetivo General.....	2
1.2.2	Objetivos Específicos	2
1.3	Metodología.....	3
1.4	Estructura de la Memoria.....	4
2.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	Normativas Según Países	5
2.1.1	Chile	5
2.1.2	Estados Unidos.....	5
2.1.3	España	6
2.1.4	Reino Unido	7
2.2	Investigaciones Recientes.....	8
2.2.1	The Influence Of Gaps Of Fire-resisting Doors On The Smoke Spread In A Building Fire	8
2.2.2	Smoke Leakage Through Wall Openings In A Fire.....	10
2.2.3	Thermal Behaviour Of A Steel Door Frame Subjected To The Standard Fire Of ISO 834: Measurements, Numerical Simulation And Parameter Study	12
2.2.4	Occupant Interactions With Self-closing Fire Doors In Private Dwellings	13
2.2.5	Study Of The Fire Resistance Performance Of A Kind Of Steel Fire Door.....	15
3.	MARCO REGULATORIO NACIONAL	17
3.1	Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones	17
3.2	NCh 935/1 y NCh 935/2.....	22
3.3	Listado Oficial de Comportamiento al Fuego de Elementos y Componentes de la Construcción	29
4.	MARCO REGULATORIO INTERNACIONAL.....	30
4.1	Estados Unidos	30
4.1.1	International Building Code.....	30
4.1.2	NFPA 252.....	43
4.1.3	NFPA 105.....	49
4.1.4	NFPA 80.....	51
4.2	España	53
4.2.1	Documento Básico: Seguridad en caso de incendio	53

4.2.2	Normas UNE-EN 1363-1 y 1634-1.....	59
4.2.3	Norma UNE-EN 13501-2.....	68
4.3	Reino Unido.....	70
4.3.1	Fire Safety: Approved Document B.....	70
4.3.2	Normas BS 476-20 y BS 476-22.....	75
4.3.3	Norma BS 476-31.....	79
4.3.4	Norma BS EN 1634-3.....	82
4.4	Análisis Comparativo Entre Países.....	87
5.	TEORÍA SOBRE LA COMPARTIMENTACIÓN DE HUMOS.....	94
6.	ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE CRITERIOS.....	102
7.	PROPUESTA DE MODIFICACIONES.....	104
7.1	Compartimentación de fuego.....	104
7.2	Compartimentación de humo.....	104
7.3	Resistencia puertas de fuego.....	104
7.4	Puertas resistentes al paso del humo.....	105
7.5	Reestructurar atributos exigibles a las puertas.....	105
7.6	Modificar desviación estándar del ensayo de fuego.....	105
7.7	Modificar exigencia termopares en marco de puerta.....	106
7.8	Modificar criterio de estabilidad mecánica.....	106
7.9	Adoptar norma de ensayo de puertas de humo.....	106
8.	DISCUSIÓN SOBRE IMPLEMENTACIÓN Y CONSECUENCIAS DE LAS MODIFICACIONES.....	107
9.	CONCLUSIONES.....	111
	BIBLIOGRAFÍA.....	114

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3-1: PROGRAMA TÉRMICO PARA EL HORNO (NCH935/1.OF97).....	22
TABLA 3-2: CLASIFICACIÓN DE PUERTAS SEGÚN LA DURACIÓN DE LA RESISTENCIA (NCH935/2.OF84).....	28
TABLA 4-1: RESISTENCIA AL FUEGO DE PUERTAS SEGÚN DONDE SE ENCUENTRA (IBC).....	40
TABLA 4-2: LIMITES DE ÁREA DE FILTRACIÓN DE BARRERAS DE HUMOS (IBC).....	41
TABLA 4-3: RELACIÓN RANGO DE ÁREA/TIEMPO PARA HORNO DE ENSAYO (NFPA 252).....	44
TABLA 4-4: CONDICIONES DE CHORRO DE AGUA (NFPA 252).....	46
TABLA 4-5: CLASIFICACIÓN PUERTAS DE FUEGO (NFPA 252).....	48
TABLA 4-6: CONDICIONES DE COMPARTIMENTACIÓN EN SECTORES DE INCENDIO (SI-DB).....	55
TABLA 4-7: RESISTENCIA AL FUEGO DE LAS PAREDES, TECHOS Y PUERTAS QUE DELIMITAN SECTORES DE INCENDIO (SI-DB).....	56
TABLA 4-8: CLASIFICACIÓN DE LOS LOCALES Y ZONAS DE RIESGO ESPECIAL INTEGRADOS EN EDIFICIOS (SI-DB).....	57
TABLA 4-9: CONDICIONES DE LAS ZONAS DE RIESGO ESPECIAL INTEGRADAS EN EDIFICIOS (SI- DB).....	58
TABLA 4-10: TABLA TIEMPO-TEMPERATURA DEL HORNO (UNE-EN 1363-1).....	60
TABLA 4-11: PORCENTAJE DE DESVIACIÓN SEGÚN EL TIEMPO (UNE-EN 1363-1).....	60
TABLA 4-12: DIMENSIONES MÁXIMAS DE COMPARTIMENTOS PARA EDIFICIOS NO RESIDENCIALES (FIRE SAFETY APPROVED DOCUMENT B).....	71
TABLA 4-13: REQUERIMIENTOS PUERTAS RESISTENTES AL FUEGO (FIRE SAFETY DOCUMENT B).....	73
TABLA 4-14: INTERVALOS DE TIEMPO PARA DESVIACIÓN ESTÁNDAR (BS 476-20).....	76
TABLA 4-15: NÚMERO DE ENSAYOS DE HUMO SEGÚN APLICACIÓN DE LA PUERTA (EN 1634-3)	83
TABLA 4-16: TABLA COMPARATIVA DE COMPARTIMENTACIÓN DE FUEGO Y HUMO ENTRE PAÍSES.....	87
TABLA 4-17: TABLA COMPARATIVA REQUERIMIENTOS DE PUERTAS DE FUEGO Y HUMO ENTRE PAÍSES.....	88
TABLA 4-18: TABLA COMPARATIVA DE ENSAYOS EXIGIDOS PUERTAS DE FUEGO Y HUMO SEGÚN CADA PAÍS.....	89
TABLA 4-19: PROGRAMA TÉRMICO ENSAYO PUERTAS DE FUEGO SEGÚN PAÍSES.....	89
TABLA 4-20: COMPARACIÓN DESVIACIÓN ESTÁNDAR ÁREA BAJO LA CURVA DE TEMPERATURA MEDIA AL INTERIOR DEL HORNO PARA EL ENSAYO DE PUERTA DE FUEGO.....	91
TABLA 4-21: NÚMERO MÍNIMO DE TERMOPARES PARA MEDIR TEMPERATURA DEL HORNO, TEMPERATURA MEDIA Y MÁXIMA CARA NO EXPUESTA EN ENSAYO DE PUERTAS DE FUEGO.....	91
TABLA 4-22: ESPECIFICACIONES DE PRESIÓN Y NÚMERO DE SENSORES DENTRO DEL HORNO ENSAYO DE PUERTA DE FUEGO SEGÚN CADA PAÍS.....	92
TABLA 4-23: REQUERIMIENTOS ENSAYO FILTRACIÓN DE AIRE PARA PUERTAS DE HUMO SEGÚN PAÍSES.....	93
TABLA 7-1: DESVIACIÓN ESTÁNDAR TEMPERATURA HORNO PROPUESTA PARA ENSAYO DE FUEGO PARA PUERTAS.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2-1: MECANISMO DE PROPAGACIÓN DEL HUMO A TRAVÉS DE ABERTURA ENTRE EL PISO Y LA PUERTA.....	8
FIGURA 2-2: ESQUEMA INSTRUMENTACIÓN ENSAYO BARRERA DE HUMO.....	11
FIGURA 2-3: ESQUEMA DE MODELO NUMÉRICO DE PUERTA DE FUEGO.	12
FIGURA 2-4: GRÁFICO DE RAZONES DE INTERVENCIÓN PUERTAS DE FUEGO (FASE 1).	14
FIGURA 3-1: RESISTENCIA AL FUEGO REQUERIDA PARA ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS (OGUC).	18
FIGURA 3-2: TABLA 1 PARA CLASIFICAR TIPO DE EDIFICIO (OGUC).	18
FIGURA 3-3: TABLA 2 PARA CLASIFICAR TIPO DE EDIFICIO (OGUC).	19
FIGURA 3-4: TABLA 3 PARA CLASIFICAR TIPO DE EDIFICIO (OGUC).	19
FIGURA 3-5: CURVA NORMAL TIEMPO-TEMPERATURA (NCH935/1OF.97).....	23
FIGURA 3-6: ESQUEMA DISPOSITIVO PARA MEDIR LA PRESIÓN ESTÁTICA (NCH935/2.OF84).	25
FIGURA 3-7: MONTAJE DE LA PUERTA. VISTA FRONTAL (NCH935/2.OF84).	25
FIGURA 3-8: DESCRIPCIÓN PUERTA ODIS BÓVEDA SIMPLE (LISTADO OFICIAL DE COMPORTAMIENTO AL FUEGO DE ELEMENTOS Y COMPONENTES DE LA CONSTRUCCIÓN).	29
FIGURA 4-1: CURVA TIEMPO-TEMPERATURA DENTRO DEL HORNO PARA EL ENSAYO (NFPA 252).	43
FIGURA 4-2: DIMENSIONES DE SONDA DE PRESIÓN ESTÁTICA (NFPA 252).	45
FIGURA 4-3: SONDA DE PRESIÓN (NFPA 252).	46
FIGURA 4-4: CURVA NORMALIZADA DE TEMPERATURA Y TIEMPO (UNE-EN 1363-1).	59
FIGURA 4-5: ESQUEMA DE POSICIÓN TERMOPARES (UNE-EN 1634-1).	63
FIGURA 4-6: EJEMPLO LOCALIZACIÓN TERMOPARES CARA NO EXPUESTA, CUADRADOS PARA TEMPERATURA MÁXIMA Y CÍRCULOS NO-RELLENOS PARA MEDIA (UNE-EN 1634-1).	65
FIGURA 4-7: CURVA TEMPERATURA/TIEMPO DEL HORNO ENSAYO DE FUEGO (BS 476-20).....	75
FIGURA 4-8: EJEMPLO DE UNA CÁMARA DE FILTRACIÓN DE AIRE CON SUB-CÁMARA (BS 476-31).	79
FIGURA 4-9: POSICIÓN DE MEDIDORES DE PRESIÓN AL INTERIOR DE LA CÁMARA (BS 476-31).	80
FIGURA 4-10: ENSAYO FUGA DE AIRE: VELOCIDAD DE INCREMENTO DE TEMPERATURA Y LÍMITES PERMITIDOS (BS EN 1634-3).....	85
FIGURA 4-11: CURVA TIEMPO-TEMPERATURA MEDIA INTERIOR HORNO ENSAYO PUERTA DE FUEGO SEGÚN PAÍSES.	90
FIGURA 5-1: SOLUCIÓN SELLADO CONTRA HUMO DE CONTACTO ENTRE MURO CORTINA Y LOSA (CBS).	97
FIGURA 5-2: DIFERENCIAS DE PRESIÓN A TRAVÉS UNA BARRERA DE UN SISTEMA DE CONTROL DE HUMO (KLOTE, J. 2002).	98
FIGURA 5-3: FLUJO DE HUMO A TRAVÉS DE UNA PUERTA EN CONTRA DE UNA BAJA VELOCIDAD DEL AIRE (KLOTE, J. 2002).	98
FIGURA 5-4: CONTENCIÓN DEL HUMO POR AIRE DE ALTA VELOCIDAD QUE FLUYE A TRAVÉS DE UNA PUERTA ABIERTA (KLOTE, J. 2002).....	98
FIGURA 5-5: UTILIZACIÓN DE LA PRESURIZACIÓN PARA MANTENER EL HUMO FUERA DE LA RUTA DE ESCAPE (DRYSDALE, D. 2011).	99
FIGURA 5-6: EJEMPLO DE RUTA DE ESCAPE COMPROMETIDA POR FALTA DE CONTROL DE HUMOS (DRYSDALE, D. 2011).....	100

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

Tanto internacionalmente como en el mercado nacional se utilizan puertas resistentes al fuego para compartimentar un edificio y evitar con ello la propagación de un incendio de un recinto a otro. En algunos países se complementa con requisitos de traspaso de humos, en función del tipo de edificio y el tipo de recinto que separan.

Los criterios para la definición de tales restricciones y los ensayos para determinar estas características son muy variados, y dependen de la normativa de cada país. En Chile, los requerimientos son dictados en la OGUC, los que se verifican mediante el ensayo de la norma NCh 935/2.

En el caso de Estados Unidos, los requerimientos y ensayos que deben cumplir las puertas resistentes al fuego en edificios dependen del International Building Code y el International Fire Code (IBC e IFC), como además de las normas que estos nombran, que en su mayoría son de la National Fire Protection Association (NFPA).

Para España, los requerimientos para el fuego que deben cumplir los edificios son definidos por el Código Técnico de la Edificación (CTE), en los documentos de Seguridad en Caso de Incendio (SI).

Por último en el Reino Unido, las normas que regulan los requerimientos de las puertas contra incendios dependen de la zona geográfica. Para las zonas de Inglaterra y Gales son los Fire Safety: Volume 1 and 2, del Departamento para Comunidades y Gobiernos Locales de Inglaterra. En el caso de Escocia son el Technical Handbook Domestic - Fire y Technical Handbook Non-Domestic - Fire. Por último para el caso de Irlanda de Norte es el Technical Booklet E - Fire safety.

Dado que la norma NCh 935/2 fue publicada en el año 1982, la OGUC y las normas que ésta hace referencia podrían encontrarse desactualizadas, lo cual implica que eventualmente existiría una diferencia apreciable entre el estándar nacional con el internacional. Por lo tanto una revisión y modificación de los criterios que componen a la OGUC sería de utilidad para tener una normativa de protección contra incendios de los edificios, actualizada a los estándares internacionales.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Revisar y evaluar el marco regulatorio chileno, y compararlo con el estándar internacional, en lo que respecta a la resistencia al fuego y traspaso de humo de las puertas, y compartimentación de humos en los edificios.

Proponer modificaciones a las normas nacionales de acuerdo a lo concluido en la revisión y evaluación de los marcos regulatorios internacionales.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar los requerimientos y ensayos que solicitan el marco regulatorio nacional sobre la resistencia al fuego y traspaso de humos de las puertas utilizadas en edificios.
- Identificar los requerimientos y ensayos que solicitan los marcos regulatorios de Estados Unidos, España y Reino Unido sobre la resistencia al fuego y traspaso de humos de las puertas utilizadas en edificios.
- Estudio y comprensión de la teoría detrás de los requerimientos internacionales con respecto al humo y su compartimentación.
- Proponer modificaciones a los requerimientos y ensayos de las puertas de edificios de Chile, con tal de acercar el marco regulatorio nacional al nivel internacional.
- Plantear lineamientos de las inspecciones técnicas que se encarguen de asegurar las modificaciones propuestas.

1.3 Metodología

La metodología aplicada para la realización de esta memoria es la siguiente:

- **Revisión Bibliográfica**
Se identifican y estudian las normas técnicas que deben cumplir las puertas de edificios, para la resistencia al fuego y traspaso de humos, de Chile, Estados Unidos, Reino Unido y España. Además se estudia las investigaciones recientes realizadas sobre el tema.
- **Comparación de Criterios**
Una vez identificado los estándares de cada país estudiado, se comparan los requerimientos y ensayos de las puertas de edificios de Chile con las de cada país estudiado.
- **Estudio de Compartimentación de Humos**
Un estudio de las estrategias detrás de las normas estudiadas se realiza para poder entender cuándo, cómo y por qué se debe compartimentar y comprender su importancia relativa en comparación a otros criterios utilizados contra los incendios.
- **Análisis y Selección de Criterios**
Se realiza un análisis de los criterios de las normas técnicas de los países estudiados y se seleccionan aquellos que permitan mejorar los requerimientos nacionales y a su vez sean factibles de implementar.
- **Indicación de Modificaciones a Requerimientos y Ensayos**
Al haber seleccionado los nuevos requerimientos a implementar, se realizan indicaciones para la modificación de los requerimientos y ensayos de las normas nacionales.
- **Proposición de Lineamientos para Inspecciones Técnicas**
Por último se estudia la forma en que se ejecutan las inspecciones técnicas que se realizan a las puertas utilizadas en edificios en Chile, para poder así plantear los lineamientos de las inspecciones técnicas que contemplen las modificaciones propuestas.

1.4 Estructura de la Memoria

- **1. INTRODUCCIÓN:** Se describe el tema, objetivos y metodología utilizados para la realización de esta memoria.
- **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA:** Se ejecuta una revisión de los trabajos realizados hasta la fecha sobre el tema de la memoria y las normas regulatorias de Chile, Estados Unidos, España y Reino Unido.
- **3. MARCO REGULATORIO NACIONAL:** Contiene una recopilación de los estándares exigidos por la normativa chilena en lo que respecta a las puertas resistentes al fuego.
- **4. MARCO REGULATORIO INTERNACIONAL:** Contiene una recopilación de los estándares exigidos por la normativa estadounidense, española e inglesa en lo que respecta a las puertas resistentes al fuego y compartimentación de humos, junto con un análisis comparativo entre los países.
- **5. TEORÍA SOBRE LA COMPARTIMENTACIÓN DE HUMOS:** Se describe la teoría de la compartimentación de humos, basada en las normas estudiadas, respondiendo a las preguntas de cuándo, cómo y por qué se compartimenta y su importancia relativa con otros sistemas contra incendios.
- **6. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE CRITERIOS:** Se realiza análisis de falencias del marco regulatorio nacional con respecto al internacional y a la teoría.
- **7. PROPUESTA DE MODIFICACIONES:** Contiene una propuesta de las modificaciones a implementar en el marco regulatorio nacional.
- **8. DISCUSIÓN SOBRE IMPLEMENTACIÓN Y CONSECUENCIAS DE LAS MODIFICACIONES:** Se realiza una discusión sobre la forma de implementación de las modificaciones, las consecuencias que tendrían y como se deben realizar las inspecciones técnicas.
- **9. CONCLUSIONES:** Se presentan las conclusiones obtenidas de la memoria.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este capítulo se estudia las normativas de Chile, Estados Unidos, España y Reino Unido con respecto a los requerimientos sobre la resistencia al fuego y traspaso de humos de las puertas utilizadas en los edificios. Se expone las normativas vigentes que regulan tales requisitos. Además se presenta las investigaciones recientes realizadas con respecto a las puertas de fuego y traspaso de humo en barreras.

2.1 Normativas Según Países

2.1.1 Chile

En Chile, la normativa que contiene y regula los requerimientos de protección contra incendios es la *Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones* (OGUC). Esta ordenanza se publicó el año 1992 y a lo largo del tiempo ha sido actualizada. La OGUC contiene las disposiciones que deben cumplir las edificaciones en Chile, entre las cuales están las de planificación, urbanización, arquitectura y construcción. El capítulo 3 del título 4 de la OGUC contiene las condiciones de seguridad contra incendio que deben cumplir los edificios en Chile. En este capítulo se aborda la resistencia al fuego que requieren los elementos de construcción, los sistemas de protección contra incendios que se deben equipar y las normas técnicas a recurrir para ensayar distintos tipos de elementos. La OGUC dice que la resistencia al fuego de las puertas debe ser determinada mediante el uso de las normas NCh 935/1 y NCh 935/2. El ensayo que describen estas normas consiste en exponer un lado de la puerta a condiciones de temperatura y presión determinadas mediante el uso de un horno. Durante el ensayo se debe realizar una serie de observaciones y pruebas para determinar la resistencia al fuego de la puerta.

2.1.2 Estados Unidos

Estados Unidos está conformado por 50 estados, los cuales tienen normativas propias de cada uno. En este país existen dos grupos técnicos que redactan y publican códigos de construcción y fuego, los cuales son el *International Code Council* (ICC) y la *National Fire Protection Association* (NFPA). El ICC redacta periódicamente el *International Building Code* (IBC) y el *International Fire Code* (IFC), los cuales contienen en gran parte la misma información, pero uno está enfocado en cómo construir los requerimientos de protección contra incendios, y el otro en las condiciones que se deben cumplir para la protección contra incendios. En cambio la NFPA publica la *NFPA 1 Fire Code* y *NFPA 101 Life Safety Code*, las cuales plantean los requerimientos

mínimos que deben cumplir las estructuras para asegurar la vida de las personas en caso de incendio.

HDR Inc. y Rolf Jenson & Associates Inc. publicaron en el 2007 un informe en el cual comparan los requerimientos de fuego y seguridad del *International Building Code* y la *NFPA 101 Life Safety Code* del año 2006. Este informe concluyó que en los requisitos de construcción relacionados a la resistencia al fuego, las diferencias entre ambos códigos son pequeñas pero el IBC aborda en mayor detalle cada requerimiento.

Hasta la fecha, los 50 estados han adoptado el IBC, 42 el IFC y 20 la NFPA 101 (Bracken Engineering, 2016). Con este dato queda claro que el IBC tiene mayor relevancia en los requerimientos constructivos para la protección contra incendios en edificios.

El IBC dice que para ensayar las puertas de fuego se debe utilizar la norma NFPA 252, la cual consiste en exponer una cara de la puerta a temperaturas y presiones determinadas mediante el uso de un horno. Además se realiza un ensayo de chorro de agua, el cual expone la cara ensayada a un chorro de agua a presiones y duraciones determinadas. Para ensayar e instalar las puertas resistentes al traspaso de humos, el IBC recurre a la norma NFPA 105 y para la instalación de puertas de fuego a la norma NFPA 80.

2.1.3 España

En España, la *Ley de Ordenación de la Edificación* define cuales son los requisitos que deben cumplir las estructuras con respecto a los incendios. Esta ley separa las edificaciones en dos grupos principales, estructuras de uso industrial y las restantes. Los requisitos de protección contra incendios que deben cumplir las edificaciones industriales son abordados por el *Reglamento De Seguridad Contra Incendios En Los Establecimientos Industriales*. En cambio, para las edificaciones tradicionales, existe el *Código Técnico de la Edificación* (CTE), el cual tiene una sección denominada *Seguridad en Caso de Incendio* (SI). Esta sección está subdivida en los documentos básicos (DB-SI) y los de apoyo (DA-SI). El DB-SI contiene las reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de seguridad contra incendios de los edificios. Está dividido en 6 secciones, las cuales son: Propagación interior, Propagación exterior, Evacuación de ocupantes, Instalaciones de protección contra incendios, Intervención de los bomberos y Resistencia al fuego de la estructura.

Por otro lado, el DB-SI dice que las puertas de fuego deben ensayarse según las normas UNE-EN 1363-1 y UNE-EN 1634-1, las cuales describen el ensayo para la resistencia al fuego, que consiste en exponer un lado de la puerta a temperaturas y

presiones específicas, utilizando un horno. La clasificación de estas puertas se realiza según la norma UNE-EN 13501-2, la cual caracteriza las propiedades de elementos constructivos según los resultados de sus ensayos respectivos.

2.1.4 Reino Unido

En el Reino Unido, las leyes que abordan la seguridad contra incendios dependen de la zona geográfica, las que se separan en:

- Inglaterra y Gales
- Escocia
- Irlanda del Norte

Los requerimientos para la seguridad contra incendios en el caso de Inglaterra y Gales se encuentran en los documentos Fire Safety: Approved Document B Volume 1 – Dwellinghouses, para casas habitacionales y Fire Safety: Approved Document B Volume 2 – Other Than Dwellinghouses, para estructuras distintas a casas habitacionales. En el caso de Escocia, los requerimientos se encuentran el Technical Handbook Domestic - Fire y Technical Handbook Non-Domestic - Fire. Por último para el caso de Irlanda de Norte es el Technical Booklet E - Fire safety.

Los requerimientos de los documentos anteriormente mencionados son muy similares, pero en el caso de Inglaterra y Gales, se explica en mayor detalle los requerimientos. Inglaterra es la zona más relevante con respecto a exigencias de protección contra incendios.

Los ensayos de la resistencia al fuego para las puertas son descritos en las normas BS 476-20 y BS 476-22, las cuales describen el ensayo para la resistencia al fuego, que consiste en exponer un lado de la puerta a temperaturas y presiones específicas, utilizando un horno. También se permite ensayar las puertas según la norma según las normas BS EN 1363-1 y BS EN 1634-1, que son normas técnicas para toda Europa, y utilizadas en el caso de España.

Con respecto al traspaso de humos en puertas, Inglaterra exige que éstas se ensayen según la norma BS 476-31 o la BS EN 1634-3.

2.2 Investigaciones Recientes

A continuación se presenta las investigaciones recientes que existen sobre puertas de fuego y barreras de humos, utilizadas para la compartimentación de humos.

2.2.1 The Influence Of Gaps Of Fire-resisting Doors On The Smoke Spread In A Building Fire

En el año 2006, Sherman C.P. Cheung, S.M. Lo, G.H. Yeoh y Richard K.K. Yuen publicaron un paper titulado *The influence of gaps of fire-resisting doors on the smoke spread in a building fire*, en el cual se presentó un estudio numérico y un análisis de las influencias de la abertura inferior de las puertas resistentes al fuego (espacio entre el suelo y la puerta), en la propagación de humo de un incendio en un recinto cerrado utilizando técnicas computacionales de fluidos dinámicos. Se investigaron cuatro alturas de aberturas inferiores de puertas de fuego que fueron de 3, 5, 7 y 10 [mm].

Los objetivos de esta publicación fueron entender mejor la fenomenología del comportamiento de la salida del humo, a través de distintas aberturas de las puertas de fuego y determinar cuál altura impide mejor el flujo del humo a través de las puertas.

El fenómeno a estudiar consistió en una habitación rodeada por muros y separada de una habitación contigua por una puerta de fuego. En la primera habitación existe una fuente de fuego, la cual provoca un incendio de tal forma que aumenta la temperatura y la presión en aquel espacio. La habitación contigua, al estar separada por una puerta de fuego, no presenta aumento en la temperatura ni en su presión. La diferencia de presión provoca que el humo caliente, de la habitación del incendio, fluya a través de la abertura inferior de la puerta.

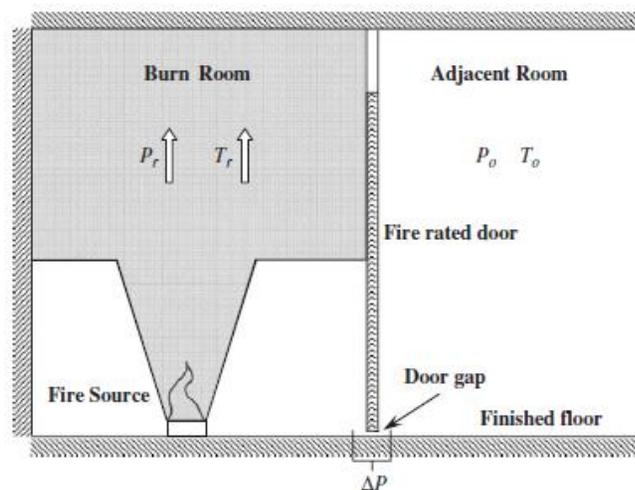


Figura 2-1: Mecanismo de propagación del humo a través de abertura entre el piso y la puerta.

Para realizar la modelación del fenómeno se asumieron las siguientes condiciones:

- No existe ingreso de aire fresco a la habitación del incendio.
- La habitación del incendio tiene 2,4 [m] de altura, 2,8 [m] de ancho y 2,8 [m] de largo, y una temperatura inicial de 27°C.
- La puerta tiene 2 [m] de altura, 0,8 [m] de ancho y 0,1 [m] de espesor.
- No hay pérdida de calor a través de los muros y puerta.
- El incendio es provocado por un lecho de combustible cuadrado de arista 0,3 [m] elevado a una altura de 0,3 [m] del suelo con un contenido total de calor de 10 [MJ].
- Un ritmo de liberación de calor máximo de 100 [KW] con crecimiento y descenso simétricos gobernados por $\dot{Q} = 0,00856xt^2, 0 \leq t \leq 108[s]$, $\dot{Q} = 100 [KW], 108 < t < 136[s]$, $\dot{Q} = 0,00856x(244 - t)^2, 136 \leq t \leq 244[s]$.

Las ecuaciones que gobiernan el fenómeno fueron discretizadas utilizando un método de volúmenes finitos. La velocidad y presión acopladas fueron solucionadas mediante el algoritmo SIMPLE.

La publicación presentó las siguientes conclusiones:

1. Las predicciones numéricas concuerdan con los resultados experimentales obtenidos por England y Young en 1999. La diferencia de presión fue generada por la expansión del aire dentro de la habitación y al llegar a un cierto nivel, el humo atravesó la puerta para los 4 casos.
2. Mayores aberturas generan una menor resistencia al flujo del humo y permiten el paso de mayores temperaturas a través de la abertura.
3. En los casos de las aberturas de 7 y 10 [mm], hubo un menor gradiente de presión resultando en la posibilidad de reincorporación de aire fresco a través de la abertura hacia el incendio. En los casos de 3 y 5 [mm], el alto gradiente de presión entrega la posibilidad de la apertura de la puerta, pero las puertas de fuego requieren tener un sistema de cerrado automático, lo que resulta en que la puerta esté entreabierta.
4. La resistencia al flujo del humo a través de la abertura de la puerta presenta un comportamiento altamente no lineal, y se ve reducida significativamente para aberturas mayores a los 3 [mm].

2.2.2 Smoke Leakage Through Wall Openings In A Fire

El paper titulado *Smoke Leakage Through Wall Openings In A Fire* fue publicado en el año 2007, por Chan-Wei Wu, Ta-Hui Lin, Chien-Jung Chen y Ming-Ju Tsai, en el cual se presenta el diseño y ensayo de una barrera de humo a escala real, para luego investigar aberturas de distintas formas geométricas en muros, las cuales podrían ser utilizadas para permitir el paso de cables y cañerías, a diferentes presiones y temperaturas.

El objetivo de la publicación fue entender los principios que gobiernan el flujo del humo a través de aberturas irregulares en muros durante un incendio.

Para realizar el ensayo se utilizó un horno refractario para muros y puertas, de dimensiones interiores de 500x520x140 [cm], por 4 [h].

La instrumentación utilizada para ensayar la barrera de humo se dividió en las siguientes 5 secciones:

- **Circulación de Gas Caliente:** contiene una cámara de presión y un ventilador, el cual dirige los gases calientes, desde el horno refractario a un ambiente de alta temperatura y presión constante en la zona superior del espécimen.
- **Cámara de Gas:** compuesta de un ventilador de inducción de aire, tubos de escape y un medidor de flujo. El ventilador controla la presión ejercida en el espécimen.
- **Sistema de retroalimentación de gas y temperatura:** compuesto por termopares tipo K, sensores de presión, sistema de gestión de datos y paneles de control.
- **Plataforma con ruedas conducida por motor**
- **Espécimen:** muro de hormigón de 3[m]x3[m] con una placa de acero de 1[m]x1[m]x5[mm] en su centro, la cual contiene una abertura de geometría variable (rectangular, cuadra y circular), para el paso del humo.

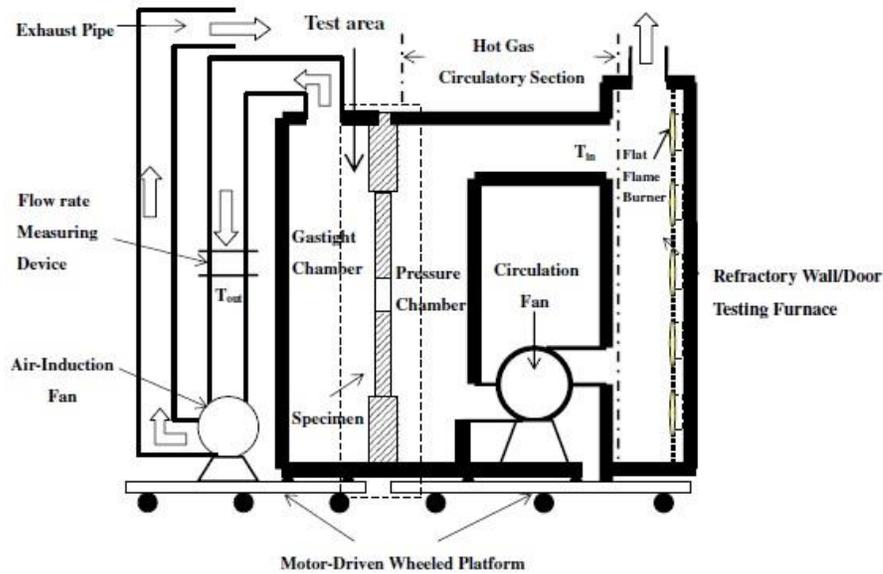


Figura 2-2: Esquema instrumentación ensayo barrera de humo.

El método experimental empleado consistió en dirigir los gases calientes de la combustión del horno hacia la cámara de presión mediante un ventilador. La temperatura en la cámara de presión se controló a valores nominales de 100, 200, 300, 400 y 500°C, así simulando distintas intensidades de fuego. Las diferencias de presiones empleadas para ensayar el espécimen fueron de 30, 50, 100, 150, 200, 250 y 300 [Pa].

Las conclusiones obtenidas de este trabajo fueron:

- La tasa de fuga de humo es dependiente de varios factores, los cuales incluyen diferencia de presión, temperatura del gas, forma geométrica y área de la abertura.
- La tasa de fuga de humo es proporcional a la raíz cuadrada de la diferencia de presión.
- Una abertura de mayor relación perímetro-área tiene mayor resistencia al flujo del humo y por tanto una menor tasa de fuga del humo.
- El factor de fricción geométrico de las aberturas varía levemente para los números de Reynolds encontrados en el experimento.

2.2.3 Thermal Behaviour Of A Steel Door Frame Subjected To The Standard Fire Of ISO 834: Measurements, Numerical Simulation And Parameter Study

K. Ghazi Wakili, L. Wulschleger y E. Hugi publicaron, en el año 2008, un paper titulado *Thermal behaviour of a steel door frame subjected to the standard fire of ISO 834: Measurements, numerical simulation and parameter study*, en el cual se analizó la evolución de la temperatura de un marco de acero (de una puerta de fuego) de forma experimental y numérica, con el objetivo de encontrar los mayores factores de influencia en el criterio de insolación I del marco.

La parte experimental de este trabajo consistió en ensayar una puerta de fuego de hoja de acero y un marco ajustable de acero sujeto a la norma ISO 834. Además de los termopares exigidos por la norma, se instalaron 12 termopares adicionales dentro del marco para registrar las temperaturas durante el ensayo y así poder validar el modelo número utilizado para desarrollar la publicación.

El análisis numérico de 2 y 3 dimensiones de la evolución de la temperatura del marco de la puerta se realizó utilizando el programa VOLTRA. El modelo consistió en una muralla de ladrillos y el marco ajustable de acero. La hoja de la puerta no se analizó pero se consideró la interacción entre el marco y la hoja como una condición de borde adiabático.

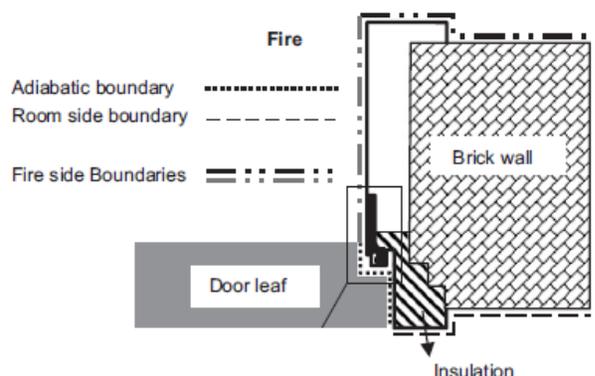


Figura 2-3: Esquema de modelo numérico de puerta de fuego.

Se consideró una temperatura constante de 23°C en la habitación contigua como condición de borde, una constante de transferencia de calor de convección dada por $h_c=4W/m^2 K$ y el coeficiente de transferencia de calor por radiación h_r se calculó para cada iteración.

El paper concluyó que el modelo numérico simuló satisfactoriamente el ensayo realizado. La condición de borde adiabático entre el marco y la hoja es válida si, durante el ensayo no se presentan aberturas en la puerta que permitan el flujo de gases calientes. Este supuesto es equivalente al cumplimiento del criterio de integridad. Si este criterio se asume, se concluye que la protección del marco del lado no-expuesto

del calor transferido por radiación puede ser realizada rellenando parcialmente la cavidad entre el marco y la muralla. El relleno completo de esta cavidad compuesto por un material de insolación o de gran masa térmica tiene poca influencia en la evolución de la temperatura del marco del lado no-expuesto.

La resistencia al fuego de un marco compuesto de una sola pieza es menor a la de uno ajustable compuesto por dos partes, dada la resistencia térmica adicional aportada por el punto de contacto de las piezas.

Por último, suponiendo el cumplimiento del criterio de integridad, el marco de la puerta requiere mayor resistencia al fuego si la configuración de la puerta es de abertura hacia afuera del horno en vez de hacia adentro. Esto se produce porque el área del marco expuesta al horno es mayor en el caso de la puerta que se abre hacia afuera del horno.

2.2.4 Occupant Interactions With Self-closing Fire Doors In Private Dwellings

Occupant interactions with self-closing fire doors in private dwellings se titula el paper, publicado en el año 2010 por H. McDermott, R. Haslam y A. Gibb, en el cual los autores tuvieron como objetivos recopilar información de cómo los ocupantes de viviendas privadas del Reino Unido interactúan con las puertas de fuego en sus hogares, y cuantificar el grado en que los dispositivos de cierre automático de aquellas puertas pudieran haber sido alterados para prevenir su funcionamiento.

La metodología empleada consistió en dos fases. La primera radicó en 40 entrevistas en persona a ocupantes de viviendas nuevas (máximo 2 años de antigüedad), en la que se preguntó si se realizó alguna modificación a sus puertas de fuego. La segunda fase consistió en el envío de un cuestionario, a distintas viviendas a lo largo del área central de Inglaterra, el cual solicitó información sobre las modificaciones realizadas a las puertas de fuego del destinatario. De los 794 cuestionarios enviados, 142 fueron respondidos.

Los resultados de la fase 1 fueron que de las 40 propiedades, 26 de ellas estaban equipadas con puertas de fuego con cierre automático en línea de las regulaciones de construcción del Reino Unido. Las otras 14 estaban exentas de requerimientos de puertas de fuego. De las 26 propiedades, 25 tenían puertas de fuego equipadas con cadenas ocultas de cierre automático y la restante con un brazo de cierre automático.

Todos los ocupantes, de las viviendas equipadas con puertas de fuego, intervinieron el mecanismo de cierre automático, y en 25 de ellas se trabaron las puertas para mantenerlas abiertas. Las razones de las intervenciones se presentan en la siguiente figura:

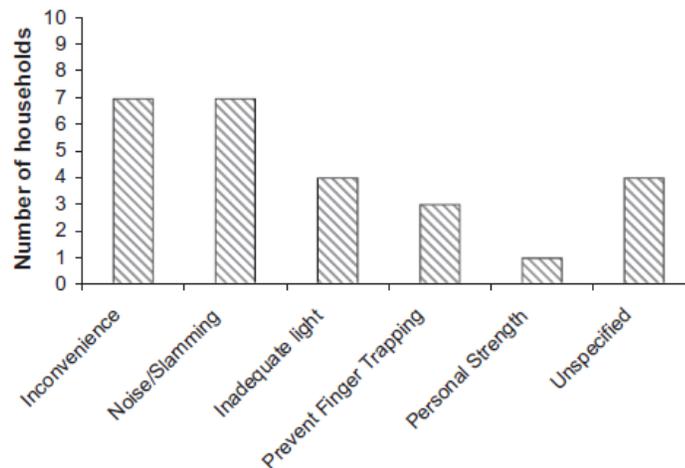


Figura 2-4: Gráfico de razones de intervención puertas de fuego (Fase 1).

Los resultados de la fase 2 fueron que de los 142 cuestionarios respondidos, 51 respondieron que sus viviendas estaban equipadas con puertas de fuego con cierre automático. En el 70,6% de estas viviendas, las puertas se mantenían abiertas impidiendo el cierre automático, un 19,6% informó haber removido el mecanismo de cierre automático y un 23,5% dijo que algún miembro de la vivienda sufrió lesiones en los dedos debido al cierre automático de la puerta.

La publicación concluyó que:

- Los ocupantes de viviendas equipadas con puertas de fuego con cierre automático reportaron que su uso era incomodo, dado que impide el libre flujo entre habitaciones, limita la luz natural y representa un riesgo de lesiones provocadas por el cierre automático en la manos.
- El cierre automático de las puertas para viviendas es una medida ineficiente, ya que aun cuando los habitantes entienden su propósito, intervienen o eliminan el mecanismo.

2.2.5 Study Of The Fire Resistance Performance Of A Kind Of Steel Fire Door

Un paper titulado *Study of the Fire Resistance Performance of a Kind of Steel Fire Door* fue publicado el año 2013 por Wu Xin, Liu Jian-yong, Zhao Xia, Yang Zhan y Xu Ran, que consistió en la realización de un ensayo de resistencia al fuego de una puerta doble de acero sin relleno entre sus hojas.

La puerta ensayado era de 2,4 [m] de ancho, 2,4 [m] de alto y 45 [mm] de espesor. Las hojas y el marco de la puerta eran de acero laminado en frío de 1 [mm] de espesor. La cara ensayada contenía las bisagras y manillas.

Para el ensayo se utilizó un horno a gas equipado con 16 termopares y 3 sensores de presión y una manguera de agua.

El ensayo consistió en evaluar la integridad, insolación y el rendimiento bajo un chorro de agua.

Los criterios para evaluar la falla de integridad fueron:

- Presencia de llamas de la cara no expuesta por una duración mayor a 10 [s].
- Cuando grietas, aberturas o fisuras permiten el flujo de llamas o gases calientes que combustionan una almohadilla de algodón cuando se acerca a éstas.
- Cuando una galga de 6 [mm] de diámetro penetra a través de una abertura hacia el horno y recorre una distancia mínima de 150 [mm].
- Cuando una galga de 25 [mm] de diámetro penetra a través de una abertura hacia el horno.

Los criterios para evaluar la falla de insolación fueron:

- Cuando la temperatura promedio de la cara no expuesta de la puerta aumenta en 140°C de su temperatura inicial.
- Cuando cualquier punto de la cara no expuesta de la puerta aumenta en 180°C de la temperatura promedio de la cara no expuesta.

Para el ensayo de chorro de agua, inmediatamente terminado el ensayo de fuego, se aplicó un chorro de alta presión de agua a la cara expuesta de la puerta durante 90 [s], y se observó si se desarrollaron aberturas en la puerta.

La publicación concluyó que la puerta tuvo un buen rendimiento de integridad (mayor a 3 [h]), pero un mal rendimiento de insolación (menor a 10 [min]) dado la falta de relleno entre las hojas de la puerta. En el caso del ensayo de chorro de agua, la puerta no presentó aberturas y siguió operativa después del ensayo.

3. MARCO REGULATORIO NACIONAL

En Chile, el capítulo 3 del cuarto título de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), es el documento legal que se encarga de definir y regular las condiciones de seguridad contra incendios en Chile.

En este capítulo se plantea todas aquellas exigencias y/o condiciones que deban cumplir las puertas en edificaciones en Chile, según la OGUC y las normas técnica que ésta hace referencia, en lo que respecta a la seguridad contra incendios. También se plantea aquellas condiciones que estén relacionadas con la compartimentación de fuego y humos.

3.1 Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones

El artículo 1.1.2 define la “Zona Vertical de Seguridad” como vía vertical de evacuación protegida de los efectos del fuego que, desde cualquier nivel hasta el de salida, permite a los usuarios evacuar el edificio sin ser afectados por el fuego, humo o gases.

Según el artículo 4.3.2 de la OGUC, el comportamiento al fuego de las puertas estará determinado por las normas NCh 935/1 Ensayo de resistencia al fuego – Parte 1: Elementos de construcción general, y NCh 935/2 Ensayo de resistencia al fuego – Parte 2: Puertas y otros elementos de cierre. Además existe un Listado Oficial de Comportamiento al Fuego, confeccionado por Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), el cual registra, mediante valores representativos, cualidades frente a la acción del fuego de componentes utilizados en la construcción.

El artículo 4.3.3 plantea que los edificios deberán proyectarse y construirse según alguno de los cuatro tipos que se señalan en la figura 3-1 y los elementos que se utilicen en su construcción, deberán cumplir con la resistencia al fuego que en dicha figura se indica.

ELEMENTOS DE CONSTRUCCION									
TIPO	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
a	F-180	F-120	F-120	F-120	F-120	F-30	F-60	F-120	F-60
b	F-150	F-120	F-90	F-90	F-90	F-15	F-30	F-90	F-60
c	F-120	F-90	F-60	F-60	F-60	-	F-15	F-60	F-30
d	F-120	F-60	F-60	F-60	F-30	-	-	F-30	F-15

SIMBOLOGIA:

Elementos verticales:

- (1) Muros cortafuego
- (2) Muros zona vertical de seguridad y caja de escalera
- (3) Muros caja ascensores
- (4) Muros divisorios entre unidades (hasta la cubierta)
- (5) Elementos soportantes verticales
- (6) Muros no soportantes y tabiques

Elementos verticales y horizontales:

- (7) Escaleras

Elementos horizontales:

- (8) Elementos soportantes horizontales
- (9) Techumbre incluido cielo falso

Figura 3-1: Resistencia al fuego requerida para elementos de construcción de edificios (OGUC).

El artículo 4.3.4 dice que para aplicar lo dispuesto en el artículo 4.3.3 deberá considerarse, además del destino y del número de pisos del edificio, su superficie edificada, o la carga de ocupación, o la densidad de carga combustible, según corresponda, como se señala en las figura 3-2, 3-3 y 3-4.

Destino del edificio	Superficie edificada (M2)	Numero de pisos						
		1	2	3	4	5	6	7 o más
Habitacional	Cualquiera	d	d	c	c	b	a	a
Hoteles o similares	Sobre 5.000	c	b	a	a	a	a	a
	sobre 1.500 y hasta 5.000	c	b	b	b	a	a	a
	sobre 500 y hasta 1.500	c	c	b	b	a	a	a
	hasta 500	d	c	b	b	a	a	a
Oficinas	Sobre 1.500	c	c	b	b	b	a	a
	sobre 500 y hasta 1.500	c	c	c	b	b	a	a
	hasta 500	d	c	c	b	b	a	a
Museos	Sobre 1.500	c	c	b	b	b	a	a
	sobre 500 y hasta 1.500	c	c	c	b	b	a	a
	hasta 500	d	c	c	b	b	a	a
Salud(clínica, hospitales y laboratorios)	Sobre 1.000	c	b	b	a	a	a	a
	Hasta 1.000	c	c	b	b	a	a	a
Salud (Policlinicos)	Sobre 400	c	c	b	b	b	b	a
	Hasta 400	d	c	c	b	b	b	a
Restaurantes y fuentes de soda	Sobre 500	b	a	a	a	a	a	a
	Sobre 250 y hasta 500	c	b	b	a	a	a	a
	Hasta 250	d	c	c	b	b	a	a
Locales comerciales	Sobre 500	c	b	b	a	a	a	a
	Sobre 200 y hasta 500	c	c	b	b	a	a	a
	Hasta 200	d	c	b	b	b	a	a
Bibliotecas	Sobre 1.500	b	b	a	a	a	a	a
	Sobre 500 y hasta 1.500	b	b	b	a	a	a	a
	Sobre 250 y hasta 500	c	b	b	b	a	a	a
	Hasta 250	d	c	b	b	a	a	a
Centro de reparación automotor	Cualquiera	d	c	c	b	b	b	a
Edificios de estacionamiento	Cualquiera	d	c	c	c	b	b	a

Figura 3-2: Tabla 1 para clasificar tipo de edificio (OGUC).

DESTINO DEL EDIFICIO	MAXIMO DE OCUPANTES	NUMERO DE PISOS					
		1	2	3	4	5	6 ó más
Teatros y espectáculos	Sobre 1.000	b	a	a	a	a	a
	Sobre 500 y hasta 1.000	b	b	a	a	a	a
	Sobre 250 y hasta 500	c	c	b	b	a	a
	Hasta 250	d	d	c	c	b	a
Reuniones	Sobre 1.000	b	a	a	a	a	a
	Sobre 500 y hasta 1.000	b	b	a	a	a	a
	Sobre 250 y hasta 500	c	c	b	b	a	a
	Hasta 250	d	d	c	c	b	a
Docentes	Sobre 500	b	b	a	a	a	a
	Sobre 250 y hasta 500	c	c	b	b	a	a
	Hasta 250	d	d	c	c	b	a

Figura 3-3: Tabla 2 para clasificar tipo de edificio (OGUC).

DESTINO DEL EDIFICIO	DENSIDAD DE CARGA COMBUSTIBLE (*)		NUMERO DE PISOS					
	Media (MJ/m ²) según NCh 1916	Puntual Máxima (MJ/m ²) según NCh 1993	1	2	3	4	5	6 ó más
Combustibles, lubricantes, aceites minerales y naturales.	Sobre 8.000	Sobre 24.000	a	a	a	a	a	a
	sobre 4.000 y hasta 8.000	sobre 16.000 y hasta 24.000	b	a	a	a	a	a
	sobre 2.000 y hasta 4.000	sobre 10.000 y hasta 16.000	c	b	a	a	a	a
	hasta 2.000	hasta 10.000	d	c	b	a	a	a
Establecimientos Industriales.	Sobre 16.000	Sobre 32.000	a	a	a	a	a	a
	sobre 8.000 y hasta 16.000	sobre 24.000 y hasta 32.000	b	a	a	a	a	a
	sobre 4.000 y hasta 8.000	sobre 16.000 y hasta 24.000	c	b	a	a	a	a
	sobre 2.000 y hasta 4.000	sobre 10.000 y hasta 16.000	c	c	b	a	a	a
	sobre 1.000 y hasta 2.000	sobre 6.000 y hasta 10.000	d	c	c	b	a	a
	sobre 500 y hasta 1.000	sobre 3.500 y hasta 6.000	d	d	c	c	b	a
hasta 500	hasta 3.500	d	d	d	c	c	c	
Supermercados y Centros Comerciales.	Sobre 16.000	Sobre 32.000	b	a	a	a	a	a
	sobre 8.000 y hasta 16.000	sobre 24.000 y hasta 32.000	b	b	a	a	a	a
	sobre 4.000 y hasta 8.000	sobre 16.000 y hasta 24.000	c	b	b	a	a	a
	sobre 2.000 y hasta 4.000	sobre 10.000 y hasta 16.000	c	c	b	b	a	a
sobre 1.000 y hasta 2.000	sobre 6.000 y hasta 10.000	d	c	c	b	b	a	
hasta 1.000	hasta 6.000	d	d	c	c	b	b	
Establecimientos de bodegaje.	Sobre 16.000	Sobre 32.000	b	b	a	a	a	a
	sobre 8.000 y hasta 16.000	sobre 24.000 y hasta 32.000	c	b	b	a	a	a
	sobre 4.000 y hasta 8.000	sobre 16.000 y hasta 24.000	c	c	b	b	a	a
	sobre 2.000 y hasta 4.000	sobre 10.000 y hasta 16.000	d	c	c	b	b	a
	sobre 1.000 y hasta 2.000	sobre 6.000 y hasta 10.000	d	d	c	c	b	b
	sobre 500 y hasta 1.000	sobre 3.500 y hasta 6.000	d	d	d	c	c	b
hasta 500	hasta 3.500	d	d	d	d	c	c	

1MJ/m² = 238.85 k cal/m²

1 MJ = 0.053 kg madera equivalente de 4.000 k cal/kg

(*) Para clasificar un edificio o sector de él, se aplica la densidad de carga combustible mayor de ambas columnas de la Tabla 3.

Figura 3-4: Tabla 3 para clasificar tipo de edificio (OGUC).

En artículo 4.3.7, se plantea que todo edificio de 7 pisos o más debe tener una “Zona Vertical de Seguridad”, que va desde el nivel superior hasta el de la calle. A su vez todo edificio con más de un piso subterráneo, debe tener una “Zona de Seguridad Inferior” que va desde el último nivel de subterráneo hasta un espacio libre exterior o al nivel de acceso del edificio.

El punto 3 del artículo dice que en caso de que la zona vertical de seguridad tenga escaleras interiores, ésta debe estar presurizada de tal forma que permita a los

usuarios evacuar el edificio sin verse afectados por los humos y gases generados por el incendio, aun cuando el suministro normal de energía eléctrica sea interrumpido.

En el punto 4 del artículo mencionado que en las zonas de seguridad, las puertas de acceso o egreso y sus componentes, en todos los pisos, deben tener una resistencia a la acción del fuego correspondiente a la clase F-60 y contar con cierre automático.

En el punto 7 del artículo se menciona que para los edificio de 10 o más pisos, estos deben tener disponible en cada piso un vestíbulo con acceso a la red seca y la red húmeda. El vestíbulo será contiguo a la escalera presurizada y de pasada obligatoria, estará protegido contra el fuego por muros con igual resistencia que los muros de la escalera. La puerta de entrada del vestíbulo debe cumplir las mismas solicitudes que el punto 4 del artículo.

Según el artículo 4.3.14, en los muros cortafuegos, se permite abrir vanos para dar continuidad a circulaciones horizontales con tal de que exista un sistema de cierre con una resistencia mínima al fuego de clase F-60. Además el sistema de cierre debe ser tal, que se cierre automáticamente en caso de incendio, permita su fácil apertura de forma manual y que se vuelva a cerrar de forma automática.

El artículo 4.3.24, explica que toda edificación puede ser subdividida en compartimientos independientes, mediante muros de compartimentación de resistencia al fuego F-120 o superior, tal que en aquellos muros se admiten el uso de puertas con una resistencia al fuego mínima de F-60 y equipadas con un sistema de cierre automático. La compartimentación permitirá independizar áreas dentro de un mismo edificio con el fin de mejorar sus condiciones de seguridad y reducir la superficie de cálculo para los efectos de la aplicación de las tablas de las figuras 3-2, 3-3 y 3-4.

En el artículo 4.3.27, se presentan las condiciones que debe cumplir un pasillo protegido, las cuales son:

- Estar aislado con respecto a otros recintos mediante elementos con una resistencia al fuego no menor a F-120.
- Las puertas y tapas de aberturas deben tener una resistencia al fuego de al menos F-30 y no ocupar más del 20% de la superficie de los paramentos del pasillo.
- Contemplar detectores de humo e iluminación de emergencia.
- Su longitud no debe ser superior a 30 [m].

Por último, según el artículo 4.3.29, la Dirección de Obras Municipales podrá inspeccionar todo edificio o local de uso público, con el propósito de verificar el cumplimiento de las normas sobre condiciones de seguridad contra incendio contenidas

en el título 4 del capítulo 3 de la OGUC. Los inspectores de la Dirección de Obras Municipales podrán ser acompañados por miembros designados por la Superintendencia del Cuerpo de Bomberos, debidamente acreditados.

3.2 NCh 935/1 y NCh 935/2

La norma oficial NCh935/2.Of84 tiene como objetivo establecer el método y las condiciones de ensayo y evaluación de la resistencia al fuego de puertas y otros elementos de construcción, concebidos para cerrar las aberturas en muros y elementos divisorios en general.

El ensayo que se realiza a las puertas consiste en, exponer un lado de la puerta a temperaturas y presiones, especificadas en la norma NCh935/1.Of97, mediante la utilización de un horno y realizar un informe con los resultados obtenidos.

La norma NCh935/1.Of97, establece que la temperatura al interior del horno, durante el ensayo, debe ser controlada de forma que varíe según la siguiente ecuación:

$$T - T_0 = 345 \log_{10}(8t + 1) \quad 3.1$$

t : Tiempo expresado en minutos contado desde el inicio del ensayo.

T : Temperatura del horno en el instante t , medida en °C.

T_0 : Temperatura inicial del horno, medida en °C, la que estará comprendida entre 0 y 40°C.

De la ecuación 3.1, se obtiene la siguiente tabla y gráfico, que representan la variación de la temperatura media dentro del horno:

Tabla 3-1: Programa térmico para el horno (NCh935/1.Of97).

Tiempo, t en min	Elevación de la temperatura del horno ($T - T_0$) en °C
0	0
1	329
2	425
3	482
4	525
5	556
10	658
15	719
30	822
60	925
90	986
120	1029
150	1062
180	1090
240	1133
360	1194

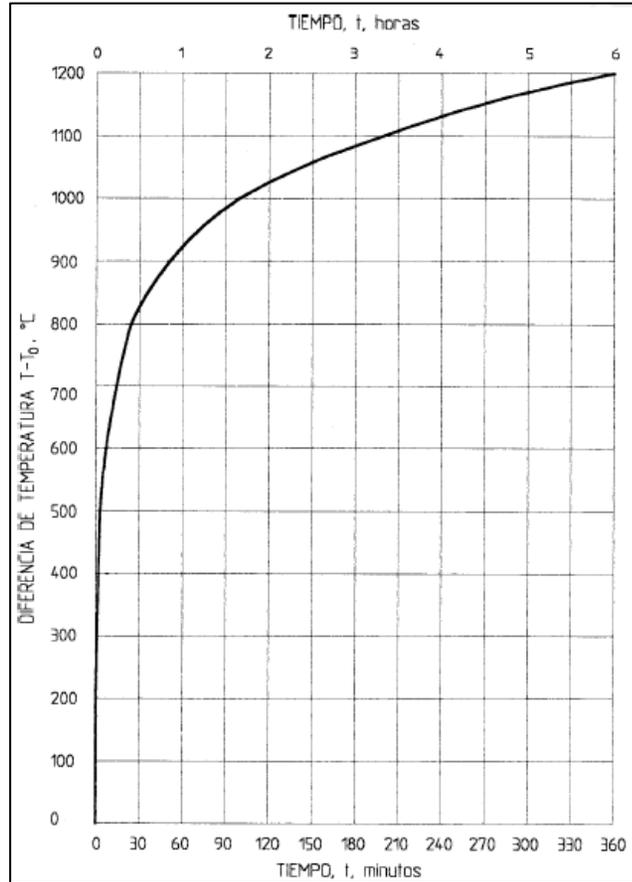


Figura 3-5: Curva normal tiempo-temperatura (NCh935/1Of.97).

Se considera como temperatura del horno la media de las temperaturas obtenidas por medio de termopares dispuestos simétricamente en el interior del horno, que en el caso de elementos verticales debe instalarse un mínimo de 1 termopar por cada 1,5 [m²] de superficie de la probeta. En cualquier caso, el número de termopares no debe ser menor a 5.

La desviación media de la temperatura del horno se obtiene, en porcentaje, mediante la siguiente ecuación:

$$\left| \frac{A - B}{B} \cdot 100 \right| \quad 3.2$$

A: Valor de la integral definida de la temperatura media del horno, en función del tiempo.

B: Valor de la integral definida por la ecuación 3.1.

Las tolerancias de la desviación media son las siguientes:

- durante los diez primeros minutos del ensayo $\pm 15\%$
- durante la primera media hora $\pm 10\%$
- después de la primera media hora $\pm 5\%$

Después de transcurrido los primeros 10 [min] de la prueba, la temperatura dentro del horno no debe diferir de la temperatura correspondiente en la curva normalizada tiempo-temperatura en más de $\pm 100^{\circ}\text{C}$.

Según la norma NCh935/1.Of97, las condiciones de presión durante el ensayo deben ser tal que en el horno exista una sobrepresión de 10 ± 2 [Pa]. Esta condición no es exigible en los primeros cinco minutos del ensayo. Además la sobrepresión puede obtenerse disminuyendo la presión en la cara no expuesta.

Sobre la preparación de la muestra, la norma NCh935/2.Of84, exige que el conjunto completo que va a ensayarse tenga sus dimensiones reales, y en el caso de que no sea posible, dado que la muestra se demasada grande, se pide que la altura y/o ancho no sean menor a 2 [m].

En lo que se refiere a la construcción de la muestra, esta debe tener el acabo y la forma que se utilizará en la práctica. El ensayo debe efectuarse en una pared del mismo tipo en la que se va a utilizar, y cuando no se puede especificar, la pared debe ser de hormigón o ladrillo con un grosor aproximado de:

- 100 [mm] para un ensayo de duración previsto menor o igual a 2 [h]
- 200 [mm] para un ensayo de duración superior a 2 [h]

La holgura entre el marco y la puerta se debe mantener de tal forma que sea la utilizada en la práctica, y en el caso específico de puertas de madera, si no se conoce, la holgura debe ser de 3 ± 2 [mm].

Sobre el acondicionamiento de las muestras, en el caso de que las puertas estén hechas de metal, vidrio u otros materiales no higroscópicos, no necesitan ningún acondicionamiento. En cambio, para muestras que contienen materiales higroscópicos u otros materiales que puedan alterarse con la humedad, deben acondicionarse a las condiciones del laboratorio, las cuales están en los siguientes límites:

- Temperatura : $25 \pm 15^{\circ}\text{C}$
- Humedad relativa : 30 a 75%

- **Temperatura de la cara no expuesta:** Para determinar la media de las elevaciones de temperatura, se emplearán como mínimo cinco termopares en la cara de la puerta, excluyendo el marco, y serán colocados uno en el centro y los otros en el centro de cada cuarta parte.

Ninguno de estos cinco termopares debe fijarse en los puntos que tengan partes metálicas que atraviesen la puerta o a una distancia del borde de la puerta inferior a 100 [mm].

La elevación máxima de temperatura en la cara no expuesta se determinará a partir de los cinco termopares especificados anteriormente y de termopares suplementarios, que podrían utilizarse sobre las partes metálicas que atraviesan la puerta o en cualquier otro punto considerado de especial interés.

Las mediciones de la temperatura pueden también efectuarse en los elementos del marco en las caras paralelas al plano de la pared. Los termopares se fijarán a la mitad de la altura de las dos caras verticales, en el centro del elemento superior y en cualquier otra posición donde se pueden esperar temperaturas más altas. Los termopares se colocarán a unos 15 [mm] del borde de la puerta.

- **Radiación de la cara no expuesta:** El flujo de calor radiado por la cara no expuesta de la muestra se medirá mediante un radiómetro u otro aparato apropiado, situándolo en el eje perpendicular al centro de la puerta, y a una distancia de dicha cara, tal que el campo de medida del aparato abarque adecuadamente la superficie de la muestra.

Las indicaciones sobre la técnica de medida y sobre el tipo de instrumento que se utilizaron deben figurar en el informe del ensayo.

- **Ensayo con la mota de algodón:** Se determinará si las grietas, juntas o cualquier otra abertura en la puerta o alrededor de ésta deja pasar las llamas y los gases, aplicando una mota de algodón en esas aberturas a intervalos regulares durante el ensayo.

La mota de algodón no debe estar en contacto con el elemento, pero debe mantenerse como mínimo 10 [s] y como máximo 30 [s], separada entre 20 y 30 [mm] del centro de las fisuras, agujeros y otras aberturas de la puerta o alrededor de ésta. Estas distancias serán medidas sobre la perpendicular a la superficie de la muestra.

Esta mota no deberá utilizarse de nuevo si ha absorbido humedad o se ha carbonizado en el transcurso de una aplicación precedente.

- **Ensayo de gases inflamables:** A intervalos regulares durante el ensayo se aproximará una llama cualquiera por la cara no expuesta, para comprobar la posible inflamación de los gases emitidos. La distancia será de 20 a 30 [mm] sobre la zona de la muestra que se crea susceptible de emitir gases.
- **Otras observaciones:** Se debe observar la deformación de la muestra y el momento en que se produce el deterioro de todo o parte de la misma. Se anotará cualquier emisión de humo por la cara no expuesta o cualquier inflamación mantenida sobre ella durante 10 [s] o más, así como el hecho de que la puerta se pueda abrir después del ensayo. Se anotará, en el momento que ocurra, cualquier incidente capaz de aportar datos útiles para juzgar el comportamiento de la muestra.

La resistencia al fuego de una puerta se debe juzgar en función del menor tiempo de resistencia determinado según los cuatro siguientes criterios:

- 1) **Estabilidad mecánica:** Anotar el momento en que la muestra se deteriora, se forman fisuras, grietas, brechas o se produce la falla de los mecanismos de cierre o demás herrajes.

Las fallas mecánicas debidas a roturas parciales, alabeo, etc., podrán admitirse en la medida en que no perjudiquen la seguridad en la función que deba desempeñar la puerta en la construcción.

En caso de la ausencia de fallas de esta clase, se considerará que la duración, respecto al criterio de estabilidad mecánica, es igual a la duración del ensayo.

- 2) **Estanqueidad a las llamas:** La puerta se considera estanco a las llamas, cuando la mota de algodón del ensayo no se inflama. En caso contrario se anota el momento en que esto ocurra.
- 3) **Emisión de gases inflamables:** Los gases emitidos por la cara no expuesta, se consideran inflamables si arden al aproximar una llama cualquiera y continúan espontáneamente ardiendo al menos durante 20 [s] después de retirada la llama.

4) Aislamiento térmico:

4.1) **Temperatura media de la cara no expuesta:** Anotar el momento en que la temperatura media de la cara no expuesta de la muestra, sobrepase en 140°C la temperatura inicial.

4.2) **Temperatura máxima de la cara no expuesta:** Anotar el momento en que la temperatura máxima de la cara no expuesta sobrepase en 180°C su temperatura inicial. Se considerará que las puertas o elementos de cierre acristalados o de acero sin aislamiento térmico no pueden satisfacer este criterio.

4.3) **Temperatura máxima en el marco, por el lado no expuesto:** Anotar el momento en que la temperatura máxima del lado no expuesto del marco sobrepase en más de 180°C su temperatura inicial. Esta particular condición no es causa de rechazo, pero sí es necesario que aparezca en el informe.

4.4) **Radiación de la puerta o elementos de cierre:** Como criterio complementario, se podrán efectuar las medidas de radiación de la cara no expuesta de la puerta, las cuales no son obligatorias a efectos de la aplicación de la norma NCh935/2.Of84. Se pueden utilizar para determinar el momento en que se alcanzan los niveles de radiación críticos a distancias especificadas de la muestra.

Conociendo el menor tiempo de resistencia, éste se utiliza para clasificar la muestra según la siguiente tabla:

Tabla 3-2: Clasificación de puertas según la duración de la resistencia (NCh935/2.Of84).

Clase	Duración entre [min]
F 15	15 y 29
F 30	30 y 59
F60	60 y 89
F 90	90 y 119
F 120	120 y 149
F 150	150 y 179
F 180	180 y 239
F 240	240 o más

Las puertas que presenten una duración inferior a 15 [min] se clasifican como no resistentes al fuego.

3.3 Listado Oficial de Comportamiento al Fuego de Elementos y Componentes de la Construcción

En este listado se nombran y describen algunas puertas resistentes al fuego según su clasificación de resistencia. En la siguiente figura se presenta un ejemplo de una puerta resistente al fuego descrita en el listado oficial.

C.2. ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS VERTICALES					
C.2.1. PUERTAS					
C.2.1.15. PUERTAS F-15					
C.2.1.15.01 Puerta ODIS Bóveda Simple					
DESCRIPCION DE LA SOLUCION					
Conjunto de Puerta de abatir de bóveda de una hoja, simple contacto, constituida por laminas de acero SAE 1010 de 1,5 mm de espesor, formando un paralelepípedo de 2050 x 800 x 90 mm. En su interior zona central, lleva tres tipos de cerradura, y en laguna zona interior lleva lana mineral y fibrosilicato en uno de sus bordes, la hoja de la puerta lleva cinta expansiva de 20 x 2 mm en todo su perímetro exterior (canto). El marco es de acero, perfil tubular de 100 x 50 x 3 mm, relleno con lana mineral de 80 Kg/m ³ . La zona central del perfil tubular tiene un tope de acero de 20 x 20 x 2 mm soldado y relleno con manta cerámica en su interior, este tope recibe el contacto de la puerta y 5 vástagos de acero de diámetro de 25 mm separados a 400mm de sus ejes (vástagos y pasadores manejados por manilla mariposa). La puerta tiene 3 cerraduras por lado exterior de la bóveda, una manilla mariposa de acero, un cilindro de llaves de acero y un cilindro de cerradura con clave de aluminio. Estas cerraduras están en la zona central de la puerta en forma horizontal. La puerta no tiene cierre hidráulico. La holgura entre la puerta y el marco es de 1,5 mm promedio. Tiene 3 bisagras de acero con pasadores sueltos (tipo pomeles) de 150 x 150 mm y 25 mm de diámetro. Alto 2,1 m x 0,9 m de ancho y 0,09 m de espesor, con un peso - incluido el marco - de 133 kilogramos.					
INSTITUCIÓN	Informe de Ensayo N°	Laboratorio	Fecha de Ensayo	Resistencia	Vigencia de la Inscripción
SOC. ODIS Chile Seguridad Ltda.	448.157	IDIEM	08-08-88	F-15	2015

Figura 3-8: Descripción Puerta ODIS Bóveda Simple (Listado Oficial de Comportamiento al Fuego de Elementos y Componentes de la Construcción).

4. MARCO REGULATORIO INTERNACIONAL

Para conocer el estándar internacional, en lo que respecta a la resistencia al fuego y traspaso de humos de las puertas, y compartimentación de humos en los edificios, se estudió las normativas de Estados Unidos, España y Reino Unido, lo cual permite conocer un rango considerable de diferentes exigencias y criterios.

4.1 Estados Unidos

En los Estados Unidos, los requerimientos de resistencia al fuego que deben cumplir los edificios son definidos por los códigos de fuego y construcción de cada estado. Gran parte de los códigos de fuego y construcción exigidos por los distintos estados de Estados Unidos son redactados por el ICC (International Code Council), el cual redacta el International Building Code (IBC) e International Fire Code (IFC). A la fecha en Estado Unidos, los 50 estados adoptaron el International Building Code y 42 estados adoptaron el International Fire Code.

Por esto se decidió estudiar el International Building Code, junto a las normas técnicas que éste hace referencia, para conocer los estándares exigidos en los Estados Unidos.

4.1.1 International Building Code

A continuación se presentan los contenidos de interés del IBC, ordenados según los capítulos del IBC en los que se encuentran.

4.1.1.1 Capítulo 3: Clasificación de Uso y Ocupación

En este capítulo del IBC se clasifican las estructuras según su uso y ocupación, lo cual define las exigencias que deben cumplir en los capítulos siguientes.

1. **Grupo A – Asamblea:** En este grupo se encuentran estructuras que se utilizan como punto de reunión de personas con propósitos civiles, sociales, religiosos y recreativos, con la excepción de espacios que tiene una carga ocupacional menor a 50 personas o que tienen una superficie menor a los 70 [m²].

Este grupo se divide en:

- **A-1:** Estructuras con asientos fijos con el propósito de producir u observar películas o artes en los cuales se encuentran: teatros, salas de cine, estudios de televisión o radio con público y salas de conciertos.
 - **A-2:** Estructuras de consumo de comida y bebidas en las cuales se encuentran: restaurantes, bares, clubes nocturnos y salones de banquetes.
 - **A-3:** Estructuras de tributo, recreación, observación y aquellas no abarcadas por las otras secciones de este grupo, en los cuales se encuentran: galerías de arte, museos, áreas de espera de terminales de transportes, lugares de devoción religiosa, etc.
 - **A-4:** Estructuras para consumo de eventos deportivos o actividades con espectadores en asientos en las cuales se encuentran: piscinas, canchas de tenis, etc.
 - **A-5:** Estructuras de participación o consumo de actividades al aire libre en las cuales se encuentran: parques de diversiones, estadios, etc.
2. **Grupo B – Negocios:** En este grupo se encuentran estructuras de uso de oficinas, lugares de transacciones monetarias y de almacenamiento de datos en los cuales se encuentran: torres de control de tráfico aéreo, hospital de animales, bancos, laboratorios, etc.
3. **Grupo E – Educativo:** En este grupo se encuentran las estructuras de uso educacional.
4. **Grupo F – Fábricas:** En este grupo se encuentran las estructuras que se utilizan para ensamblar, desarmar, fabricar, terminar, empaquetar o reparar y que no se encuentran en los grupos H o S.

Este grupo se divide en:

- **F-1:** Fábricas industriales de riesgo de ocupación moderado, las cuales fabrican: bicicletas, metales, ropa, muebles, comida, etc.
 - **F-2:** Fábricas industriales de riesgo de ocupación bajo dado la utilización de materiales no combustibles, en las cuales fabrican: bebestibles de hasta 16 grados de alcohol, albañilería, productos cerámicos, productos de vidrio, yeso y productos metálicos.
5. **Grupo H – Alto Riesgo:** En este grupo se encuentran las estructuras que se utilizan para producir, procesar, generar o almacenar materiales que constituyen un riesgo físico o de salud en cantidades mayores a las permitidas en las áreas de control definidas en la sección 414 del IBC.

Este grupo se divide en:

- **H-1:** Estructuras que contengan materiales que presenten un riesgo de detonación.
- **H-2:** Estructuras que contengan materiales que presenten un riesgo de deflagración o de aceleración de combustión.

- **H-3:** Estructuras que contengan materiales que sean un apoyo a la combustión o tengan un riesgo físico.
- **H-4:** Estructuras que contengan materiales que presenten un riesgo a la salud.
- **H-5:** Estructuras en que se construyen superconductores, materiales de alto riesgo o que contemplen más de alguna de las subdivisiones anteriormente descritas.

6. Grupo I – Institucional: En este grupo se encuentran las estructuras en donde personas son cuidadas o viven bajo supervisión, que tengan limitaciones físicas por salud o edad, y personas privadas de libertad por propósitos penales o correccionales.

Este grupo se divide en:

- **I-1:** Estructuras que contengan más de 16 personas, supervisadas las 24 horas del día, que por razones de edad, discapacidad mental u otras razones, viven en un ambiente residencial supervisado que ofrece servicios de cuidado personal. Si en estos tipos de lugares habitan hasta 5 personas se debe clasificar con grupo R-3.
- **I-2:** Estructuras utilizadas con fines médicos, quirúrgicos, psiquiátricos, enfermería o cuidado de custodia para las personas que no son capaces de auto-preservación.
- **I-3:** Estructuras que están habitadas por más de cinco personas que se encuentran bajo restricción. Una instalación del tipo I-3 está ocupado por personas que son generalmente incapaces de auto-preservación debido a medidas de seguridad que no están bajo el control de los ocupantes, en los cuales se encuentran: centros correccionales, centros de detención, cárceles, reformatorios, etc.

Este subgrupo se clasifica según la condición de los ocupantes, las cuales son:

- **Condición 1:** Esta condición de ocupación debe incluir edificios en los que se permite libre circulación de las áreas para dormir y otros espacios en los que se permite el acceso o la ocupación, hacia el exterior a través de las vías de escape sin restricción. Se permite construir una instalación de Condición 1 como Grupo R.
- **Condición 2:** Esta condición de ocupación debe incluir edificios en los que se permite la libre circulación desde lugares para dormir y cualquier otro compartimento de humo ocupado hacia uno o más compartimentos de humo. La salida hacia el exterior está restringida por salidas bloqueadas.
- **Condición 3:** Esta condición de ocupación debe incluir edificios en los que se permite la libre circulación dentro de los compartimentos individuales de humo, como dentro de una unidad residencial compuesto por unidades individuales para dormir y espacios de actividad de grupo, donde la salida se ve impedida por la liberación accionada por control remoto de las vías de salida de un compartimento de humo a otro.
- **Condición 4:** Esta condición de ocupación debe incluir edificios en los que se restringe la libre circulación de un espacio ocupado. La circulación desde unidades para dormir, espacios de actividad y otras áreas ocupadas desde un

compartimento de humo a otro, es permitida a través de liberación a control remoto.

- **Condición 5:** Esta condición de ocupación debe incluir edificios en los que se restringe la libre circulación de un espacio ocupado. La circulación desde unidades para dormir, espacios de actividad y otras áreas ocupadas desde un compartimento de humo a otro, es permitida por el personal a través de liberación manual.

- **I-4:** Estructuras ocupadas por personas de cualquier edad que reciben la atención de custodia durante menos de 24 horas por personas distintas de los padres o tutores, parientes por consanguinidad, matrimonio o adopción, y en un lugar distinto del domicilio de la persona cuidada. Las instalaciones como las anteriores con cinco o menos personas se clasifican como grupo R-3.

7. Grupo M – Mercantil: En este grupo se encuentran las estructuras para la exposición y venta de mercancías que involucran las existencias de bienes, artículos o mercancías inherentes a tales fines y accesible al público.

8. Grupo R – Residencial: En este grupo se encuentran las estructuras utilizadas con el propósito de dormir y que no se clasifican en el grupo I.

Este grupo se divide en:

- **R-1:** Estructuras utilizadas para dormir ocupadas por habitantes en tránsito, tales como moteles, hoteles o pensiones. Si en estas estructuras viven menos de 10 personas se clasifican en el grupo R-3.
- **R-2:** Estructuras habitadas por ocupantes permanentes, en las cuales se encuentran: departamentos, casas, conventos, dormitorios, fraternidades, monasterios y propiedades vacacionales.
- **R-3:** Estructuras habitadas por ocupantes permanentes y no clasificadas en los grupos R-1, R-2, R-3 o I.
- **R-4:** Estructuras habitadas por 5 a 16 residentes con limitaciones por edad, enfermedades mentales u otras razones.

9. Grupo S – Almacenamiento: En este grupo se encuentran las estructuras utilizadas para almacenamiento que no se clasifican como riesgosas.

Este grupo se divide en:

- **S-1:** Estructuras de almacenamiento de riesgo moderado no incluidas en el grupo S-2, en las cuales se almacena: ropa, libros, muebles, azúcar, aerosoles, cartones, etc.
- **S-2:** Estructuras de almacenamiento de riesgo bajo, en las cuales se almacena: cemento, comida, metales, espejos, etc.

10. Grupo U – Misceláneos: Estructuras de carácter accesorio que no se clasifican en ningún otro grupo, en las cuales se encuentran: estructuras de agricultura, hangares, silos, bodegas privadas, torres, etc.

4.1.1.2 Capítulo 4: Requerimientos Especiales Según Tipo De Uso Y Ocupación

En este capítulo del IBC se especifican requerimientos especiales que deben cumplir las estructuras según la clasificación de uso y ocupación.

- **Sección 402:**

En esta sección se aborda los requerimientos especiales que deben cumplir los centros comerciales abiertos y cubiertos.

El factor de carga de ocupación (OLF) se define como:

$$OLF = 0,00007 \cdot GLA + 25 \quad 4.1$$

OLF: Factor de Carga de Ocupación en [pie²/Nº de personas].

GLA: Área Bruta Arrendable [pie²].

Si la distancia desde la entrada del centro comercial hasta cualquier espacio alquilado, ocupado por una persona distinta de un empleado, es superior a los 22,86 [m] o el OLF de un espacio alquilado es mayor a 50, debe existir a lo menos 2 vías de evacuación del centro comercial.

Si alguna de las salidas secundarias de un centro comercial es un pasillo, este debe estar equipado con puertas resistente al fuego de 1 [h], la cual debe contar con un cierre automático si se detecta la presencia de humo según lo especificado en la sección 715.4.8.3. Además se permite que cuartos de servicio estén conectados directamente al pasillo de salida si se separan con una barrera de fuego de 1 [h], y las puertas en aquella barrera tengan una resistencia al fuego de 1 [h].

- **Sección 403:**

En esta sección se aborda los requerimientos especiales que deben cumplir los edificios de gran altura, los que se definen como edificios que tienen pisos ocupados ubicados a una altura de 22,86 [m] por sobre el punto más bajo del acceso a vehículos de bomberos.

Todo piso de las escalares de emergencia ubicado a una distancia de 22,86 [m] por sobre el punto más bajo del acceso a vehículos de bomberos, debe contar con un cerramiento a prueba de humos que consistirá en muros con una resistencia al fuego de 2 [h] y contar con un sistema de presurización.

- **Sección 405:**

En esta sección se aborda los requerimientos especiales que deben cumplir los espacios de edificios para ocupación humana, ubicados por debajo de la salida del edificio a una distancia mayor a 9,144 [m], con la excepción de:

- Una o dos viviendas familiares equipadas con un sistema de rociadores.
- Estacionamientos equipados con un sistema de rociadores automáticos.
- Sistemas de tránsito de guía fija.
- Tribunas, gradas, estadios, arenas e instalaciones similares.
- Edificios donde el piso más bajo es el único piso que lo haría calificar como estructura subterránea y tiene una superficie menor a 139 [m²] y tiene una carga ocupacional menor a 10 personas.
- Estaciones de bombeo o espacios similares destinados exclusivamente a uso periódico limitado por el personal de mantenimiento.

Debes existir una compartimentación mínima de 2 compartimentos, de igual tamaño para espacios que se encuentren, por debajo de la salida del edificio, a una distancia mayor que 18,29 [m]. Esto no es necesario si el piso más bajo es un espacio que tiene un área menor a 139 [m²] y tiene una carga ocupacional menor a 10 personas.

Los compartimentos deben estar separados por una barrera de humo según lo estipulado en la sección. Se deben instalar puertas resistentes al fuego equipadas con cierre automático a la detección de humo según lo estipulado por la sección 715.4.8.3 y deben ser instaladas según la norma NFPA 105 y la sección 715.4.3.

Cuando existe un ascensor en el espacio para el uso de más de un compartimento, se requiere la existencia de un pasillo que separe al ascensor de los compartimentos mediante una barrera de humo según lo estipulado por la sección 710.

- **Sección 407:**

En esta sección se aborda los requerimientos especiales que deben cumplir las estructuras del grupo I-2.

Se define un corredor como un camino cerrado el cual se dirige hacia una vía de evacuación.

Las paredes de los corredores del grupo I-2 deben ser construidas como particiones de humo según lo planteado en la sección 711. Las puertas en el corredor, excepto las de vía de escape, no requieren resistencia al fuego ni sistema de cierre automático, pero si limitar la transferencia del humo.

Barreras de humo deben ser instaladas para subdividir en cada piso utilizado por pacientes que duermen o estén bajo tratamiento, y dividir en al menos 2 compartimentos a prueba de humo para pisos con una carga ocupacional de 50 o más personas. Cada compartimento debe tener un área máxima de 2092 [m²] y la distancia desde cualquier punto del compartimento hasta la puerta a prueba de humo no debe ser mayor a 60,96 [m]. Las barreras de humo deben estar regidas según la sección 710.

Debe existir una zona de refugio con un área igual a la suma de las áreas de corredores, habitaciones de pacientes, habitaciones de tratamientos, espacios de comida y otros espacios de bajo riesgo, que estén ubicadas al lado adyacente de una barrera de humo. A esta zona de refugio se le debe incluir además un área de 2,8 [m²] por paciente del piso. En el caso en que el piso no se destine para que duerman pacientes, el área de la zona de refugio debe ser igual a 0,56 [m²] por paciente que ocupa el compartimento adyacente.

Los compartimientos de humo en que duerman pacientes, deben estar equipados con un sistema rociadores.

- **Sección 408:**

En esta sección se aborda los requerimientos especiales que deben cumplir las estructuras del grupo I-3.

Las puertas de los cerramientos de salida deben tener una resistencia al fuego mínima de 45 [min] y cumplir lo estipulado en la sección 715.4.

Ocupaciones por el Grupo I-3 tendrán barreras de humo que cumplan con las secciones 408.8 y 710 para dividir cada piso ocupado por los residentes para dormir, o cualquier otro piso que tiene una carga ocupacional de 50 o más personas, en al menos dos compartimentos de humo.

El número máximo de residentes en cualquier compartimento de humo debe ser de 200. La distancia de viaje a una puerta en una barrera de humo a cualquier puerta de la habitación de acceso de salida no deberá exceder los 45,72 [m]. La distancia de desplazamiento desde una puerta en una barrera de humo hasta cualquier punto de la habitación que no excederá los 60,96 [m].

Debe existir una zona de refugio con un área de 0,56 [m²] por cada ocupante del compartimento de humo adyacente.

La sección 408.8 plantea que las áreas destinadas para dormir y sus áreas contiguas en que se alojan los residentes deben cumplir con:

- Condición 3 y 4 de ocupantes: Área destinadas para dormir que cumplan las condiciones 3 y 4 del grupo I-3 deben separarse de espacios adyacentes mediante particiones de humo si la distancia desde el área para dormir hasta un corredor excede 15,24 [m].
- Condición 5 de ocupantes: Área destinadas para dormir que cumplan la condición 5 del grupo I-3, deben separarse de espacios adyacentes para dormir, de uso común y corredores mediante particiones de humo. Además los espacios de uso común deben separarse de los corredores mediante particiones de humo.
- Las puertas ubicadas en las particiones de humo anteriormente mencionadas deben resistir el paso del humo.

- **Sección 410:**

En esta sección se aborda los requerimientos especiales que deben cumplir las estructuras que contengan escenarios o plataformas.

Las puertas de salida de estas estructuras deben ser resistentes al fuego según lo que exige la sección 715.

- **Sección 415:**

En esta sección se aborda los requerimientos especiales que deben cumplir las estructuras del grupo H-1, H-2, H-3, H-4 y H-5.

En lugares de almacenamiento de materiales peligrosos, las puertas de las barreras de fuego deben tener una resistencia al fuego mínima de 45 [min] y un sistema de cierre automático.

- **Sección 422:**

En esta sección se aborda los requerimientos especiales que deben cumplir las estructuras del grupo B que sean instalaciones ambulatorias de salud.

Barreras de humo deben ser instaladas, para subdividir en al menos 2 compartimientos de humo por piso, en áreas mayores a 929 [m²] y cumplir lo exigido en la sección 710. La distancia desde la puerta de la barrera de humo hasta cualquier punto del compartimiento debe ser menor a 60,96 [m].

Debe existir una zona de refugio con un área igual a la suma de las áreas de corredores, habitaciones de pacientes, habitaciones de tratamientos, espacios de comida y otros espacios de bajo riesgo, que estén ubicadas al lado adyacente de una barrera de humo. A esta zona de refugio se le debe incluir además un área de 2,8 [m²] por paciente no ambulatorio del piso.

4.1.1.3 Capítulo 7: Características de protección de fuego y humo

En este capítulo del IBC se especifican requerimientos de materiales, sistemas y ensambles utilizados para resistencia al fuego de las estructuras y separaciones de espacios adyacentes, para evitar el traspaso de fuego y humo dentro de un edificio y también hacia otras edificaciones.

A continuación se expondrán algunas definiciones relevantes de este capítulo:

- **Barrera de Fuego:** ensamble de pared con resistencia al fuego compuesto por materiales diseñados para limitar el paso del fuego, en donde la continuidad es mantenida.
- **Puerta de Fuego:** componente de un ensamble de puerta de fuego.
- **Ensamble de Puerta de Fuego:** cualquier combinación de una puerta de fuego, marco, herrajes y otros accesorios que en conjunto proveen un cierto grado de protección contra el fuego para las aberturas.
- **Partición de Fuego:** ensamble vertical de materiales diseñados para restringir el paso del fuego con una protección de 1 [h], en el cual sus aberturas están protegidas.
- **Barrera de Humo:** membrana continua, vertical u horizontal, como ensambles de muros, pisos o techos, diseñados y construidos para restringir el paso del humo.
- **Compartimento de Humo:** Espacio dentro de una edificación cerrado por barreras de humo en todos sus lados, incluyendo suelo y techo.

- **Sección 710:**

En esta sección se aborda los requerimientos especiales que deben cumplir las barreras de humo.

- **Sección 710.3:** Las barreras de humo deben tener una resistencia al fuego de 1 [h].
- **Sección 710.4:** Las barreras de humo deben formar una membrana continua efectiva desde muro exterior hasta muro exterior, y desde la parte superior de la fundación o ensamble piso hasta la parte inferior del techo, deck o losa superior, incluyendo continuidad en espacios ocultos.

- **Sección 710.5:** Las aberturas en las barreras de humos deben protegerse según lo estipulado en la sección 715.

- **Sección 711:**

En esta sección se aborda los requerimientos especiales que deben cumplir las particiones de humo.

- **Sección 711.3:** Las particiones de humo no requieren tener resistencia al fuego.
- **Sección 711.4:** Las particiones de humo deben extenderse desde la parte superior de la fundación o ensamble piso hasta la parte inferior del techo, deck o losa superior.
- **Sección 711.5:** Las puertas en particiones de humo no deben contener rejillas. También tienen que ser ensayadas según la norma UL 1784, donde la tasa de filtración de aire no debe exceder los $0,015424 \text{ [m}^3\text{/(s}\cdot\text{m}^2\text{)]}$, a una presión de 25 [Pa], tanto para temperatura ambiente como la de elevación del ensayo. Por último, estas puertas deben instalarse según lo estipulado en la norma NFPA 105.

- **Sección 715:**

En esta sección se aborda los requerimientos especiales que deben cumplir las aberturas, que incluyen a las puertas de fuego y humo.

- **Sección 715.4:** Los ensambles de puertas resistentes al fuego deben ser construidos e instalados según lo estipulado en las secciones 715.4.1, 715.4.2 o 715.4.3 y cumplir con las resistencia de la tabla 4-1, como además lo estipulado en la norma NFPA 80.
 - **Sección 715.4.1:** Los ensambles de las puertas resistentes al fuego que funcionen con bisagras laterales o pivotes deben ser ensayados según la norma NFPA 252. Después de 5 [min] iniciando el ensayo de la NFPA 252, el plano neutral de presión debe establecerse a 1,016 [m] o menos por encima del umbral de la puerta.
 - **Sección 715.4.2:** Otros tipos de ensambles de puertas resistentes al fuego deben ser ensayados según la norma NFPA 252. La presión dentro del horno debe mantenerse igual a la atmosférica de la mejor forma posible.
 - **Sección 715.4.3:** Los ensambles de puertas resistentes al fuego instalados en muros de corredores o de barreas de humo requieren tener una resistencia al fuego de 20 [min], y deben ser ensayados según la norma NFPA 252 sin la necesidad de realizar el ensayo de chorro de agua.

- **Sección 715.4.4:** Los ensambles de puertas resistentes al fuego instalados en cerramientos o pasajes de salidas deben tener una máxima temperatura transmitida de 250°C por sobre la temperatura ambiental a los 30 [min] de una prueba estándar de exposición al fuego.
- **Sección 715.4.5:** Las puertas de fuego con travesaños y muro lateral traslucido son permitidas si requieren tener una resistencia al fuego de 3/4 [hr] o menor.
- **Sección 715.4.6:** Las puertas de fuego deben ser etiquetadas según la norma NFPA 80 en la hoja o el marco.
- **Sección 715.4.7:** Se permite la existencia de material traslucido en puertas de fuego bajo las limitaciones expuestas en la norma NFPA 80.
- **Sección 715.4.8:** Las puertas de fuego deben ser capaces de cerrarse por sí mismas o tener un cierre automático.
- **Sección 715.4.8.1:** Puertas resistentes al fuego simples y dobles requieren la existencia de un pestillo que asegure la puerta una vez cerrada.
- **Sección 715.4.8.2:** Puertas de fuego equipadas con un sistema de cierre automático deben estar regidas por la norma NFPA 80.
- **Sección 715.4.8.3:** Las puertas equipadas con un sistema automático de cierre por detección de humo, deben empezar su cierre en un máximo de 10 [s] una vez activado el sistema o a la pérdida de energía del sistema.

Tabla 4-1: Resistencia al fuego de puertas según donde se encuentra (IBC).

Tipo de Ensamble	Clasificación Requerida del Ensamble [h]	Clasificación Mínima de Puertas de Fuego [h]
Paredes y barreras de fuego con una resistencia requerida mayor a 1 hora	4 3 2 1,5	3 3 1,5 1,5
Barreras de fuego con resistencia requerida de 1 hora:		
Shaft, muros de cerramientos y pasajes de salida	1	1
Otras barreras de fuego	1	3/4
Particiones de fuego:		
Paredes de corredores	1 0,5	1/3 1/3
Otras particiones de fuego	1 0,5	3/4 1/3
Muros Exteriores	3 2 1	1,5 1,5 3/4
Barreras de humo	1	1/3

4.1.1.4 Capítulo 9: Sistemas de protección contra incendios

En este capítulo del IBC se define el lugar, diseño instalación y operación de los sistemas de protección contra incendios.

- **Sección 909:**

En esta sección se aborda los requerimientos de los sistemas de control de humos.

- **Sección 909.5:** Las barreras de humo deben construirse de tal forma que el área de filtración esté limitada por las siguientes proporciones:

Tabla 4-2: Límites de área de filtración de barreras de humos (IBC).

Tipo de barrera de humo	Proporción	Valor
Muros	A/A_W	0,00100
Recintos de salidas	A/A_W	0,00035
Shafts	A/A_W	0,00150
Pisos y techos	A/A_F	0,00050

A: Área total de filtración [m^2].

A_F : Unidad de área de barrera de piso o techo [m^2].

A_W : Unidad de área de barrera de muro [m^2].

El área de filtración calculada mediante las proporciones de la tabla 4-2 no incluye el área de aberturas como puertas o ventanas, y éstas deben ser sumadas para calcular el área total de filtración.

El cumplimiento de los límites del área de filtración de las barreras de humo se determinará según el tipo de sistema de control de humos utilizado. Para sistemas mecánicos de control de humos, el cumplimiento dependerá de que si se alcanza la mínima diferencia de presión a través de la barrera de humo. En cambio para sistemas pasivos de control de humo, el cumplimiento se alcanza mediante la utilización del ensayo del ventilador en la puerta.

- **Sección 909.6:** El principal mecanismo para controlar el humo debe ser mediante diferencias de presión a través de barreras de humo.
 - **Sección 909.6.1:** La mínima diferencia de presión a través de una barrera de humo debe ser de 0.0124 [kPa] en edificios con sistema de rociadores

automáticos. Para edificios que no cuentan con sistema de rociadores automáticos, la presión mínima debe ser el doble de la máxima presión producida por el incendio de diseño utilizado.

- **Sección 909.6.2:** La máxima diferencia de presión a través de una barrera de humo debe estar determinada según la fuerza necesaria para abrir o cerrar la puerta en aquella barrera. La fuerza necesaria para abrir puertas de salidas, aplicada en la manilla, se especifican en la sección 1008.1.3, las cuales son:
 - Puertas interiores batientes de salida (sin resistencia al fuego): máximo 22 [N].
 - Otras puertas batientes, puertas deslizantes y enrollables: máximo 67 [N] para abrirlas y 133 [N] para moverlas.

Las fuerzas para abrir y cerrar otro tipo de puertas se determina según la siguiente ecuación:

$$F = F_{dc} + K \frac{W \cdot A \cdot \Delta P}{2(W - d)} \quad 4.2$$

A : Área puerta [m²].

d : Distancia desde la manilla hasta el borde de la puerta más cercano [m].

F : Fuerza para abrir la puerta [N].

F_{dc} : Fuerza para superar mecanismo de cierre automático [N].

K : Coeficiente igual a 5,2.

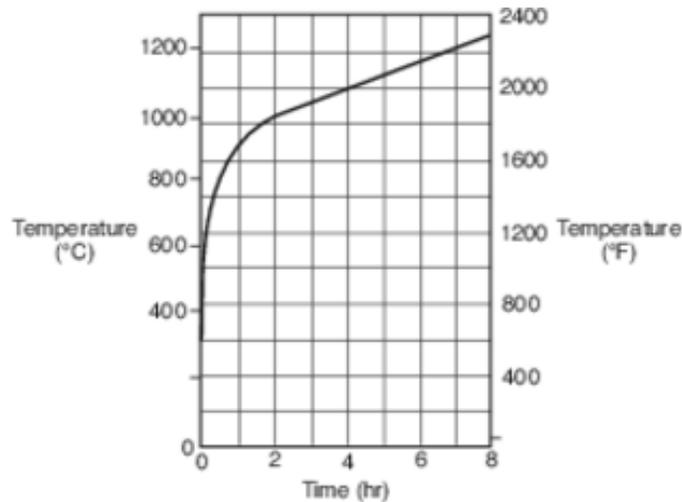
W : Ancho de la puerta [m].

ΔP : Diferencia de presión de diseño [Pa].

4.1.2 NFPA 252

La norma NFPA 252 tiene como objetivo describir el método estándar con el cual se ensayan las puertas resistentes al fuego en Estados Unidos.

El ensayo consiste en exponer una cara de la puerta a un aumento de temperatura controlado mediante un horno. En la figura 4-1 se aprecia la curva tiempo-temperatura que se debe cumplir dentro del horno al momento del ensayo.



Note: The following points determine the curve:

538 °C (1000 °F)	.....	at 5 minutes
704 °C (1300 °F)	.....	at 10 minutes
843 °C (1550 °F)	.....	at 30 minutes
927 °C (1700 °F)	.....	at 1 hour
1010 °C (1850 °F)	.....	at 2 hours
1093 °C (2000 °F)	.....	at 4 hours
1260 °C (2300 °F)	.....	at 8 hours or over

Figura 4-1: Curva tiempo-temperatura dentro del horno para el ensayo (NFPA 252).

La temperatura dentro del horno debe determinarse mediante el promedio de un mínimo de 9 termopar distribuidas de forma simétrica cerca de la puerta ensayada. Se debe medir y registrar la temperatura durante el ensayo en intervalos menores a 1 [min].

Al realizar el ensayo, la temperatura debe estar controlada del tal forma que el área bajo la curva, que se obtiene graficando tiempo-temperatura, esté dentro de los porcentajes de la tabla 4-3, los cuales son respecto al área de la figura 4-1.

Tabla 4-3: Relación rango de área/tiempo para horno de ensayo (NFPA 252).

Rango de porcentaje [%]	Rango de tiempo t [min]
15	$5 < t \leq 10$
$15 - 0,5 \cdot (t - 10)$	$10 < t \leq 30$
$5 - 0,083 \cdot (t - 30)$	$30 < t \leq 60$
2,5	$60 < t$

Después de los primeros 10 [min], la temperatura de cualquier termopar no debe diferir de la temperatura de la figura 4-1 en 100°C.

La temperatura de la cara no expuesta de la puerta debe registrarse durante los primeros 30 [min] del ensayo mediante un mínimo de 3 termopares, cada una abarcando un área mínima de 1,5 [m²] de la puerta. Las termopares no se deben colocar en refuerzos, paneles de visión o a una distancia menor de 305 [mm] de algún borde.

El conjunto de la puerta de fuego debe instalarse en el muro del horno igual a como se pretende utilizar en la estructura.

Las tolerancias de las separaciones entre la hoja y el marco permitidas según el tipo de puerta ensaya son las siguientes:

- **Puertas de Vaivén:** se permite una tolerancia de -1,6 [mm] en las siguientes distancias de instalación en el ensayo:
 - 3 [mm] en la parte superior
 - 3 [mm] en las bisagras y pestillos
 - 3 [mm] en el contacto de puertas dobles
 - 10 [mm] en la parte inferior para puertas doble y 6 [mm] para puertas simples
- **Puertas Corredizas Horizontales:** se permite una tolerancia de -3 [mm] en las siguientes distancias de instalación en el ensayo:
 - 13 [mm] entre la puerta y el muro
 - 10 [mm] entre la puerta y el suelo
 - 6 [mm] en el contacto de puertas dobles
- **Puertas Corredizas Verticales:** se permite una tolerancia de -3 [mm] en las siguientes distancias de instalación en el ensayo:
 - 13 [mm] entre la puerta y el muro
 - 5 [mm] en el contacto de puertas dobles
 - 5 [mm] entre la puerta y el suelo

La distribución de la presión vertical dentro del horno debe ser medida mediante un mínimo de 2 sondas de detección de presión con una distancia vertical mínima entre ellas de 1,8 [m] y deben ser como se presentan en las figuras 4-2 y 4-3.

Las sondas de presión deben estar ubicadas dentro de 152 [mm] de la línea central de la abertura del horno y deben poder medir una graduación máxima de 5 [Pa] con precisión de 1,25 [Pa].

El plano neutral de presión del horno debe establecerse en los primeros 5 [min] del ensayo y mantenerse durante el ensayo.

Cuando el ensayo se realiza con presión positiva, el plano de presión neutro del horno no debe estar a más de 1016 [mm] por encima de la parte inferior de la puerta. Para otros casos, el plano de presión neutra debe encontrarse a no más de 152 [mm] de la parte superior de la puerta con una precisión de 25 [mm].

Durante el ensayo, la presión del horno debe ser medida y registrada en intervalos de 1 [min] como máximo.

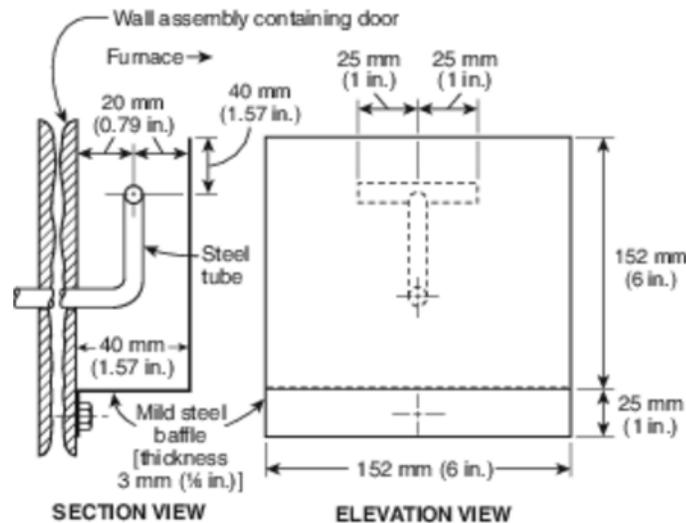


Figura 4-2: Dimensiones de sonda de presión estática (NFPA 252).

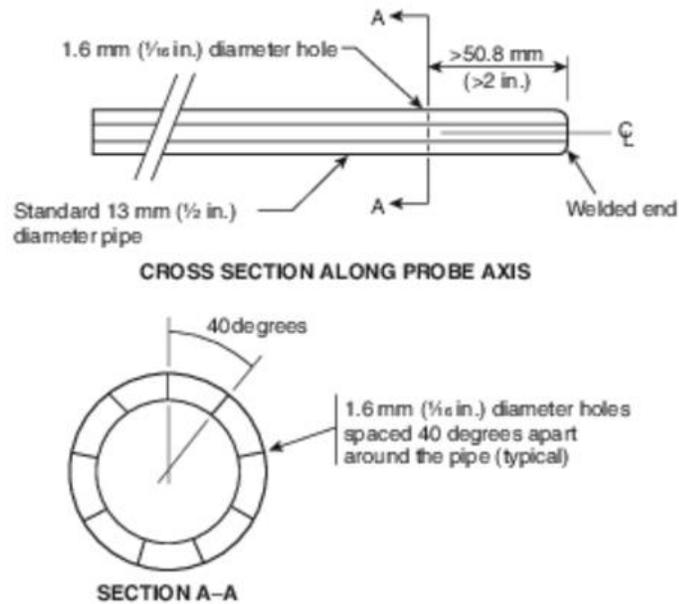


Figura 4-3: Sonda de presión (NFA 252).

Dentro de 2 [min] terminado el ensayo de fuego, se debe aplicar un chorro de agua, mediante una manguera, a la cara expuesta al fuego cumpliendo las condiciones de la tabla 4-4. Esto no es necesario para puertas con una resistencia al fuego de hasta 20 [min].

Tabla 4-4: Condiciones de chorro de agua (NFA 252).

Resistencia deseada de la puerta t [h]	Presión del agua en la base de la manguera [kPa]	Aplicación para el área expuesta [s/m ²]
3 ≤ t	310	32
1,5 ≤ t < 3	207	16
1 ≤ t < 1,5	207	10
t < 1	207	6

El ensayo debe desarrollarse hasta alcanzar la resistencia requerida o hasta que falle alguno de los siguientes criterios:

1. General:

1.1 Los criterios deben cumplirse para el ensayo de fuego y el ensayo de chorro de agua a menos que se indique de forma contraria.

1.2 La puerta no de presentar ninguna abertura a excepción de:

1.2.1 Aberturas generadas por falla de material vidriado en área central de cada panel de visión y no debe exceder el 5% del área del panel durante el ensayo de chorro de agua.

1.2.2 Aberturas generadas por la separación de material vidriado de su marco, las cuales no deben superar el 30% del perímetro del marco del material vidriado durante el ensayo de chorro de agua.

1.2.3 Separación entre el contacto de dos puertas según lo estipulado en 3.1 y 3.4.

1.2.4 Holguras son permitidas en la parte inferior de la puerta según lo estipulado en 3.1 y 3.4.

1.3 Ninguna llama, en los primeros 30 [min] del ensayo de fuego, se debe presentar en la cara no expuesta de la puerta a excepción de llamas de un largo menor a 152 [mm] con una duración menor a los 10 [s].

1.4 Después de 30 [min], se permiten llamas intermitentes menores a 152 [mm] con periodo menor a 5 [min] en los bordes de la puerta.

1.5 Para ensayos de puertas con resistencia de 45 [min] o más, llamas menores a 152 [mm] son permitidas en la cara no expuesta en los últimos 15 [min] del ensayo. La llama debe estar contenida a una distancia de 38 [mm] de los bordes laterales, 76 [mm] de la parte superior y 76 [mm] de la parte superior del marco del panel de visión.

2 Puertas de Vaivén:

2.1 Cualquier porción del borde adyacente al marco de la puerta, no puede moverse de su posición original en dirección perpendicular al plano de la puerta en una distancia mayor al espesor de la puerta durante el ensayo de fuego, y 1,5 veces el espesor de la puerta para el ensayo de chorro de agua.

2.2 En puertas dobles, cualquier porción del borde entre ambas puertas no debe moverse de su posición original en dirección perpendicular al plano en una distancia mayor al espesor de la puerta.

2.3 En puertas dobles con un astrágalo incorporado, la separación entre las puertas en dirección paralela a ellas no debe ser mayor a 19 [mm].

2.4 En puertas dobles, sin astrágalo de solapamiento, para un ensayo de fuego de 90 [min] o menos, la distancia entre las puertas no debe ser mayor a 10 [mm].

2.5 En puertas simples, la distancia entre el marco y el pestillo no debe ser mayor a 13 [mm].

3 Puertas Corredizas:

3.1 Puertas corredizas montadas en la cara de un muro de prueba no deben moverse con respecto al muro en más de 73 [mm].

3.2 Puertas corredizas montadas en guías no deben liberarse de estas, y las guías no deben liberarse de sus fijaciones.

3.3 La parte inferior de puertas de acero enrollables no debe estar separada del suelo en más de 19 [mm].

3.4 La distancia entre los bordes de contacto de puertas deslizantes horizontales o verticales con división central no debe ser mayor al espesor de las puertas en la dirección perpendicular del plano de las puertas.

3.5 La distancia entre los bordes de contacto de puertas deslizantes horizontales o verticales con división central, sin astrágalo de solapamiento, para un

ensayo de fuego de 90 [min] o menos, no debe ser mayor a 10 [mm] en dirección paralela al plano de las puertas.

3.6 La distancia entre los bordes de contacto de puertas deslizantes horizontales con división central y astrágalo, no debe ser mayor a 19 [mm] en la dirección paralela al plano de la puerta.

4 Herraje:

4.1 El herraje debe mantener la puerta cerrada en toda la duración del ensayo.

4.2 El herraje no requiere estar operativo después del ensayo.

La resistencia al fuego de las puertas ensayadas, será igual al tiempo en que se cumplan los criterios anteriormente descritos, y se clasificarán según la tabla 4-5.

Tabla 4-5: Clasificación puertas de fuego (NFPA 252).

Tiempo en que se cumplen los criterios de resistencia
20 [min]
30 [min]
3/4 [h]
1 [h]
1,5 [h]
3 [h]
Incremento de a 1 hora para resistencia mayores a 3 [h]

Cuando la clasificación de la puerta de fuego es mayor a 30 [min], se debe aplicar una corrección a la resistencia, de tal forma que la resistencia se multiplica por el factor de la ecuación 4.3.

$$C = \frac{2I(A - A_I)}{3(A_I + L)} \quad 4.3$$

C: Corrección en las mismas unidades de *I*.

I: Resistencia al fuego original de la puerta.

A: Área bajo la curva de la figura 4-1 hasta 3/4 de la resistencia original de la puerta.

A_I: Área bajo la curva de las mediciones de tiempo-temperatura del ensayo de fuego, hasta la resistencia original de la puerta.

L: Corrección de retraso en las mismas unidades de *A* y *A_I*, que es igual a 30 [°C/h] o 1800 [°C/min].

4.1.3 NFPA 105

La norma NFPA 105 tiene como objetivo describir los ensayos, requerimientos e instalación requerida de las puertas de humo utilizadas en Estados Unidos.

Esta norma exige que estas puertas presenten una tasa de fuga de aire menor a $0,9 \text{ [m}^3\text{/min/m}^2\text{]}$ cuando son ensayadas según la norma *UL 1784 Air Leakage Tests of Doors Assemblies* (la cual no se tiene acceso), y solo debe cumplir el requerimiento a presiones diferenciales de 25, 50 y 75 [Pa] con una precisión de $\pm 1,25 \text{ [Pa]}$. Este ensayo se realiza a temperatura ambiente (24°C) y elevada (204°C).

Las puertas que cumplan la tasa de fuga de aire deben ser rotuladas con la letra S y la presión diferencial con la cual fue ensayada.

Con respecto a la instalación, la norma dice las puertas de humo instaladas en zona de presurización, deben contar con un sello en la parte inferior de la puerta.

La norma plantea que en lo que respecta al ensayo e instalación de puertas de humo, se debe utilizar los criterios de la norma NFPA 80. Las pruebas de funcionamiento de estas puertas se deben realizar una vez que el sistema de ventilación del edificio y el sistema de cierre automático de la puerta estén calibrados.

El periodo de las inspecciones a las puertas resistentes al paso del humo no debe ser mayor a 1 año. Estas inspecciones consisten en una revisión visual y funcional de todos los elementos de la puerta, con tal de asegurar que la puerta en su conjunto opere como fue diseñada.

Si al retirar algún mecanismo o herraje de la puerta de humo queda alguna abertura, ésta debe ser sellada de tal forma que resista el paso del fuego y humo a temperatura ambiente y elevada.

La norma específica requerimientos para la instalación de puertas de vaivén, entre los cuales se encuentran:

- Puertas instaladas en barreras de humos deben ser instaladas con la menor cantidad de espaciamento entre sus componentes tal que permita su funcionamiento. El espaciamento máximo entre la parte inferior de la puerta y el piso debe ser de 19 [mm]. En el caso de que la parte inferior de la puerta esté a 965 [mm] por sobre el piso, el espaciamento máximo entre la parte inferior de la hoja y el umbral será 10 [mm].

- Puertas con una altura mayor a 1,52 [m], deben contar con 2 bisagras y una adicional cada 0,76 [m] de altura de puerta extra. La distancia entre las bisagras no debe ser mayor a 0,76 [m].

4.1.4 NFPA 80

Esta norma tiene el propósito de establecer estándares para la instalación y mantenimiento de los ensambles utilizados para proteger las aberturas en muros, pisos y techos contra el fuego y el humo, como por ejemplo puertas y ventanas.

El capítulo 4 de la norma establece los requerimientos generales que deben cumplir las puertas de fuego al ser instaladas, entre los cuales se encuentran:

- Se permite la instalación de materiales de acristalamiento en puertas de fuego, con un área máxima limitada a la que fue ensayada, con excepción para puertas con una resistencia al fuego de 3 [h], con un área máxima de 0,065 [m²].
- Los muros en que se instalan las puertas de fuego deben estar construidas de ladrillos, hormigón o mampostería de hormigón. En el caso de la mampostería de hormigón, los huecos a una distancia de 406 [mm] de la abertura deben ser rellenados con hormigón.
- En el caso de que el piso sea de un material no combustible, no se requerirá la instalación de una solera en puertas de fuego. En caso contrario se debe equipar la solera y el material combustible del piso no debe atravesar la puerta. Lo anterior no es requerido para puertas de fuego de 20 y 30 [min].
- Los dinteles de las puertas de fuego deben ser construidos de ladrillos, hormigón o arcos de mampostería de acero u hormigón armado.
- Debajo de la parte inferior de una puerta de fuego no debe existir un espaciamiento mayor a 19 [mm]. Si la parte inferior de la puerta está a más de 965 [mm] por encima del piso, el espaciamiento no debe ser mayor a 9,5 [mm].

El capítulo 5 de la norma plantea las inspecciones y mantenencias que se deben realizar a las puertas de fuego, entre las cuales están:

- Las puertas de fuego deben encontrarse operativas en todo momento, y si deben ser reemplazadas, estas deben cumplir los requerimientos con los cuales fueron diseñadas.
- Se debe realizar inspecciones periódicas a las puertas de fuego, manteniendo un registro de ellas. Estos registros deben guardarse a lo menos por 3 años Las inspecciones deben tener un periodo máximo de 1 año.
- En las inspecciones se debe verificar los siguiente:
 - El etiquetado de la puerta debe estar visible y ser legítimo.
 - No debe existir aberturas o fisuras en la hoja o marco de la puerta.

- Los materiales de acristalamiento deben encontrarse intactos.
- La hoja, el marco y el herraje de la puerta no deben presentar daños.
- Ningún componente debe encontrarse ausente o dañado.
- Las tolerancias de los espaciamientos deben estar en el rango permitido.
- El sistema de cierre automático debe encontrarse operativo y debe cerrar la puerta completamente.
- Se debe verificar la presencia e integridad de los sellos de protección de los bordes de la puerta de fuego.

4.2 España

En España, la Ley de Ordenación de la Edificación define cuales son los requisitos que deben cumplir las estructuras con respecto a los incendios. Esta ley separa las edificaciones en dos grupos principales, estructuras de uso industrial y las restantes.

Los requisitos contra incendios que deben cumplir las edificaciones industriales son abordados por el “Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales”.

En cambio, para las edificaciones tradicionales, existe el Código Técnico de la Edificación (CTE), el cual tiene una sección denominada Seguridad en Caso de Incendio (SI). Esta sección está subdividida en los documentos básicos (DB-SI) y los de apoyo (DA-SI).

4.2.1 Documento Básico: Seguridad en caso de incendio

Lo primero que se debe abordar de este documento es el anexo SI A, el cual contiene la terminología utilizada a lo largo de toda la norma. A continuación se presentan las definiciones de algunos términos que se utilizarán para exponer criterios de interés de la normativa para esta memoria:

- **Sector de Incendio:** Espacio de un edificio separado de otras zonas del mismo por elementos constructivos delimitadores resistentes al fuego durante un período de tiempo determinado, en el interior del cual se puede confinar (o excluir) el incendio para que no se pueda propagar a (o desde) otra parte del edificio. Los locales de riesgo especial no se consideran sectores de incendio.
- **Escalera Protegida:** Escalera de trazado continuo desde su inicio hasta su desembarco en planta de salida del edificio que, en caso de incendio, constituye un recinto suficientemente seguro para permitir que los ocupantes puedan permanecer en el mismo durante un determinado tiempo. Para ello debe reunir las siguientes condiciones:
 - Es un recinto destinado exclusivamente a circulación y compartimentado del resto del edificio mediante elementos separadores EI 120.
 - El recinto tiene como máximo dos accesos en cada planta, los cuales se realizan a través de puertas EI₂ 60-C5 y desde espacios de circulación comunes y sin ocupación propia.
 - El recinto cuenta con protección frente al humo, mediante el uso de ventilación natural, ventilación mediante ductos de entrada y salida de aire o un sistema de presión diferencial.

- **Escalera Especialmente Protegida:** Escalera que reúne las condiciones de escalera protegida y que además dispone de un vestíbulo de independencia diferente en cada uno de sus accesos desde cada planta. La existencia de dicho vestíbulo de independencia no es necesaria cuando se trate de una escalera abierta al exterior, ni en la planta de salida del edificio, cuando se trate de una escalera para evacuación ascendente, pudiendo la escalera en dicha planta carecer de compartimentación.
- **Vestíbulo de Independencia:** Recinto de uso exclusivo para circulación situado entre dos o más recintos o zonas con el fin de aportar una mayor garantía de compartimentación contra incendios y que únicamente puede comunicar con los recintos o zonas a independizar, con aseos de planta y con ascensores. Sus paredes serán EI 120. Sus puertas de paso entre los recintos o zonas a independizar tendrán la cuarta parte de la resistencia al fuego exigible al elemento compartimentador que separa dichos recintos y al menos EI₂ 30-C5. Los vestíbulos de independencia de las escaleras especialmente protegidas dispondrán de protección frente al humo conforme a alguna de las alternativas establecidas para dichas escaleras.
- **Sector Bajo Rasante:** Sector de incendio en el que los recorridos de evacuación de alguna de sus zonas deben salvar necesariamente una altura de evacuación ascendente igual o mayor que 1,5 [m].
- **Sector de Riego Mínimo:** Sector de incendio que cumple las siguientes condiciones:
 - Está destinado exclusivamente a circulación y no constituye un sector bajo rasante.
 - La densidad de carga de fuego no excede de 40 [MJ/m²] en el conjunto del sector, ni de 50 [MJ/m²] en cualquiera de los recintos contenidos en el sector, considerando la carga de fuego aportada, tanto por los elementos constructivos, como por el contenido propio de la actividad.
 - Tiene resuelta la evacuación, desde todos sus puntos, mediante salidas de edificio directas a espacio exterior seguro.

En la sección SI 1 de este documento se expone las condiciones de compartimentación que deben cumplir los sectores de incendio. La tabla 4-6 contiene aquellas condiciones según el tipo de uso previsto del edificio.

Tabla 4-6: Condiciones de compartimentación en sectores de incendio (SI-DB).

Uso previsto del edificio o establecimiento	Condiciones
En General	Todo establecimiento debe constituir sector de incendio diferenciado del resto del edificio excepto, en edificios cuyo uso principal sea Residencial Vivienda, los establecimientos cuya superficie construida no exceda de 500 [m ²] y cuyo uso sea Docente, Administrativo o Residencial Público.
	<p>Toda zona cuyo uso previsto sea diferente y subsidiario del principal del edificio o del establecimiento en el que esté integrada debe constituir un sector de incendio diferente cuando supere los siguientes límites:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zona de uso Residencial Vivienda, en todo caso. - Zona de alojamiento o de uso Administrativo, Comercial o Docente cuya superficie construida exceda de 500 [m²] - Zona de uso Pública Concurrencia cuya ocupación exceda de 500 personas. - Zona de uso Aparcamiento cuya superficie construida exceda de 100 [m²]. - Cualquier comunicación con zonas de otro uso se debe hacer a través de vestíbulos de independencia.
	Un espacio diáfano puede constituir un único sector de incendio que supere los límites de superficie construida que se establecen, siempre que al menos el 90% de ésta se desarrolle en una planta, sus salidas comuniquen directamente con el espacio libre exterior, al menos el 75% de su perímetro sea fachada y no exista sobre dicho recinto ninguna zona habitable.
	No se establece límite de superficie para los sectores de riesgo mínimo.
Residencial Vivienda	La superficie construida de todo sector de incendio no debe exceder de 2500 [m ²].
Administrativo	Los elementos que separan viviendas entre sí deben ser al menos EI 60.
Administrativo	La superficie construida de todo sector de incendio no debe exceder de 2500 [m ²].
Comercial	<p>Excepto en los casos contemplados en los guiones siguientes, la superficie construida de todo sector de incendio no debe exceder de:</p> <ol style="list-style-type: none"> i) 2500 [m²], en general; ii) 10000 [m²] en los establecimientos o centros comerciales que ocupen en su totalidad un edificio íntegramente protegido con una instalación automática de extinción y cuya altura de evacuación no exceda de 10 [m].
	En establecimientos o centros comerciales que ocupen en su totalidad un edificio exento íntegramente protegido con una instalación automática de extinción, las zonas destinadas al público pueden constituir un único sector de incendio cuando en ellas la altura de evacuación descendente no exceda de 10 [m] ni la ascendente exceda de 4 [m] y cada planta tenga la evacuación de todos sus ocupantes resuelta mediante salidas de edificio situadas en la propia planta y salidas de planta que den acceso a escaleras protegidas o a pasillos protegidos que conduzcan directamente al espacio exterior seguro.
	<p>En centros comerciales, cada establecimiento de uso Pública Concurrencia:</p> <ol style="list-style-type: none"> i) en el que se prevea la existencia de espectáculos (incluidos cines, teatros, discotecas, salas de baile, etc.), cualquiera que sea su superficie; ii) destinado a otro tipo de actividad, cuando su superficie construida exceda de 500 [m²]; <p>debe constituir al menos un sector de incendio diferenciado, incluido el posible vestíbulo común a diferentes salas.</p>
Residencial Público	La superficie construida de cada sector de incendio no debe exceder de 2500 [m ²].
	Toda habitación para alojamiento, así como todo oficio de planta cuya dimensión y uso previsto no obliguen a su clasificación como local de riesgo especial conforme la tabla 4-8, debe tener paredes EI 60 y, en establecimientos cuya superficie construida exceda de 500 [m ²], puertas de acceso EI ₂ 30-C5.
Docente	Si el edificio tiene más de una planta, la superficie construida de cada sector de incendio no debe exceder de 4000 [m ²]. Cuando tenga una única planta, no es preciso que esté compartimentada en sectores de incendio.
Hospitalario	Las plantas con zonas de hospitalización o con unidades especiales (quirófanos, UVI, etc.) deben estar compartimentadas al menos en dos sectores de incendio, cada uno de ellos con una superficie construida que no exceda de 1500 [m ²] y con espacio suficiente para albergar a los pacientes de uno de los sectores contiguos. Se exceptúa de lo anterior aquellas plantas

	cuya superficie construida no exceda de 1500 [m ²], que tengan salidas directas al espacio exterior seguro y cuyos recorridos de evacuación hasta ellas no excedan de 25 [m].
	En otras zonas del edificio, la superficie construida de cada sector de incendio no debe exceder de 2500 [m ²].
Pública Concurrencia	La superficie construida de cada sector de incendio no debe exceder de 2500 [m ²], excepto en los casos contemplados en los guiones siguientes.
	Los espacios destinados a público sentado en asientos fijos en cines, teatros, auditorios, salas para congresos, etc., así como los museos, los espacios para culto religioso y los recintos polideportivos, feriales y similares pueden constituir un sector de incendio de superficie construida mayor de 2500 [m ²] siempre que: <ul style="list-style-type: none"> a) estén compartimentados respecto de otras zonas mediante elementos EI 120; b) tengan resuelta la evacuación mediante salidas de planta que comuniquen con un sector de riesgo mínimo a través de vestíbulos de independencia, o bien mediante salidas de edificio; c) la densidad de la carga de fuego debida a los materiales de revestimiento y al mobiliario fijo no exceda de 200 [MJ/m²] y d) no exista sobre dichos espacios ninguna zona habitable.
	Las cajas escénicas deben constituir un sector de incendio diferenciado.
Aparcamiento	Debe constituir un sector de incendio diferenciado cuando esté integrado en un edificio con otros usos. Cualquier comunicación con ellos se debe hacer a través de un vestíbulo de independencia. Los aparcamientos robotizados situados debajo de otro uso estarán compartimentados en sectores de incendio que no excedan de 10000 [m ³].

La tabla 4-7 contiene las resistencia al fuego debe deben cumplir los muros, techos y puertas utilizados para las distintas compartimentaciones descritas en la tabla 4-6.

Tabla 4-7: Resistencia al fuego de las paredes, techos y puertas que delimitan sectores de incendio (SI-DB).

Elemento	Plantas bajo rasante	Resistencia al fuego		
		Plantas sobre rasante en edificio con altura de evacuación:		
		h ≤ 15 [m]	15 < h ≤ 28 [m]	h > 28 [m]
Paredes y techos que separan al sector considerado del resto del edificio, siendo su uso previsto:				
Sector de riesgo mínimo en edificio de cualquier uso	(no se admite)	EI 120	EI 120	EI 120
Residencial Vivienda, Residencial Público, Docente, Administrativo	EI 120	EI 60	EI 90	EI 120
Comercial, Pública Concurrencia, Hospitalario	EI 120 ⁽¹⁾	EI 90	EI 120	EI 180
Aparcamiento	EI 120 ⁽²⁾	EI 120	EI 120	EI 120
Puertas de paso entre sectores de incendio	EI ₂ t-C5 siendo t la mitad del tiempo de resistencia al fuego requerido a la pared en la que se encuentra, o bien la cuarta parte cuando el paso se realice a través de un vestíbulo de independencia y de dos puertas.			

⁽¹⁾ EI 180 si la altura de evacuación del edificio es mayor a 28 [m].

⁽²⁾ EI 180 si es un aparcamiento robotizado.

Por otra parte, en la misma sección se establecen los locales y zonas de riesgo especial, las que se dividen en riesgo bajo, medio y alto. A continuación se presenta la tabla con las divisiones mencionadas:

Tabla 4-8: Clasificación de los locales y zonas de riesgo especial integrados en edificios (SI-DB).

Uso previsto del edificio o establecimiento - Uso del local o zona	Tamaño del local o zona S = superficie construida V = volumen construido		
	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo alto
En cualquier edificio o establecimiento:			
Talleres de mantenimiento, almacenes de elementos combustibles (p. e.: mobiliario, lencería, limpieza, etc.), archivos de documentos, depósitos de libros, etc.	$100 < V \leq 200 \text{ [m}^3\text{]}$	$200 < V \leq 400 \text{ [m}^3\text{]}$	$V > 400 \text{ [m}^3\text{]}$
Almacén de residuos	$5 < S \leq 15 \text{ [m}^2\text{]}$	$15 < S \leq 30 \text{ [m}^2\text{]}$	$S > 30 \text{ [m}^2\text{]}$
Aparcamiento de vehículos de una vivienda unifamiliar o cuya superficie S no exceda de 100 m	En todo caso		
Cocinas según potencia instalada P	$20 < P \leq 30 \text{ [kW]}$	$30 < P \leq 50 \text{ [kW]}$	$P > 50 \text{ [kW]}$
Lavanderías. Vestuarios de personal. Camerinos	$20 < S \leq 100 \text{ [m}^2\text{]}$	$100 < S \leq 200 \text{ [m}^2\text{]}$	$S > 200 \text{ [m}^2\text{]}$
Salas de calderas con potencia útil nominal P	$70 < P \leq 200 \text{ [kW]}$	$200 < P \leq 600 \text{ kW[kW]}$	$P > 600 \text{ [kW]}$
Salas de máquinas de instalaciones de climatización	En todo caso		
Salas de maquinaria frigorífica: refrigerante amoníaco refrigerante halogenado		En todo caso	
	$P \leq 400 \text{ [kW]}$	$P > 400 \text{ [kW]}$	
Almacén de combustible sólido para calefacción	$S \leq 3 \text{ [m}^2\text{]}$	$S > 3 \text{ [m}^2\text{]}$	
Local de contadores de electricidad y de cuadros generales de distribución	En todo caso		
Centro de transformación con aparatos con aislamiento dieléctrico seco o líquido con punto de inflamación mayor que 300°C	En todo caso		
Centro de transformación con aparatos con aislamiento dieléctrico con punto de inflamación que no exceda de 300°C y potencia instalada P: - total - en cada transformador	$P < 2\,520 \text{ [kVA]}$	$2\,520 < P < 4\,000 \text{ [kVA]}$	$P > 4\,000 \text{ [kVA]}$
	$P < 630 \text{ [kVA]}$	$630 < P < 1\,000 \text{ [kVA]}$	$P > 1\,000 \text{ [kVA]}$
Sala de maquinaria de ascensores	En todo caso		
Sala de grupo electrógeno	En todo caso		
Residencial Vivienda			
Trasteros	$50 < S \leq 100 \text{ [m}^2\text{]}$	$100 < S \leq 500 \text{ [m}^2\text{]}$	$S > 500 \text{ [m}^2\text{]}$
Hospitalario			
Almacenes de productos farmacéuticos y clínicos	$100 < V \leq 200 \text{ [m}^3\text{]}$	$200 < V \leq 400 \text{ [m}^3\text{]}$	$V > 400 \text{ [m}^3\text{]}$
Esterilización y almacenes anejos			En todo caso
Laboratorios clínicos	$V \leq 350 \text{ [m}^3\text{]}$	$350 < V \leq 500 \text{ [m}^3\text{]}$	$V > 500 \text{ [m}^3\text{]}$
Administrativo			
Imprenta, reprografía y locales anejos, tales como almacenes de papel o de publicaciones, encuadernado, etc.	$100 < V \leq 200 \text{ [m}^3\text{]}$	$200 < V \leq 500 \text{ [m}^3\text{]}$	$V > 500 \text{ [m}^3\text{]}$
Residencial Público			
Roperos y locales para la custodia de equipajes	$S \leq 20 \text{ [m}^2\text{]}$	$20 < S \leq 100 \text{ [m}^2\text{]}$	$S > 100 \text{ [m}^2\text{]}$
Comercial			
Almacenes en los que la densidad de carga de fuego ponderada y corregida (Q_s) aportada por los productos almacenados sea:	$425 < Q_s \leq 850 \text{ [MJ/m}^2\text{]}$	$850 < Q_s \leq 3\,400 \text{ [MJ/m}^2\text{]}$	$Q_s > 3\,400 \text{ [MJ/m}^2\text{]}$
La superficie construida de los locales así clasificados no debe exceder de la siguiente: <ul style="list-style-type: none"> en recintos no situados por debajo de la planta de salida del edificio - con instalación automática de extinción	$S < 2\,000 \text{ [m}^2\text{]}$	$S < 600 \text{ [m}^2\text{]}$	$S < 25 \text{ [m}^2\text{]}$ y altura de evacuación

- sin instalación automática de extinción <ul style="list-style-type: none"> en recintos situados por debajo de la planta de salida del edificio - con instalación automática de extinción	S<1000 [m ²]	S<300 [m ²]	<15 [m] no se admite
	<800 [m ²]	no se admite	no se admite
	<400 [m ²]	no se admite	no se admite
	Pública concurrencia		
Taller o almacén de decorados, de vestuario, etc.		100<V≤200 [m ³]	V>200 [m ³]

Conociendo las zonas de riesgo especial, las puertas resistentes al fuego que comunican estas zonas con el resto del edificio deben tener una resistencia según la siguiente tabla:

Tabla 4-9: Condiciones de las zonas de riesgo especial integradas en edificios (SI-DB).

Característica	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo alto
Resistencia al fuego de la estructura portante	R 90	R 120	R 180
Resistencia al fuego de las paredes y techos que separan la zona del resto del edificio	EI 90	EI 120	EI 180
Vestíbulo de independencia en cada comunicación de la zona con el resto del edificio	-	Si	Si
Puertas de comunicación con el resto del edificio	EI ₂ 45-C5	2 x EI ₂ 30-C5	2 x EI ₂ 45-C5
Máximo recorrido hasta alguna salida del local	≤25 [m]	≤ 25 [m]	≤ 25 [m]

4.2.2 Normas UNE-EN 1363-1 y 1634-1

El documento de apoyo de DA DB-SI/2 presenta las normas que deben utilizarse para ensayar y clasificar las puertas resistentes al fuego. Estas son la UNE-EN 1634-1 para el ensayo y UNE-EN 13501-2 para la clasificación.

Según la norma UNE-EN 1634-1, ésta debe ser utilizada en conjunto con la UNE-EN 1363-1, la cual presenta los requisitos generales para el ensayo de resistencia al fuego.

Las condiciones del ensayo deben ser las siguientes:

- **Temperatura del horno:**

La temperatura media del horno deber seguir la siguiente relación:

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20 \quad 4.4$$

T : Temperatura media del horno en °C.

t : Tiempo en minutos.

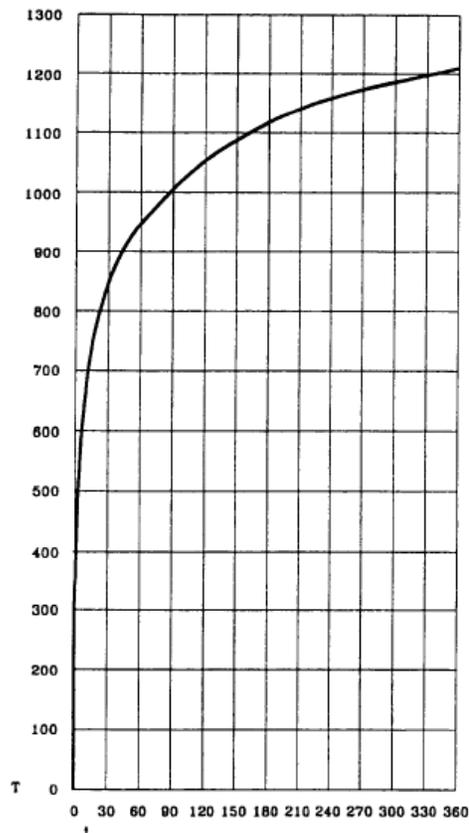


Figura 4-4: Curva normalizada de temperatura y tiempo (UNE-EN 1363-1).

Tabla 4-10: Tabla tiempo-temperatura del horno (UNE-EN 1363-1).

Tiempo [min]	Temperatura [°C]
0	20
5	576
10	678
15	738
20	781
30	842
45	902
60	945
90	1006
120	1049
150	1082
180	1110
210	1133
240	1153
300	1186
360	1214

El porcentaje de desviación en el área normalizada de la temperatura media frente al área de la curva normalizada temperatura/tiempo debe estar dentro de los siguientes márgenes:

Tabla 4-11: Porcentaje de desviación según el tiempo (UNE-EN 1363-1).

Porcentaje de desviación (d_e) [%]	Tiempo (t) [min]
15	$5 < t \leq 10$
$15 - 0,5 \cdot (t - 10)$	$10 < t \leq 30$
$5 - 0,083 \cdot (t - 30)$	$30 < t \leq 60$
2,5	$t > 60$

Para calcular el porcentaje de desviación se utiliza la siguiente ecuación:

$$d_e = \frac{A - A_s}{A_s} \times 100 \quad 4.5$$

d_e : Porcentaje de desviación [%].

A : Área bajo curva del valor medio de temperatura/tiempo obtenida en el horno.

A_s : Área bajo curva del valor medio de temperatura/tiempo normalizado.

Se registrarán las áreas mediante la suma de las áreas a intervalos que no excedan en un minuto y se calcularán desde un tiempo 0.

En los primeros 10 [min] del ensayo, la temperatura registrada en cualquier termopar del horno puede diferenciarse en más de 100°C de la temperatura normalizada correspondiente.

- **Presión del horno:**

La distribución de la presión a lo largo de la altura del horno viene condicionada por el movimiento natural de los gases. Con el propósito de controlar la presión del horno, puede considerarse que el gradiente de presión será de 8,5 [Pa] por metro de altura del horno.

El sistema para medir la presión no tendrá en cuenta las fluctuaciones rápidas de presión asociadas a turbulencias, etc. La presión del horno será establecida en relación a la presión existente en el exterior del horno a la misma altura.

La presión será objeto de control y vigilancia de tal manera que en los 5 [min] iniciales del ensayo estará en el rango de ± 5 [Pa] del valor aplicable a ese elemento sometido a ensayo y desde los 10 [min] del ensayo en adelante, estará en el valor de ± 3 [Pa] de la presión aplicable al mencionado elemento.

El horno funcionará de tal manera que el plano de presión neutra se establezca a 500 [mm] por encima de la altura ocupada por el nivel del suelo teórico del elemento sometido a ensayo. Independiente de esto, la presión en la parte superior del elemento no será mayor a 20 [Pa] y esta condición puede provocar una variación en la altura del plano de la presión neutra.

- **Atmósfera en el interior del horno:**

La relación combustible/aire de los quemadores así como la introducción de cualquier cantidad de aire secundario será establecida para obtener un contenido mínimo de oxígeno en la atmósfera del horno del 4% cuando se ensayen elementos sin contenido combustible. La relación combustible/aire y la introducción de aire secundario no deberá ser modificada tras cada verificación del comportamiento del horno.

- **Condiciones de temperatura ambiente**

La temperatura ambiente será de 20°C \pm 10°C al inicio del ensayo y será leída a una distancia de 1 a 3 [m] alejada horizontalmente de la cara no expuesta del elemento sometido a condiciones atmosféricas del ambiente, de tal manera que no sea afectado por la radiación térmica proveniente de la muestra o del propio horno.

Las muestras de ensayo y todos sus componentes deben presentar sus las medidas reales que tendrán en la práctica, y de no ser posible deben tener el máximo tamaño posible.

El número de muestras a ensayar dependerá de la simetría de la puerta y del requerimiento a la resistencia al fuego de cada cara. Si la puerta es simétrica, entonces es necesario ensayar solo una muestra. Esto es igual cuando se requiere resistencia en una sola cara de la puerta. En cambio si la puerta es asimétrica y se requiere resistencia en ambas caras, se deben ensayar dos muestras.

Cuando la puerta a ensayar incorpore tarjas o paneles laterales, de relleno o de montaje, así como paneles para superponer en la hoja, ya sean vidriados o no, deberán ser ensayados como parte integrante del conjunto de la puerta. El panel lateral siempre deberá estar situado en el lado del picaporte.

La muestra requiere un proceso de acondicionamiento antes de ser ensayada, el cual consiste en que ésta logre un equilibrio en las condiciones de almacenaje, que son de una atmosfera ambiente con un 50% de humedad y una temperatura media de 23°C.

La utilización de los instrumentos durante el ensayo debe ser la siguiente:

- **Termopares:**

- 1) Temperatura del horno:**

Debe haber al menos 1 termopar por cada 1,5 [m²] de área expuesta al conjunto que forma la obra de soporte y la muestra, con un mínimo de cuatro. Los termopares se distribuirán en el plano vertical a una distancia de 100 [mm] del plano que forma la construcción y deben estar alejados al menos en 450 [mm] de cualquier pared, techo o suelo del horno.

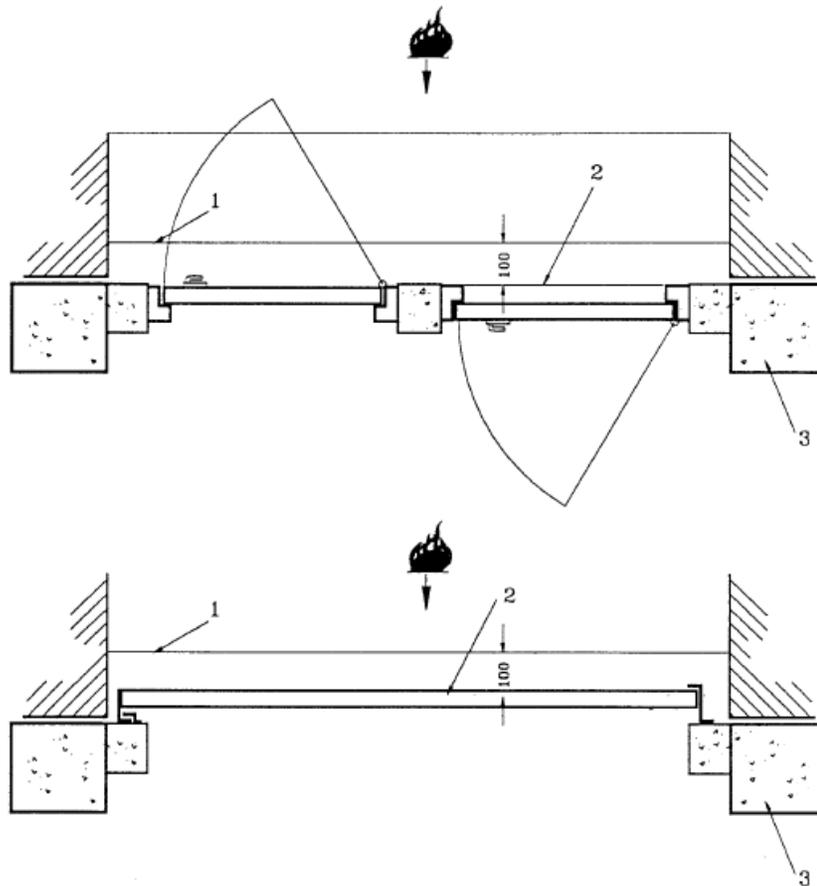


Figura 4-5: Esquema de posición termopares (UNE-EN 1634-1).

2) Temperatura de la cara no expuesta:

Cuando sea necesario determinar el criterio de aislamiento de una puerta, se deben fijar termopares en la cara no expuesta para obtener una evaluación de las temperaturas medias y máximas. No se debe fijar ningún termopar a una distancia menor de 50 [mm] de cualquier herraje.

2.1) Temperatura media:

Se situarán cinco termopares, uno en el centro de la hoja u hojas y uno en el centro de cada cuarto de la superficie de la puerta. Estos termopares no se podrán situar a menos de 50 [mm] de cualquier junta, rigidizador o puente térmico ni a menos de 100 [mm] de los bordes de la hoja de cerramiento.

Las puertas que incorporen áreas de diferente aislamiento térmico, cuya suma sea igual o superior a $0,1 \text{ [m}^2\text{]}$ (es decir paneles laterales, paneles de superposición en hojas o elementos vidriados contenidos dentro de la hoja de la puerta) deberán presentar termopares adicionales distribuidos en la suma de las superficies de aquellas áreas a fin de determinar la temperatura media, a razón de un termopar por metro cuadrado o parte, con un mínimo de dos. Hay que determinar el valor medio del comportamiento del aislamiento en la suma de esas áreas.

Cuando el área de una sola parte de la puerta represente menos de 0,1 [m²], no se tendrá en cuenta para la determinación de la temperatura media de la cara no expuesta.

2.2) Temperatura máxima:

La temperatura máxima se determinará utilizando las mediciones de los 5 termopares de la cara no expuesta junto con los descritos a continuación.

2.2.1) Temperatura del marco de la puerta:

Se fijarán termopares en las siguientes posiciones:

- Uno a media altura de cada elemento vertical de dicho marco (jambas).
- Uno a mitad de la longitud del elemento horizontal superior del marco (dintel).
- Uno a cada lado del dintel a 50 [mm] de cada esquina de la hoja.

2.2.2) Temperatura en la hoja:

Se fijarán termopares en las siguientes posiciones:

- A media altura, a 100 [mm] del borde vertical entre la hoja y el marco.
- A mitad de anchura, a 100 [mm] por debajo del borde entre hoja y marco.
- A 100 [mm] de las juntas verticales, y simultáneamente a 100 [mm] por debajo de la junta horizontal, de la siguiente manera:
 - Desde el límite del marco que configura el paso libre de la puerta en el caso de puertas pivotantes abatibles y de vaivén de apertura hacia el interior del horno, deslizantes instaladas en la cara expuesta de la obra soporte.
 - Desde la parte visible de la junta entre hoja y marco en el caso de puertas pivotantes abatibles y de vaivén de apertura hacia el exterior del horno, deslizantes instaladas en la cara no expuesta de la obra soporte.

muestra durante el ensayo. Algunas de las zonas de la muestra consideradas más significativas a la hora de observar deformaciones son:

- Hoja de la puerta con respecto al muro
- Marco con respecto a la obra de soporte
- Obra de soporte

El principio de medición de realizará con referencia a un punto fijo. Se escogerá el intervalo entre medida de cara a poder presentar posteriormente la evolución de la deformación en la muestra durante el ensayo.

Para el comienzo del ensayo, la temperatura media inicial de la cara no expuesta de la muestra debe ser de $20\pm 10^{\circ}\text{C}$ y no debe diferir de la temperatura inicial ambiental en más de 5°C . La temperatura inicial del horno debe ser de $30\pm 20^{\circ}\text{C}$.

El comienzo del ensayo se producirá cuando cualquier termopar del horno registre una temperatura superior a 50°C .

Una vez iniciado el ensayo, todos los termopares y sensores de presión realizarán mediciones con un periodo máximo de 1 [min],

Durante el ensayo, se evaluará la integridad de la puerta mediante los siguientes procedimientos:

- **Tampón de algodón:**

El tampón del algodón se empleará situando el marco dentro del cual está montado contra la superficie de la puerta, durante un periodo máximo de 30 [s] o hasta que se produzca la ignición. Se registrará el tiempo y el lugar en que donde produzca la ignición.

- **Galgas:**

El tamaño de aberturas generadas en la superficie de la muestra deberá ser controlado a intervalos de tiempo que serán determinados en función del ritmo de deterioro de la muestra. Se emplearán dos tipos de galga, de forma alternativa y sin utilizar una fuerza de aplicación indebida, para determinar:

- De qué modo la galga de 6 [mm] puede pasar a través de la muestra de ensayo de tal manera que dicha galga penetre el interior del horno, y pueda ser desplazada una distancia de 150 [mm] a lo largo de la abertura. Esta galga no debe ser utilizada en la holgura en la parte inferior de la puerta.
- De qué modo la galga de 25 [mm] puede pasar a través de la muestra de tal manera que ésta penetre en el interior del horno.

Se registrará el tiempo y lugar en el que se demuestre la posibilidad de una penetración de una galga en cualquier abertura producida en la muestra de ensayo.

- **Presencia de llamas:**

Se registrará la presencia y duración de cualquier llama en la cara no expuesta, junto con su localización.

Los criterios de comportamiento del ensayo son los siguientes:

- **Integridad:**

Considerará el tiempo en minutos completos en los cuales la muestra de ensayo continua manteniendo su función separadora durante el ensayo, sin constatarse la presencia de:

- Ignición del tampón de algodón
- Penetración de la galga
- Aparición de llamas sostenidas

- **Aislamiento:**

Considerará el tiempo en minutos completos durante el cual la muestra continúa manteniendo su función separadora durante el ensayo sin desarrollar elevadas temperaturas elevadas en la cara no expuesta. Los criterios de incremento de temperatura son los siguientes:

- El incremento de la temperatura media sobre la temperatura inicial no sea superior a 140°C.
- El incremento de la temperatura máxima sobre la temperatura inicial no sea superior a 180°C para la hoja y 360°C para el marco.

4.2.3 Norma UNE-EN 13501-2

Esta norma tiene el propósito de clasificar elementos de construcción utilizando los datos obtenidos de los ensayos de fuego y/o humo realizados a los elementos a clasificar.

La clasificación de los elementos se realiza utilizando una serie de letras y números, los cuales representan distintos tipos de criterios que cumplen el elemento clasificado.

En el caso de puertas, los criterios de interés son los siguientes:

- **Integridad (E):** Habilidad de un elemento constructivo de separación de resistir la exposición al fuego en uno de sus lados, sin transmitir el fuego al lado no expuesto resultado del paso de llamas y gases calientes. Los aspectos que se utilizan para medir la integridad consiste en la aparición de aberturas de ciertas dimensiones en la cara no expuesta, ignición de la almohadilla de algodón y aparición de llamas sostenidos en la cara no expuesta. La letra E representa la integridad.
- **Aislamiento (I):** Habilidad de un elemento constructivo de separación de resistir la exposición al fuego en uno de sus lados, sin transmitir el fuego al lado no expuesto resultado de la transmisión de calor, desde el lado expuesto al no expuesto. Para medir la aislación se evalúa la temperatura media y máxima de la cara no expuesta. La letra I representa la aislación. En el caso específico de las puertas, se debe utilizar uno de los dos criterios de aislamiento, los cuales son:
 - **Aislamiento I₁:** La temperatura media de la cara no expuesta debe estar limitada a 140°C por sobre la temperatura media inicial, y cualquier punto de la puerta debe tener una temperatura máxima de 180°C. Ninguna temperatura debe ser considerada en la hoja de la región de 25 [mm] del borde de la hoja. Cualquier punto del marco de la puerta debe tener temperatura máxima de 180°C.
 - **Aislamiento I₂:** Igual que la definición anterior excepto que la región de 25 [mm] se cambia a 100 [mm] y la temperatura máxima del marco es de 360°C.
- **Cierre Automático (C):** Habilidad de una puerta abierta para cerrarse completamente en su marco y acoplar el pestillo de cerramiento sin intervención humana, mediante almacenamiento de energía o una red eléctrica de respaldo. La letra C representa el cierre automático. La norma EN 14600 define los requerimientos para la clasificación de los mecanismos de cierre automático, la cual se separa en C0, C1, C2, C3, C4 y C5.
- **Filtración de Humo (S):** Habilidad de un elemento de reducir o eliminar el paso de gases o humo desde un lado del elemento al otro. La letra S representa la filtración de humo. La filtración de humo se separa en S_a, que considera la filtración a temperatura ambiente (20°C), y S_m que considera la filtración a temperatura ambiente e intermedia (200°C).

Para clasificar una puerta se utiliza la siguiente codificación de letras y números:

- 1) Primero se pone la letra E si la puerta cumple el criterio de integridad. Luego la letra I, si se cumple el criterio de aislamiento, junto al subíndice 1 o 2 según el criterio utilizado en el ensayo.
- 2) Luego sigue el tiempo en que se cumplen simultáneamente los criterios de integridad y/o aislamiento según el caso.
- 3) Después si la puerta tiene equipado un sistema de cierre automático, se pone la letra C junto al número de clasificación del mecanismo.
- 4) Por último, si la puerta resiste la filtración de humo, se pone la letra S con el subíndice a o m según corresponda.

A modo de ejemplo, una puerta EI₂ 30-C5 S_m tendría una resistencia al fuego de 30 [min] para los criterios de Integridad y aislamiento. Tendría equipado un sistema de cierre automático y tendría resistencia al paso del humo a temperatura ambiente e intermedia.

4.3 Reino Unido

En el Reino Unido, las leyes que abordan la seguridad contra incendios dependen de la zona a estudiar, las cuales son:

- Inglaterra y Gales
- Escocia
- Irlanda del Norte

Las diferencias de las normativas entre las distintas zonas son mínimas, por lo cual se estudiará la zona de Inglaterra y Gales ya que es la más relevante.

Para Inglaterra y Gales, las normativas dependen del tipo de estructura a estudiar, las cuales se separan en dos grupos: casas de viviendas y otras estructuras.

Se abordará la normativa del grupo de estructuras distintas a casas de viviendas, ya que en él están las edificaciones de interés de esta memoria.

La normativa que aborda los requerimientos de las puertas de fuego y/o humo y la compartimentación es el Fire Safety: Approved Document B.

4.3.1 Fire Safety: Approved Document B

La sección 8 del Approved Document B aborda el tema de la compartimentación que requieren las estructuras, la cual se logra mediante el uso de muros y losas resistentes al fuego.

En las disposiciones generales que deben cumplir los compartimentos, se expresa que el primer piso de cualquier estructura no requiere ser compartimentado. Además, cualquier muro común de dos o más edificios debe ser un muro de compartimentación. Por último, si partes de un edificio son utilizadas para distintos fines, éstas deben ser separadas por muros y/o losas de compartimentación.

También se dan requerimientos especiales para la compartimentación según el tipo de uso que se emplea en la estructura, los cuales son:

- **Departamentos:** Se debe construir con muros y losas de compartimentación cada piso, cada muro que separe a la vivienda de cualquier otro lugar del edificio

y cada muro de los ductos de basura. Si el departamento se encuentra a más de 30 [m] de altura se requiere instalar un sistema automático de rociadores.

- **Edificios institucionales incluido hospitales:** Todos los pisos deben ser de compartimentación. En cada piso debe existir al menos 3 áreas compartimentadas mediante muros de compartimentación. Todas las habitaciones equipadas con camas deben contar con una puerta de fuego con cierre automático. Si la habitación tiene equipado un sistema automático de rociadores, el cierre automático de la puerta de fuego no es requerido.
- **Otros tipos de edificios residenciales:** Todos los pisos debe ser construidos como losas de compartimentación.
- **Edificios no residenciales:** En esta categoría están las oficinas, tiendas, lugares de asamblea, lugares de recreación y bodegas entre otros. Se deben construir los muros y losas como de compartimentación en los siguientes casos:
 - Cada muro utilizado para subdividir un edificio según los límites de los compartimentos según la tabla 4-12.
 - Cada losa del edificio o parte de este si tiene un piso a más de 30 [m] sobre el suelo.
 - La losa de la altura del suelo si el edificio tiene 1 o más subterráneos.
 - La losa del subterráneo (excepto la inferior del edificio), si el edificio tiene un subterráneo ubicado a más de 10 [m] por debajo del nivel del suelo.
 - Si el edificio tiene locales de uso comercial, bodega o industrial, cada muro y losa utilizado para dividirlos del resto del edificio deben ser de compartimentación.

Tabla 4-12: Dimensiones máximas de compartimentos para edificios no residenciales (Fire Safety Approved Document B).

Propósito de uso del edificio o parte de éste	Altura sobre el nivel del suelo del piso más alto [m]	Área de cualquier piso del edificio o compartimento [m ²]		
		Edificio de múltiples pisos		Edificios de 1 solo piso
Oficinas	Sin límite	Sin límite		Sin límite
Tiendas y comercios de asamblea y reunión:				
Tienda sin sistema de rociadores automáticos	Sin límite	2000		2000
Tienda con sistema de rociadores automáticos	Sin límite	4000		Sin límite
Otro lugar sin sistema de rociadores automáticos	Sin límite	2000		Sin límite
Otro lugar con sistema de rociadores automáticos	Sin límite	4000		Sin límite
Industrial:				
Sin sistema de rociadores automáticos	Hasta 18	7000		Sin límite
	Mayor a 18	2000		N/A
Con sistema de rociadores automáticos	Hasta 18	14000		Sin límite
	Mayor a 18	4000		N/A
	Altura sobre el nivel del suelo del piso más alto [m]	Volumen máximo de compartimentos [m ³]	Área máxima de piso [m ²]	Altura máxima [m]
		Edificio de múltiples pisos	Edificios de 1 solo piso	
Bodega y otros no residenciales:				
a. Estacionamiento para	Sin límite	Sin límite	Sin límite	Sin límite

vehículos livianos				
b. Cualquier otro edificio o parte de este:				
Sin sistema de rociadores automáticos	Hasta 18	20000	20000	18
	Mayor a 18	4000	N/A	N/A
Con sistema de rociadores automáticos	Hasta 18	40000	Sin límite	Sin límite
	Mayor a 18	8000		

Por último, la sección 8 dice que las puertas instaladas en muros de compartimentación deben cumplir con lo descrito en el apéndice B.

En el apéndice B del Approved Document B se aborda los requerimientos que deben cumplir las puertas de fuego según su ubicación. Las puertas resistentes al fuego pueden ser ensayadas y clasificadas según las normas inglesas o las normas europeas.

Las normas inglesas para el ensayo de fuego y clasificación de las puertas son la BS 476-20 y BS 476-22, y para el ensayo de filtración de humo es la BS 476-31. En cambio, las normas europeas para el ensayo de fuego de las puertas son la EN 1363-1 y EN 1634-1, para la clasificación la EN 13501-2 y para el ensayo de filtración de humo es la EN 1634-3. Las normas europeas del ensayo de fuego y clasificación para las puertas de fuego fueron estudiadas en el capítulo 4.2 de la memoria, que son las que se utilizan en España.

Además el apéndice B plantea una serie de requerimientos que las puertas de fuego deben cumplir, los cuales son:

- Para cualquier norma que se utilice para ensayar las puertas de fuego se exige que se ensayen ambos lados de la puerta.
- Todas las puertas de fuego deben tener equipado un sistema de cierre automático, excepto las utilizadas en armarios y ductos de servicio.
- Dos puertas pueden proteger una misma abertura resultando la suma de las resistencias al fuego de cada una.
- Una puerta de fuego no puede ocupar más del 25% del largo de la pared en la que se encuentra, a menos que dicha puerta sea ensayada según los criterios de integridad y aislamiento.
- A menos que muestren un desempeño satisfactorio en los ensayos, las bisagras de las que se sostienen las puertas de fuego deben ser de un material con un punto de fusión de 800°C.

A continuación se presenta una tabla que contiene las resistencias y características necesarias que deben tener las puertas de fuego según el apéndice B:

Tabla 4-13: Requerimientos puertas resistentes al fuego (Fire Safety Document B)

Posición de la puerta	Mínima resistencia al fuego para puertas en términos de integridad (minutos) según ensayo de BS 476-22	Mínima resistencia al fuego para puertas en términos de integridad (minutos) según ensayo de estándar europeo relevante ⁽¹⁾
1. En muros de compartimentación separando edificios	La resistencia del muro donde se encuentra la puerta, pero mínimo de 60	La resistencia del muro donde se encuentra la puerta, pero mínimo de 60
2. En muros de compartimentación:		
a. Si separa un departamento de un espacio de uso común;	FD 30S ⁽²⁾	E30 S _a ⁽²⁾
b. Cerrando un shaft protegido formando una escalera situada completa o parcialmente encima del suelo contiguo de un edificio utilizado con propósito de residencia, recreación, asamblea u oficina.	FD 30S ⁽²⁾	E30 S _a ⁽²⁾
c. cerrando un shaft protegido formando una escalera no descrita en (b);	Mitad del periodo de resistencia al fuego del muro en que se sitúa, pero mínimo de 30 y sufijo a S ⁽²⁾	Mitad del periodo de resistencia al fuego del muro en que se sitúa, pero mínimo de 30 y sufijo a S _a ⁽²⁾
d. cerrando un shaft protegido formando un ascensor o un shaft de servicio;	Mitad del periodo de resistencia al fuego del muro en que se sitúa, pero mínimo de 30	Mitad del periodo de resistencia al fuego del muro en que se sitúa, pero mínimo de 30
e. no descrito en (a), (b), (c) o (d).	Periodo de resistencia al fuego del muro en que se sitúa, pero agregar S ⁽²⁾ si la puerta es utilizada para evacuación horizontal	Periodo de resistencia al fuego del muro en que se sitúa, pero agregar S _a ⁽²⁾ si la puerta es utilizada para evacuación horizontal
3. En un piso compartimentado	Periodo de resistencia al fuego del suelo donde está instalada	Periodo de resistencia al fuego del suelo donde está instalada
4. Formado parte del cerramiento de:		
a. una escalera protegida (a excepción de lo descrito en el ítem 9.); o	FD 30S ⁽²⁾	E30 S _a ⁽²⁾
b. shaft de ascensor que no forma parte de un shaft protegido en 2(b), (c) o (d).	FD 30	E30
5. Formado parte del cerramiento de:		
a. un lobby o corredor protegido hacia una escalera;	FD 30S ⁽²⁾	E30 S _a ⁽²⁾
b. cualquier otro corredor protegido;	FD 20S ⁽²⁾	E20 S _a ⁽²⁾
c. un lobby protegido hacia un shaft de ascensor	FD 30S ⁽²⁾	E30 S _a ⁽²⁾
6. Proporcionando un acceso a una ruta de escape externa	FD 30	E30
7. Subdividiendo:		
a. corredores que conectan salidas alternativas;	FD 20S ⁽²⁾	E20 S _a ⁽²⁾
b. porciones sin salida de corredores del remanente de un corredor	FD 20S ⁽²⁾	E20 S _a ⁽²⁾
8. Cualquier puerta dentro de una barrera de cavidades	FD 30	E30
9. Cualquier puerta que forma parte del cerramiento de un hall de entrada protegido o el descanso de una escalera protegida;	FD 20	E20
10. Cualquier puerta que forma parte del cerramiento		
a. de un espacio de riego especial al	FD 30	E30

fuego		
b. de alojamientos auxiliares de hogares de cuidado	FD 30	E30

Notas:

1. La clasificación nacional de Inglaterra no equivale automáticamente a la clasificación europea, por lo tanto los productos no pueden asumir la clasificación europea sin haber sido ensayados de forma correspondiente.
2. A menos que se usen técnicas de presurización sujetas a BS EN 12101-6:2005 Smoke and heat control systems – Part 6: Specification for pressure differential systems – Kits, estas puertas deben:
 - (a) tener una tasa de fuga inferior a 3 [m³/h/m] (solo jambas y dintel) cuando es ensayado a 25 [Pa] bajo la norma *BS 476 Fire test son building materials and structures, Section 31.1 Methods for measuring smoke penetration through doorsets and shutter assemblies, Method of measurement under ambient temperature conditions*; o
 - (b) cumplir los requerimientos adicionales de la clasificación S_a cuando es ensayada bajo la norma *BS EN 1634-3:2004 Fire resistance tests for doors and shutter assemblies, Part 3 – Smoke control doors*.

4.3.2 Normas BS 476-20 y BS 476-22

La norma BS 476-22 contiene el protocolo necesario para poder ensayar las puertas resistentes al fuego y debe ser utilizada en conjunto con la norma BS 476-20, que contiene los principios generales del ensayo de fuego. El ensayo consiste en exponer, mediante el uso de un horno, la puerta a presión y temperaturas definidas durante la duración del ensayo, mientras se realizan una serie de pruebas.

La temperatura del horno durante el ensayo debe estar regida por la siguiente ecuación:

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20 \quad 4.6$$

T : Temperatura promedio del horno [°C].

t : Tiempo en minutos y con un máximo de 360 [min].

Graficando la ecuación 4.5, se obtiene:

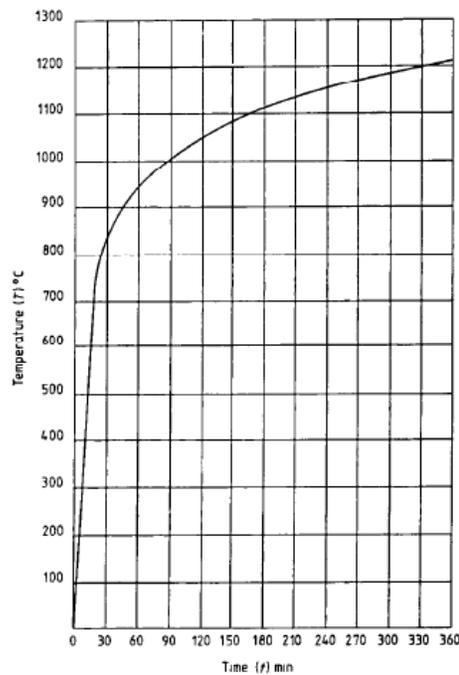


Figura 4-7: Curva temperatura/tiempo del horno ensayo de fuego (BS 476-20).

Para el cálculo de la desviación estándar de la temperatura durante el ensayo, los intervalos de tiempos a utilizar deben ser los siguientes:

Tabla 4-14: Intervalos de tiempo para desviación estándar (BS 476-20).

Rango de tiempo [min]	Intervalo de tiempo [min]
0-10	1
10-30	2
30-120	5
120-360	10

La desviación estándar de la curva temperatura promedio/tiempo de debe calcular mediante la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{A - B}{B} \cdot 100 \quad 4.7$$

ρ : Desviación estándar curva temperatura/tiempo horno [%].

A : Área bajo la curva de temperatura promedio/tiempo del horno.

B : Área bajo la curva de descrita por la ecuación 4.5.

En los primeros 10 [min] del ensayo, la desviación estándar debe ser menor a 15%. Luego entre los 10 y 30 [min] del ensayo debe ser menor a 10% y después de los 30 [min] debe ser menor a 5%.

Después de los primeros 10 [min] del ensayo, cualquier termopar utilizado para medir la temperatura promedio del horno, no debe superar en 100°C a la curva temperatura/tiempo de la ecuación 4.5.

Durante el ensayo, la muestra debe estar sometida a una presión positiva con un eje neutro ubicado a 1 [m] sobre el piso del horno, con un gradiente lineal de 8,5/1000 [Pa/mm] y una precisión de ± 2 [Pa]. La presión en la parte superior de la muestra no debe superar los 20 [Pa] durante el ensayo.

A 30 [min] antes de iniciar el ensayo, la cara no expuesta de la muestra debe estar en un rango de 5°C de la temperatura ambiental, la cual debe estar entre 5°C y 35°C. Durante el ensayo, la temperatura ambiental no debe aumentar en más de 5°C.

La norma BS 476-22 separa el ensayo según el tipo de uso que se le aplicará a la puerta, lo cual determinará el criterio de falla de la puerta durante el ensayo. Las categorías son:

1) Puerta completamente aislada:

Puerta diseñada de tal manera que permite el ingreso de personas u objetos durante la operación normal, y resistir la exposición al fuego de cualquiera de sus caras mientras permanece cerrada.

La puerta debe ser ensayada en ambas caras, a menos de que sea simétrica, o se reconozca su lado más débil o que solo estará expuesta al fuego en solo una de sus caras.

Para la medición de la temperatura media del horno, se deben instalar 1 termopar por cada 1.5 [m²] de la probeta, y si está tiene menos de 6 [m²], deben instalarse a lo menos 4 termopares mediante una distribución uniforme, y a una distancia mínima de 500 [mm] de cualquier pared del horno.

Para la medición de presión dentro del horno se debe instalar a lo menos un sensor de presión.

La medición de la temperatura de la cara no expuesta debe ser realizada mediante termopares ubicados en las siguientes posiciones:

- En el centro de la puerta y en el centro de cada cuarto de sección.
- En refuerzos o lugares que puedan presentar temperaturas mayores que el promedio y alejados de los bordes de la hoja por 50 [mm] como mínimo.
- En el punto medio de cada jamba y en el centro del dintel.

Durante el ensayo, la falla del criterio de integridad ocurrirá cuando:

- Presencia sostenida de flamas en la cara no expuesta.
- Combustión de almohadilla de algodón al ser expuesta a aberturas de la cara no expuesta.
- Penetración de galga de 6 [mm] a la cara no expuesta y puede recorrer a lo menos 150 [mm]
- Penetración completa de galga de 25 [mm] a la cara no expuesta.

Durante el ensayo, la falla del criterio de aislación ocurrirá cuando:

- La temperatura media de la cara no expuesta aumenta en más de 140°C de su temperatura inicial.

- Cualquier termopar, de la cara no expuesta, registra una temperatura mayor a 180°C de la temperatura promedio inicial de aquella cara.

2) Puerta parcialmente aislada:

Puerta diseñada de tal manera que permite el ingreso de personas u objetos durante la operación normal, y resistir la exposición al fuego de uno o cualquiera de sus caras mientras permanece cerrada.

El procedimiento del ensayo es igual al descrito para puertas aisladas con la excepción de que el uso de la almohadilla de algodón está restringido a solo los materiales aislantes. Como ejemplo no se debe utilizar la almohadilla de algodón en vidrios de las puertas.

3) Puerta no aislada:

Puerta diseñada de tal manera que permite el ingreso de personas u objetos durante la operación normal, y resistir la exposición al fuego de cualquiera de sus caras mientras permanece cerrada. No están diseñadas para cumplir el criterio de aislamiento.

El procedimiento del ensayo es igual al descrito para puertas aisladas con la excepción de que no se evalúa el criterio de aislación.

4.3.3 Norma BS 476-31

Esta norma describe el método para ensayar la tasa de filtración de humo a través de una puerta a temperatura ambiente.

El equipo que se utiliza para este ensayo consiste en una cámara de filtración de aire con una abertura que permite la instalación de la puerta, o la instalación de una sub-cámara, y es capaz de generar diferencias de presión entre ambas caras del espécimen.

La cámara de filtración, con la sub-cámara instalada y sellada, debe ser capaz de generar una filtración de aire máxima de 7 [m³/h], o 0,25 [m³/h] por metro de cualquier perímetro de sello, a una presión de 50 [Pa] por sobre la presión ambiental. Además debe estar equipada con un sistema de ventiladores que permita generar una diferencia de presión de hasta 100 [Pa] entre las caras del espécimen.

Para medir la filtración de aire de la cámara, los equipos de medición a utilizar deben tener una precisión de $\pm 5\%$.

Otros instrumentos de medición que se deben utilizar son un barómetro de $\pm 1\%$ de precisión, medidores de presión estática para un rango entre 5 y 100 [Pa] con una precisión de $\pm 10\%$ con un valor máximo de ± 5 [Pa], termómetros para medir la temperatura ambiental con una precisión de 1°C y un hidrómetro para medir la humedad relativa del aire con una precisión de $\pm 5\%$.

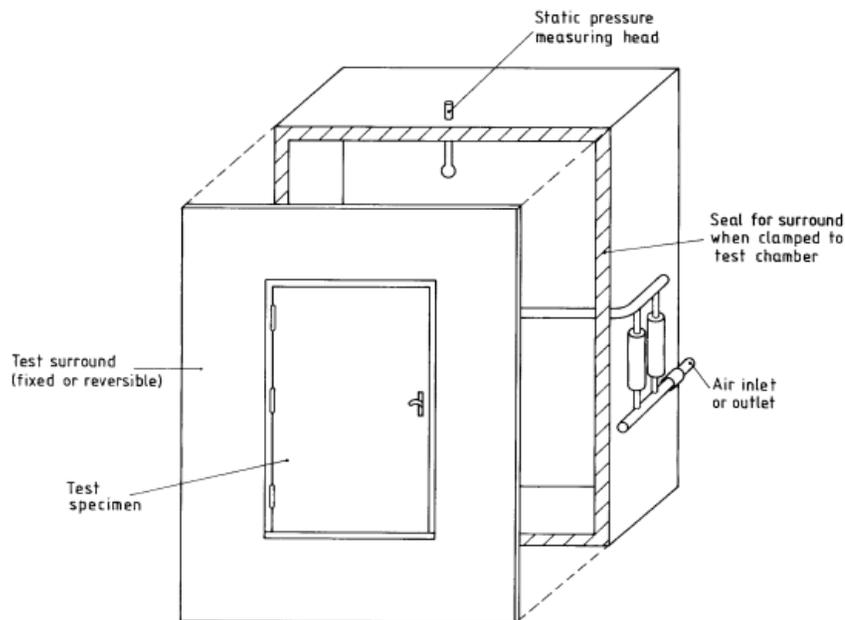


Figura 4-8: Ejemplo de una cámara de filtración de aire con sub-cámara (BS 476-31).

El ensayo debe realizarse en ambas caras del espécimen, pudiendo revertir el flujo del aire o dando vuelta la puerta.

Las condiciones del ensayo deben ser a temperatura ambiental ($25\pm 15^{\circ}\text{C}$) y a una humedad relativa de $55\pm 10\%$.

Se debe instalar la puerta en la cámara como se pretende instalar en la realidad y se deben sellar cualquier junta o abertura de ésta. Una vez instalada, se debe equipar a la puerta con los sensores de presión, a una distancia de 100 ± 10 [mm] de los bordes en el eje vertical de la puerta, uno en la parte superior y otro en la inferior. Por último, antes de iniciar el ensayo, se debe abrir y cerrar la puerta 10 veces.

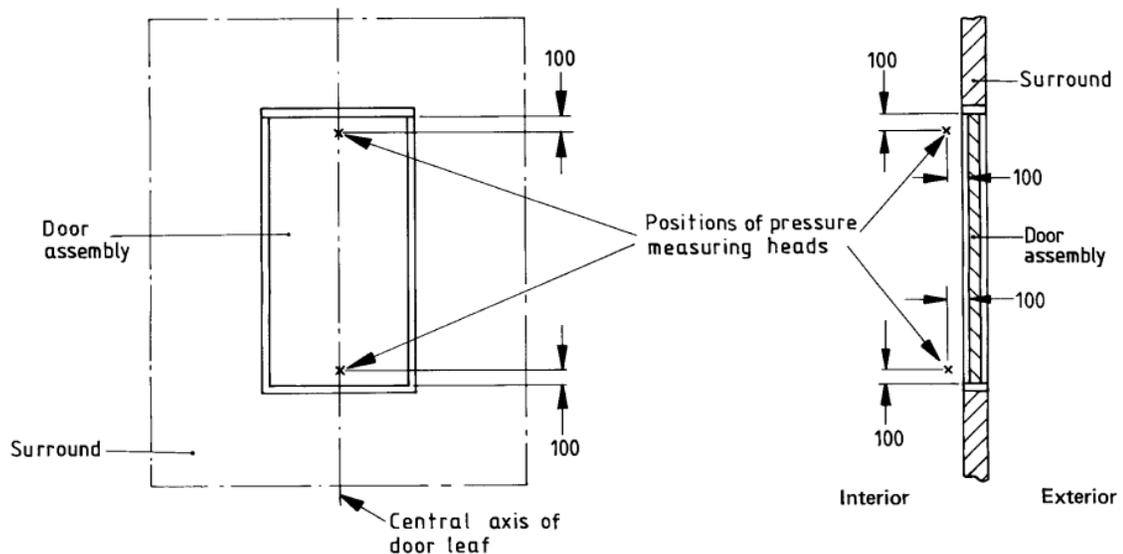


Figura 4-9: Posición de medidores de presión al interior de la cámara (BS 476-31).

Antes y después de cada ensayo para distintas presiones, se debe sellar todas las juntas y aberturas de la puerta y medir la tasa de filtración de aire de la cámara y registrarlas.

Una vez comprobado que la tasa de filtración de aire de la cámara es menor a 7 [m^3/h] a 50 [Pa] por sobre la presión ambiental, se deben retirar los sellos de la puerta y realizar el siguiente procedimiento:

- 1) Medir la presión barométrica (P_a), la temperatura (T_a) y la humedad relativa (M_w) del aire del laboratorio.
- 2) Iniciar el funcionamiento del sistema de ventiladores
- 3) Establecer la diferencia de presión requerida, con una precisión de ± 2 [Pa], en los dos medidores de presión de la cámara.
- 4) Una vez que las condiciones han sido establecidas por 3 [min], se mide y registra la tasa de fuga de aire que pasa a través del espécimen por cada sensor de presión.

Las diferencias de presión en las que se debe ensayar la puerta son de 5, 10, 25 y 50 [Pa]. Luego a la máxima diferencia de presión que se requiera y después de nueva a 5 [Pa]. Por último se vuelve a ensayar a la máxima diferencia de presión.

Para cada diferencia de presión, se debe calcular el promedio de las lecturas de los dos sensores de presión y ajustarlas para valores de referencia de temperatura (20°C) y presión atmosférica (1 atm). Esto se hace para las mediciones de tasa de fuga de la cámara y de la puerta no sellada. La ecuación para realizar esto es la siguiente:

$$Q = Q_a \cdot \frac{(P_a + \Delta p)}{101325} \cdot \frac{293,15}{(T_a + 273,15)} \cdot \left[1 - \left(0,3795 \cdot \frac{M_w}{100} \cdot \frac{E_s}{P_a + \Delta p} \right) \right] \quad 4.8$$

Q : Tasa de fuga de aire ajustada [m^3/h].

Q_a : Tasa de fuga de aire medida [m^3/h].

Δp : Incremento de presión [Pa].

P_a : Presión barométrica [Pa].

T_a : Temperatura del aire [°C].

M_w : Humedad relativa [%].

E_s : Presión de vapor de agua saturada [Pa].

Para calcular la tasa de fuga de aire ajustada del espécimen se debe restar a la tasa de fuga de aire ajustada total la tasa de fuga de aire ajustada de la cámara.

4.3.4 Norma BS EN 1634-3

Esta norma contiene un método para determinar las fugas de humo frío y caliente desde un lado del conjunto de puerta a otro.

Para describir el ensayo primero se requiere definir algunos términos y simbologías, que son los siguientes:

- **Temperatura ambiente:** temperatura del aire a $20 \pm 10^\circ\text{C}$.
- **Temperatura intermedia:** temperatura del aire a $200 \pm 20^\circ\text{C}$.
- **Fuga de humo S_a :** Tasa de fuga máxima medida a temperatura ambiente, a una presión máxima de 25 [Pa] y no excede los 3 [m^3/h] por metro de longitud del espacio de separación entre los componentes fijos y móviles de la puerta (ej: entre la hoja y el marco de la puerta), con exclusión de las fugas en el umbral.
- **Fuga de humo S_m :** Tasa de fuga máxima medida a temperatura ambiente e intermedia, a una presión máxima de 50 [Pa], y no excede los 20 [m^3/h] para puertas simples y 30 [m^3/h] para puertas dobles, por metro de longitud del espacio de separación entre los componentes fijos y móviles de la puerta.
- **Construcción asociada:** Forma de construcción en la que se monta la muestra y que es idéntica a la que se instala en la práctica con esa puerta o elemento de cierre.
- **Construcción soporte:** Forma de construcción con la adecuada rigidez y resistencia que se utiliza para soportar la muestra y para rellenar la diferencia existente entre el tamaño de la muestra y la abertura del marco de ensayo de forma impermeable.
- **Relación geométrica:** Relación fija entre la anchura dividida por la altura de un componente de construcción que posea cuatro lados.
- **Caudal de fuga en la muestra Q_{spec} :** Fuga entre la muestra y el sellado, entre ésta y el marco o cualquier construcción de soporte/asociada utilizada.
- **Caudal de fuga lineal de la muestra Q_l :** Caudal de fuga a través de la muestra y el sellado intermedio y el marco o cualquier construcción de soporte/asociada utilizada, excluyendo cualquier fuga en el umbral, expresado en términos de pérdidas por metro lineal del perímetro que determina el marco de la puerta cuando se excluye la longitud del umbral.
- **Q:** Caudal de fuga.
- **Q_{app} :** Caudal de fuga del equipo.
- **$Q_{\text{sup/sop}}$:** Caudal de fuga de la construcción soporte/asociada.
- **Q_t :** Caudal de fuga total.

El equipo necesario para el ensayo consiste en una cámara con el frontal abierto, donde se monta la muestra para crear un recinto cerrado. Para crear la presión diferencial se utiliza un sistema de ventilación. En la evaluación de S_m se requiere un sistema de calentamiento.

La medida de la temperatura del aire debe ser realizada con termopares metálicos sin vaina de recubrimiento. Para la evaluación de fugas S_a el equipo debe ser capaz de medir temperaturas de hasta 50°C con una exactitud de $\pm 4^\circ\text{C}$, en cambio para fugas S_m el equipo debe ser capaz de medir temperaturas de hasta 250°C con una exactitud de $\pm 5^\circ\text{C}$.

La presión estática debe medirse de forma de conocer la diferencia entre la presión entre el interior y exterior de la cámara de ensayo con una exactitud del 10% del valor medio.

Se requiere un equipo que mida Q_t y la temperatura del aire suministrado y extraído del equipo para compensar la fuga total, capaz de medir fugas de hasta 55 $[\text{m}^3/\text{h}]$ con una precisión de 1 $[\text{m}^3/\text{h}]$.

Las condiciones del ensayo deben ser:

- El sistema de ventilación debe ser capaz de crear una presión diferencial de al menos 55 [Pa].
- Para determinar fugas S_m , se debe calentar el aire hasta una temperatura de $200 \pm 20^\circ\text{C}$.
- El caudal de fuga del aparato del ensayo junto con el caudal de fuga de la construcción soporte o asociada ($Q_{\text{app}} + Q_{\text{sup/asoc}}$) no debe ser superior a 10 $[\text{m}^3/\text{h}]$ a 50 [Pa] y a temperatura ambiente

Los números de ensayos que se deben realizar se plantean en la siguiente tabla:

Tabla 4-15: Número de ensayos de humo según aplicación de la puerta (EN 1634-3)

Aplicación	Temperatura	Número de ensayos
General	Ambiente	Un ensayo en cada cara: puede utilizarse la misma puerta ya sea dándola vuelta o creando una depresión en la cámara de ensayo
General	Intermedia	Un ensayo en cada cara: se necesitan muestras distintas en cada ensayo
Especial	Ambiental/Intermedia	Un solo ensayo por la cara elegida

Para la clasificación S_a (temperatura ambiente) se deben emplear dos termopares que deben instalarse de forma equidistante a lo largo de la cámara y en el punto medio de la altura de la muestra.

Para la clasificación S_m (temperatura ambiente e intermedia) se deben emplear 9 termopares que deben disponerse en tres filas horizontales. Deben emplazarse de

forma equidistante a lo largo de la cámara, tres de ellos deben estar a 150 [mm] de la parte inferior de la abertura del marco de ensayo, tres en el centro y tres a 3/4 de la altura.

El dispositivo de medición de presión debe instalarse en el centro de la muestra a 100 ± 50 [mm] de la cara interna de la muestra.

Previo a la realización del ensayo, cada hoja de la puerta debe abrirse y cerrarse 10 veces hasta un ángulo de 30° . También la puerta debe sellarse completamente en sus holguras y aberturas para la medición de Q_{app} y $Q_{sup/asoc}$, y luego retirarse para la medición de Q_t . En el caso de del cálculo de S_a el umbral de la puerta debe sellarse firmemente utilizando un material impermeable o un sellado por fusión.

El ensayo debe realizarse según la siguiente secuencia:

- a) Se determina el caudal de fuga a través de la cámara de ensayo y cualquier construcción soporte o asociada a temperatura ambiente, es decir $Q_{app}^{(20)} + Q_{sup/asoc}^{(20)}$
- b) Se determina el caudal de fuga total a temperatura ambiente $Q_t^{(20)}$
- c) Se determina el caudal de fuga total a temperatura intermedia $Q_t^{(200)}$
- d) Se determina el caudal de fuga a través del equipo y cualquier construcción de soporte o asociada a la temperatura intermedia, es decir $Q_{app}^{(200)} + Q_{sup/asoc}^{(200)}$

Para determinar S_a solo será necesario realizar a) y b).

- **El procedimiento de fuga para la clasificación S_a a temperatura ambiente:**

El caudal de fuga a través del material de ensayo debe medirse a una diferencia de presión de 10 y 25 [Pa], o para aplicaciones especiales, a las diferencia de presión que especifique el solicitante. Durante la medición del caudal de fuga, la diferencia de presión debe mantenerse durante 2 [min] y el valor Q_t se establece al final del periodo empleando la siguiente ecuación:

$$Q_{spec} = Q_t^{(20)} - (Q_{app}^{(20)} + Q_{sup/asoc}^{(20)}) \quad \mathbf{4.9}$$

Debe medirse y registrarse la longitud del hueco entre los componentes fijos y móviles de la puerta (por ejemplo, entre la hoja de la puerta y el marco, así como entre los elementos móviles, cuando proceda) pero excluyendo la longitud del hueco del umbral.

- **El procedimiento de fuga para la clasificación S_m a temperatura ambiente e intermedia:**

En el ensayo a la temperatura intermedia, la temperatura promedio del aire cercano a la cara expuesta de la puerta debe elevarse desde la temperatura ambiente hasta $200 \pm 20^\circ\text{C}$ en unos 30 ± 5 [min] de tal forma que la temperatura media del aire pueda mantenerse dentro de los límites que se muestran en la figura 4-6. La distribución de temperatura sobre la cara de la puerta debe controlarse a $200 \pm 40^\circ\text{C}$, medidas por cada termopar. Durante el periodo de calentamiento debe mantenerse una presión neutra dentro de la cámara de ensayo.

El caudal de fuga de aire a través de la muestra debe medirse a una diferencia de presión de 10, 25 y 50 [Pa] o a la especificada por el solicitante, para las aplicaciones especiales. Estas medidas deben tomarse antes de que hayan transcurrido 10 [min] desde el momento en que se alcance la temperatura del ensayo. Durante la toma de medidas de caudal de fuga de aire, la presión diferencial debe mantenerse durante 2 [min] y el valor Q_t se obtendrá al final del periodo mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{spec} = Q_t^{(200)} - (Q_{app}^{(200)} + Q_{sup/asoc}^{(200)}) \quad \mathbf{4.10}$$

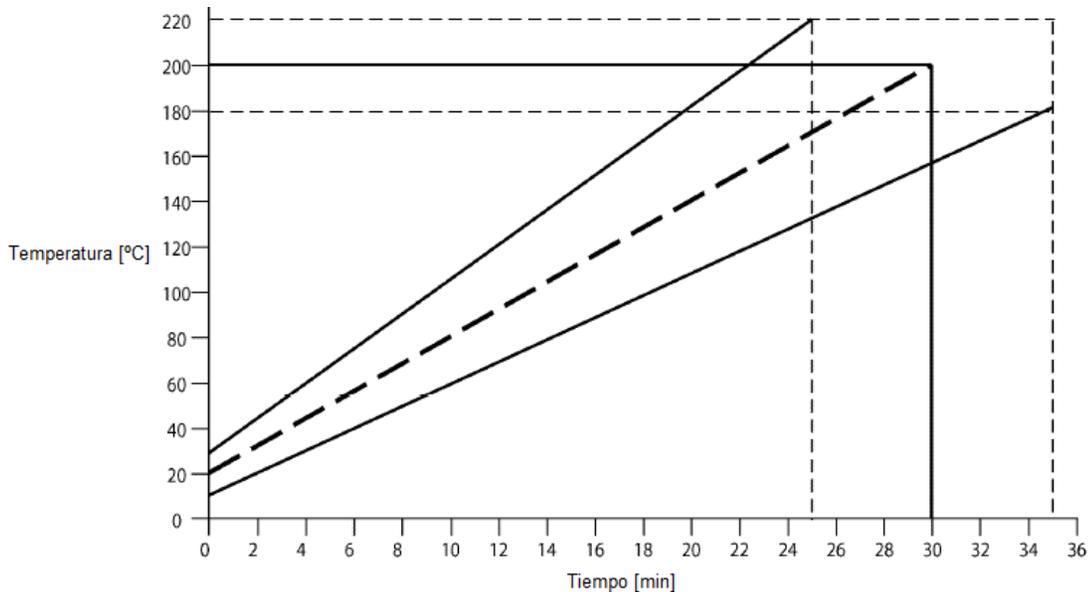


Figura 4-10: Ensayo fuga de aire: velocidad de incremento de temperatura y límites permitidos (BS EN 1634-3).

Una vez conocido el caudal de la muestra, se puede calcular el caudal de fuga lineal utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_l = Q_{spec} / \text{"longitud del hueco"} \quad \mathbf{4.11}$$

Conociendo el caudal de fuga lineal de la muestra se puede clasificar la muestra de fuga de humo S_a o S_m según corresponda.

4.4 Análisis Comparativo Entre Países

En esta sección se presentará una serie de comparaciones de distintos parámetros de los países estudiados, de tal forma de poder visualizar las diferencias en las exigencias de las puertas resistentes al fuego, humo y compartimentación utilizada en edificios.

El primer criterio de comparación es la compartimentación que requieren los países. A continuación se presenta una tabla que contiene un resumen de los requerimientos en este ámbito según cada país.

Tabla 4-16: Tabla comparativa de compartimentación de fuego y humo entre países.

Países	Compartimentación de fuego	Compartimentación de humo
Chile	Opcional	No requerida
Estados Unidos	Obligatoria, depende del uso, área y contenido del lugar.	Requerida en edificios de uso médico, cárceles y subterráneos.
España	Obligatoria, depende del uso, área y contenido del lugar.	No requerida
Inglaterra	Obligatoria, depende del uso, área y sistema de rociadores.	No requerida

En el caso de Chile, la compartimentación de fuego es opcional y ésta permite disminuir el área utilizada para las tabla 3-2, 3-3 y 3-4, lo cual puede generar una disminución de la exigencia de la resistencia al fuego de los elementos constructivos, dado que se podría cambiar el tipo de estructura. En lo que respecta a la compartimentación de humo, Chile no aborda el tema.

Para el caso de Estados Unidos, los requerimientos de compartimentación de fuego y humo se abordan para cada tipo de estructura. Con respecto a la compartimentación de humos, Estados Unidos es el único país que la exige, y solo para las estructuras de uso médico, cárceles y subterráneos.

Luego en el caso de España, la compartimentación de fuego se aborda en detalle, lo que se aprecia en la tabla 4-6. Existen exigencias generales y particulares según el tipo de estructura. En lo que respecta a la compartimentación de humo, no se aborda el tema.

Por último, en el caso de Inglaterra, la compartimentación de fuego se aborda con un grado de detalle medio. Se puede apreciar de la tabla 4-12, que un factor que afecta de forma importante el área del compartimento es la existencia de un sistema de rociadores. El tema de la compartimentación de humo no se aborda.

El siguiente criterio de comparación son los requerimientos de cada país de las puertas de fuego y humo utilizadas en los edificios. La tabla 4-17 presenta los requerimientos:

Tabla 4-17: Tabla comparativa requerimientos de puertas de fuego y humo entre países.

Países	Instalación de puertas de fuego	Instalación de puertas de humo	Instalación de mecanismo de cierre automático
Chile	Se exige y su resistencia varía entre 30 o 60 [min] según el caso	No requerido	Requerido
Estados Unidos	Se exige y su resistencia depende de la resistencia al fuego del muro en que se encuentra y varía entre los 20 y 180 [min].	Se exige en particiones de humo, cumpliendo con una tasa de filtración menor a 54,86 [m ³ /h/m ²] a 25 [Pa].	Requerido
España	Se exige y su resistencia depende de la resistencia al fuego del muro en que se encuentra y varía entre los 15 y 90 [min].	No requerido	Requerido
Inglaterra	Se exige y su resistencia depende de la resistencia al fuego del muro en que se encuentra y varía entre los 20 y 120 [min].	Se exige según su ubicación, cumpliendo con una tasa de filtración menor a 3 [m ³ /h/m] a 25 [Pa].	Requerido

En la tabla 4-17 se distingue que en todos los países, excepto el caso de Chile, la resistencia al fuego de las puertas depende de la resistencia al fuego del muro en la que se encuentran. Esto se aprecia en las tablas 4-1, 4-7 y 4-13. Por otro lado, solo Estados Unidos e Inglaterra exigen instalación de puertas de humo, a las cuales se les exige distintas tasas de filtración a distintas temperaturas según cada caso.

En la tabla 4-18, se aprecia que tipo de ensayos se le solicitan a las para puertas resistentes al fuego y humo para cada país:

Tabla 4-18: Tabla comparativa de ensayos exigidos puertas de fuego y humo según cada país.

Países	Ensayo de integridad	Ensayo de aislamiento	Ensayo filtración de aire	Ensayo chorro de agua
Chile	Requerido	Requerido	No requerido	No requerido
Estados Unidos	Requerido	No requerido	Requerido	Requerido
España	Requerido	Requerido	No requerido	No requerido
Inglaterra	Requerido	No requerido	Requerido	No requerido

La tabla 4-18 muestra que el único ensayo exigido que tienen en común todos los países es el de integridad, y Estados Unidos es el único país que requiere del ensayo de chorro de agua, el cual es un ensayo especial que mide la integridad de las puertas.

Los siguientes criterios de comparación tienen relación con las exigencias de los ensayos de resistencia al fuego de las puertas de fuego utilizadas en cada país.

A continuación se presentan los programas térmicos y curvas tiempo-temperatura al cual se exponen, en los ensayos de fuego, las puertas utilizadas en los edificios según cada país.

Tabla 4-19: Programa térmico ensayo puertas de fuego según países.

Tiempo del ensayo [min]	Temperatura media interior horno [°C] (Chile, España e Inglaterra)	Temperatura media interior horno [°C] (Estados Unidos)
0	20	20
5	576	538
10	678	704
15	739	760
20	781	795
25	815	821
30	842	843
35	865	862
40	885	878
45	902	892
50	918	905
55	932	916
60	945	927
65	957	937
70	968	946
75	979	955

80	988	963
85	997	971
90	1006	978
95	1014	985
100	1022	991
105	1029	996
110	1036	1001
115	1043	1006
120	1049	1010

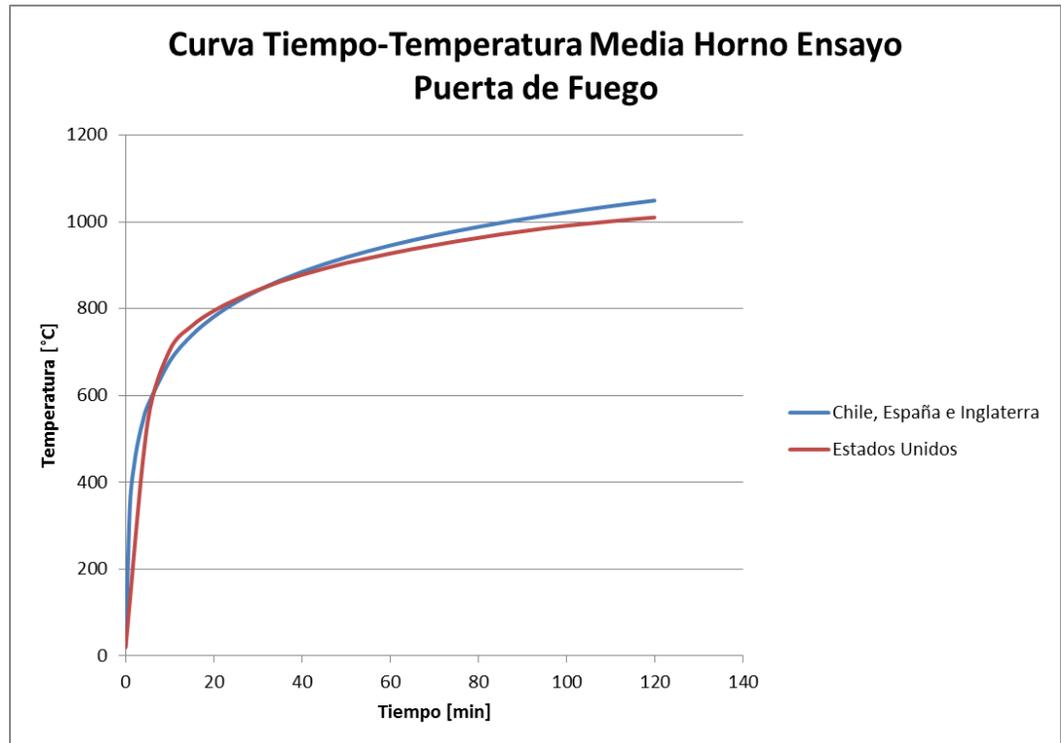


Figura 4-11: Curva tiempo-temperatura media interior horno ensayo puerta de fuego según países.

Tanto en la tabla 4-19 como en la figura 4-11 se visualiza que la temperatura media al interior del horno, exigida para Chile, España e Inglaterra es mayor a la de Estados Unidos, excepto en el rango de tiempo de 10-30 [min].

Al comparar la desviación estándar del área bajo la curva de la temperatura media al interior del horno de los ensayos de puertas de fuego, requeridas por cada país, se obtiene lo siguiente:

Tabla 4-20: Comparación desviación estándar área bajo la curva de temperatura media al interior del horno para el ensayo de puerta de fuego.

Tiempo de ensayo [min]	Desviación Estándar Área Temperatura Media Ensayo Puerta de Fuego [%]				
	Chile	Estados Unidos	España	Inglaterra (según normas BS)	Inglaterra (según normas EN)
10	15	15	15	15	15
30	10	5	5	10	5
45	5	3,8	3,8	5	3,8
60	5	2,5	2,5	5	2,5

Se aprecia que Chile tiene la desviación estándar menos exigente de los países estudiados (junto a Inglaterra si se utilizan las normas BS), y ésta es aproximadamente el doble del estándar internacional.

El número de termopares requeridos para medir la temperatura media al interior del horno, y la temperatura media y máxima de la cara no expuesta de la puerta según cada país, son los siguientes:

Tabla 4-21: Número mínimo de termopares para medir temperatura del horno, temperatura media y máxima cara no expuesta en ensayo de puertas de fuego.

Países	Número mínimo de termopares al interior del horno para medir temperatura	Número mínimo de termopares para medir temperatura media cara no expuesta	Número mínimo de termopares para medir temperatura máxima cara no expuesta
Chile	5	5	5
Estados Unidos	9	3	3
España	4	5	15
Inglaterra (según normas BS)	4	8	8
Inglaterra (según normas EN)	4	5	15

La tabla 4-21 muestra que Estados Unidos es el país que requiere mayor cantidad de termopares para medir la temperatura dentro del horno, pero requiere un número bajo para medir la temperatura de la cara no expuesta, lo cual se condice con que este país no mide la aislación para sus puertas de fuego. En cambio España es el país que requiere mayor cantidad de termopares para medir la temperatura máxima de

la cara no expuesta de la puerta (junto a Inglaterra si se utilizan las normas EN). En el caso de Chile, se aprecia que para las tres categorías, el número de termopares solicitado es de nivel medio en comparación de los otros países.

Las especificaciones de la presión dentro del horno y el número mínimo de sensores para medirla, del ensayo de fuego para las puertas según cada país se visualizan en la siguiente tabla:

Tabla 4-22: Especificaciones de presión y número de sensores dentro del horno ensayo de puerta de fuego según cada país.

Países	Tipo de presión	Presión dentro del horno	Número mínimo de sensores
Chile	Positiva	10 [Pa] y plano neutro ubicado a 1/3 de la altura de la puerta	3
Estados Unidos	Positiva o Negativa	Presión Positiva: Plano neutro ubicado a una altura de 1016 [mm] Presión Negativa: Plano neutro ubicado a una altura de 152 [mm] por sobre el dintel.	2
España	Positiva	8,5 [Pa/m] y plano neutro ubicado a 500 [mm] por sobre el suelo	2
Inglaterra (según normas BS)	Positiva	8,5 [Pa/m] y plano neutro ubicado a 1 [m] por sobre el suelo	1
Inglaterra (según normas EN)	Positiva	8,5 [Pa/m] y plano neutro ubicado a 500 [mm] por sobre el suelo	2

De la tabla 4-22 se aprecia que Estados Unidos es el único país que no especifica una presión y además permite realizar el ensayo de fuego para las puertas mediante el uso de una presión negativa. También se observa que Chile es el país que exige la mayor cantidad de sensores de presión y la mayor presión dentro del horno.

Por último, se comparan las exigencias de los ensayos para las puertas de humo según cada país:

Tabla 4-23: Requerimientos ensayo filtración de aire para puertas de humo según países.

Países	Temperaturas cámara de ensayo	Diferencias de presiones cámara de ensayo	Filtración de aire máxima
Chile	N/A	N/A	N/A
Estados Unidos	24 y 204°C	25 [Pa]	54,86 [m ³ /h/m ²]
España	N/A	N/A	N/A
Inglaterra (según normas BS)	25°C	25 [Pa]	3 [m ³ /h/m]
Inglaterra (según normas EN)	20°C	25 [Pa]	3 [m ³ /h/m]

Se puede distinguir de la tabla 4-23, que la filtración de aire para Estados Unidos se calcula con respecto al área de las aberturas. En cambio en el caso de Inglaterra es con respecto a la longitud de las aberturas. Además Inglaterra exige que la temperatura del ensayo solo sea a temperatura ambiental. En cambio Estado Unidos exige que el ensayo se realice a temperatura ambiental y elevada.

5. TEORÍA SOBRE LA COMPARTIMENTACIÓN DE HUMOS

En este capítulo se explica en términos generales la teoría detrás de la compartimentación de humos utilizadas en edificios. Se responden las preguntas de por qué, cómo, cuándo y dónde se realiza una compartimentación de humos. Además se explica la importancia relativa de la compartimentación en comparación con otros sistemas contra incendios. Por último se exponen las distintas soluciones adoptadas por los países estudiados en lo que respecta al tema.

El primer aspecto que se debe entender es el humo y su importancia en un incendio en un edificio.

La norma NFPA 92A define al humo como:

Partículas sólidas y líquidas transportadas por aire y gases desprendidos cuando un material se somete a pirólisis o combustión, junto con la cantidad de aire arrastrado o mezclado en la masa de productos de la combustión (National Fire Protection Association, 2009).

Basado en esta definición, el humo no es solo un producto de la combustión, también incluye el volumen de aire contaminado por los productos de la combustión. A medida que más aire se mezcla con el humo, debido al arrastre de una columna de fuego, el volumen del humo aumenta y la concentración de los productos de la combustión disminuye. La producción de humo representa un aspecto significativo de los riesgos de un incendio por varias razones, las que incluyen oscurecimiento de la visión, toxicidad de productos de la combustión y daños no-térmico en estructuras, equipos y productos almacenados (Mowrer, 2004).

La experiencia indica que el principal riesgo para las personas en un edificio durante un incendio proviene del humo y gases tóxicos. Aproximadamente 3 de cada 4 muertes relacionadas a incendios en edificios son resultado de la inhalación de humo y gases tóxicos, producidos por el fuego, y no por la exposición a llamas o calor. El principal peligro del humo es que reduce la visibilidad y en consecuencia los ocupantes no pueden identificar las rutas de escape y utilizarlas (Menon & Vakil, 2005).

Hoy en día muchas normas y códigos están basados en un enfoque balanceado de protección contra incendios que consiste en la detección, supresión y protección de los ocupantes. Éste enfoque balanceado tiene como resultado en una fiabilidad de la protección contra incendios bastante superior que cualquier sistema por separado. Aún en edificios equipados completamente con sistema de rociadores automáticos, hay una necesidad de proteger a los ocupantes de la amenaza del humo, y el control de humos

provee esa protección. También el control de humos puede proveer una protección significativa a los bomberos (Klote, Smoke Control In Buildings, 2016).

En el año 2013, John R. Hall Jr, investigador de la National Fire Protection Association, publicó un trabajo titulado *U.S. Experience with Sprinklers*, en el cual concluye que en Estados Unidos el 89% de los sistemas de rociadores automáticos funcionaron correctamente. Con este dato se visualiza que la protección contra incendios no puede basarse únicamente en este tipo de solución, dado que presenta un porcentaje de falla del 11%.

Ya que entiende la relevancia del humo en un incendio, el próximo aspecto a entender son los distintos enfoques que se pueden utilizar para abordar este problema, los cuales son desarrollados en las normas, papers y libros de distintos países como tópico de Control de Humos.

Drysdale (2011) considera que si es necesario prevenir concentraciones letales de humo acumulado en ciertas áreas de un edificio para proteger a sus ocupantes, hay dos enfoques principales que pueden ser adoptados en la etapa de diseño: el humo tiene que ser contenido o extraído. La contención del humo, tema que aborda este capítulo, puede ser alcanzada con el uso de barreras tales como muros, ventanas y puertas, como también cortinas de humo o barreras especialmente diseñadas para el humo. Aberturas de servicios y otros shaft verticales entre los compartimientos deben ser bloqueados contra el humo. La contención también puede alcanzada con el uso de la presurización para proporcionar una presión adecuada para resistir el flujo del humo, o con la creación de un flujo de aire opuesto al del humo. Ambos principios son utilizados en el diseño de escaleras presurizadas.

Tanto el enfoque de contención como el de ventilación pueden ser concretados mediante métodos pasivos y/o activos, los cuales son complementarios. En lo que respecta a la contención de humos, el uso de la compartimentación es una solución pasiva, mientras que la aplicación de la presurización a través de ventiladores es una solución activa.

La compartimentación es el principal método utilizado para la protección pasiva contra el fuego. Consiste en dividir un edificio en una serie de compartimientos, los que se separan entre ellos a través de muros y/o losas resistentes al fuego, así limitando la propagación del fuego y humo a través del edificio, como también a las edificaciones contiguas. La compartimentación permite limitar el tamaño del fuego, lo cual también limita la producción de humo y facilitar la supresión del incendio (Menon & Vakil, 2005). La falta de compartimentación y el rápido desarrollo del fuego han sido factores significantes en incendios con gran cantidad de fallecidos, en especial en viviendas habitacionales. Se ha reportado que en hospitales, el humo que se propaga a través de pisos no subdivididos por barreras de humo, es un factor que contribuye de gran forma

en la pérdida de vidas humanas durante un incendio (National Fire Protection Association, 2009).

También se utiliza la compartimentación como un apoyo de las rutas de escape de un edificio.

Otra razón por la que se utiliza la compartimentación es para generar zonas de seguridad en pisos en los cuales los ocupantes no pueden realizar una evacuación vertical, de tal forma que en caso de un incendio, los ocupantes del piso irán a resguardarse en el compartimento y esperarán a la llegada de bomberos en un lugar seguro. Esto ocurre en hospitales.

Se espera que la resistencia al fuego de las barreras que separa un compartimento con otro sea tal que, resista el consumo del contenido del compartimento, según criterios como los de la integridad y aislación. El tamaño y la relación de los compartimentos deben estar basados en el máximo daño aceptado durante un incendio y el tipo de uso que se le da a la edificación (British Standards Institution, 2008).

En edificios altos que se basan en su mayoría en conceptos de control de humos de forma pasiva, una potencial debilidad se encuentra en los bordes de las losas. Muchos edificios altos están diseñados con sistemas de muros cortina. En el evento en que el control de la transmisión del humo se hace principalmente de forma pasiva, la intersección entre un muro cortina y el perímetro de una losa es un eslabón débil. Es un área que requiere atención durante las etapas de diseño, construcción e inspección. La instalación adecuada de sellador de humo y fuego en este cruce determina si el enfoque pasivo se ha aplicado con éxito y las plantas son verdaderamente resistentes al humo (Society of Fire Protection Engineers, 2012).

La empresa australiana CSR da una solución distinta al problema anteriormente descrito, la cual consiste en instalar una placa de acero galvanizado arriba y debajo de la losa en la zona de contacto con el muro cortina. Luego se sella el contacto entre la placa de acero y el muro-losa. A continuación se presenta un esquema de la solución:

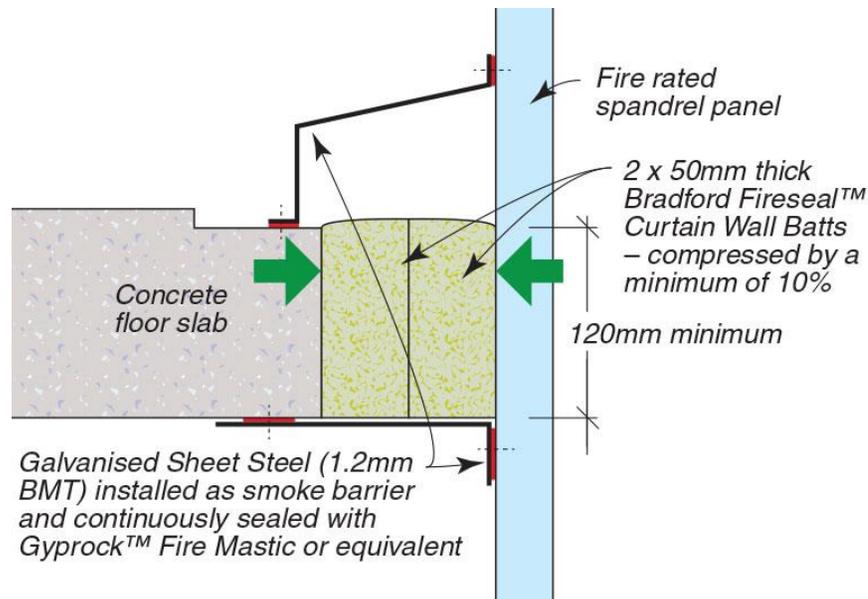


Figura 5-1: Solución sellado contra humo de contacto entre muro cortina y losa (CBS).

La efectividad de una barrera en limitar el movimiento del humo depende de las filtraciones de la barrera y en la diferencia de presión entre ambos lados de la barrera. Aberturas donde tuberías penetran muros o losas, grietas donde muros se encuentran con losas y grietas alrededor de puertas son algunas posibles de filtraciones. La diferencia de presión a través de las barreras depende del efecto chimenea, la flotabilidad, el viento y sistemas de climatización (Klote, Smoke Control, 2002).

Para el control de humos se utilizan barreras (muros, pisos, puertas, etc.) en conjunto con ventiladores que generan diferencias de flujo de aire y presión.

Para restringir el paso del fuego a través de las puertas se utiliza selladores intumescentes, instalados en la parte interior del marco de la puerta, tal que al aumentar la temperatura, este sello se expande y limite las aberturas de la puerta. En cambio para restringir el paso del humo, se utilizan sellos intumescentes que tienen adheridos cepillos que restringen el paso del humo.

En la figura 5.2 se ilustra la diferencia de presión a través de la barrera que controla el movimiento del humo. Dentro de la barrera hay una puerta, y el lado de alta presión de la puerta puede ser un área de refugio o una ruta de escape. El lado de baja presión está expuesto a humo proveniente del fuego. El flujo del aire a través de las grietas alrededor de la puerta y otras grietas de construcción previene la infiltración del humo al lado de alta presión.

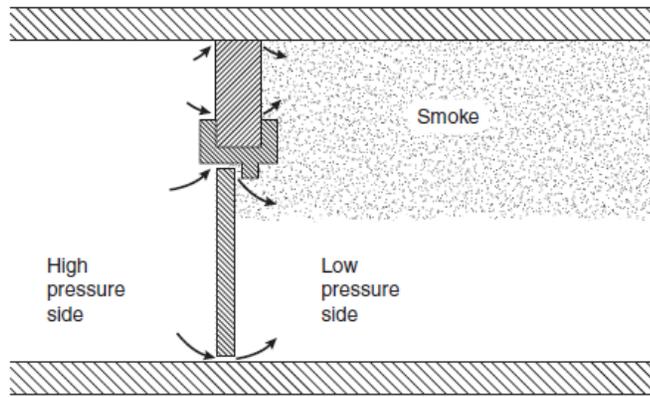


Figura 5-2: Diferencias de presión a través una barrera de un sistema de control de humo (Klote, J. 2002).

Cuando la puerta de la barrera se abre, el aire fluye a través de la puerta. Cuando la velocidad del aire es baja, el humo puede moverse en contra del flujo de aire hacia el área de refugio o ruta de escape, como se aprecia en la figura 5-3.

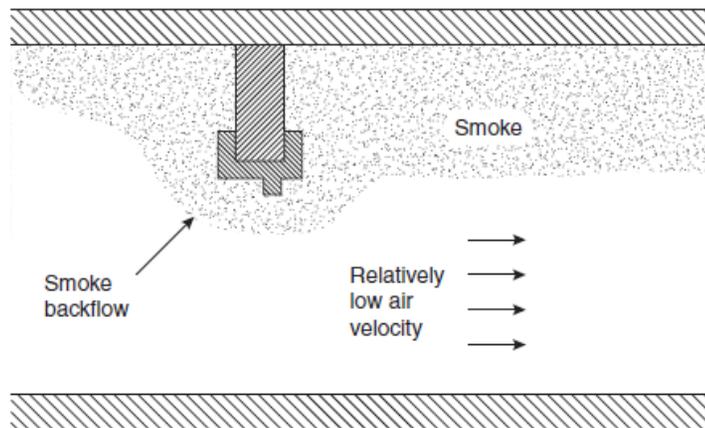


Figura 5-3: Flujo de humo a través de una puerta en contra de una baja velocidad del aire (Klote, J. 2002).

Este flujo de humo puede ser prevenido si la velocidad del aire es lo suficientemente alta, como se puede ver en la figura 5-4. La magnitud de la velocidad necesaria para prevenir el flujo del humo depende de la energía liberada del fuego.

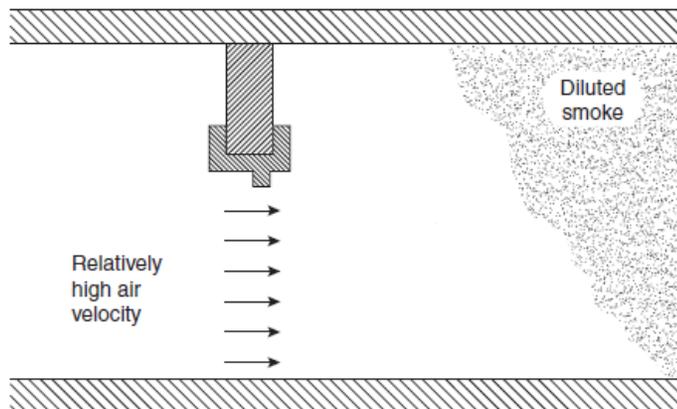


Figura 5-4: Contención del humo por aire de alta velocidad que fluye a través de una puerta abierta (Klote, J. 2002).

Los dos principios básicos para el control de humos son los siguientes:

- El flujo de aire por sí mismo puede controlar el movimiento del humo si la velocidad promedio del aire es lo suficientemente alta.
- Las diferencias de presión de aire entre las barreras puede actuar como un control del movimiento del humo.

El uso de diferencia de presión del aire a través de las barreras para controlar el humo es frecuentemente referido a la presurización. La presurización tiene como resultado un flujo de aire a través pequeñas aberturas alrededor de las puertas cerradas y grietas de construcción, lo que previene que el humo fluya a través de estas aberturas.

Para barreras con grandes aberturas, la velocidad del aire es el parámetro físico a utilizar para consideraciones de diseño y ensayo. Cuando hay solo grietas, como en el caso de una puerta cerrada, la determinación de la velocidad es difícil e incluirla en el diseño es impráctico. En estos casos la diferencia de presión es el parámetro físico a utilizar.

Drysdale (2011) aclara que por definición, el humo no debe entrar en las rutas de escape protegidas. Las puertas de humo entre el fuego y la ruta de escape protegida ayudan a mantener el humo alejado, pero esto depende de que la puerta esté cerrada durante el incendio y que las personas que utilizan la puerta para acceder a la ruta de escape no la mantenga abierta por un tiempo prolongado. Sin embargo, el humo migrará junto al movimiento natural del aire dentro del edificio, y diferencias de presión pueden promover su movimiento hacia las rutas de escape. Una forma de resolver esto es presurizar la ruta de escape de forma que aun en las condiciones más desfavorables el humo no entre ya que existe un flujo de aire desde la ruta de escape hacia los espacios adyacentes. Este principio se ilustra en las siguientes figuras:

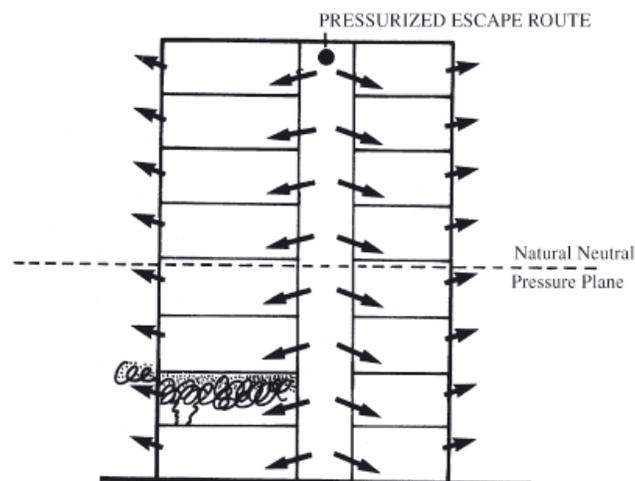


Figura 5-5: Utilización de la presurización para mantener el humo fuera de la ruta de escape (Drysdale, D. 2011).

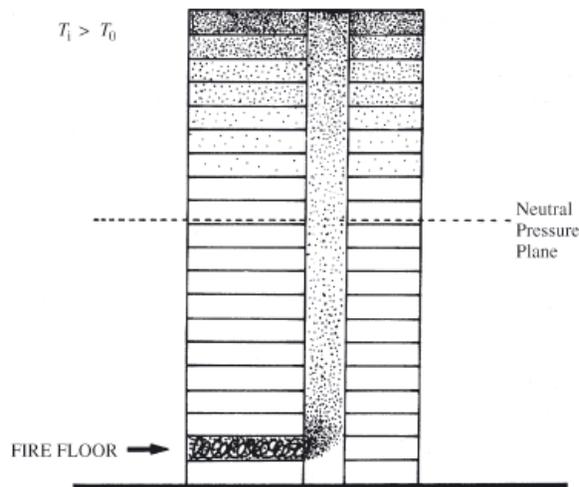


Figura 5-6: Ejemplo de ruta de escape comprometida por falta de control de humos (Drysdale, D. 2011).

Dado que se tiene una idea general del uso de la compartimentación de humos, se expone a continuación como los países estudiados abordan el problema.

En Chile, la OGUC no exige ningún tipo de compartimentación, y solo requiere control de humos para las escaleras de escape, a través del uso de la presurización, que estén ubicadas en la Zona Vertical de Seguridad.

Para el caso de los Estados Unidos, el International Building Code exige distintos tipos de compartimentación de fuego y humos según el tipo de uso que tenga la edificación. En el caso de edificaciones bajo el nivel del suelo, el número de compartimientos depende de la profundidad de la edificación y se exige que entre ellos exista una barrera de humo.

En el caso de los hospitales, se exige que los corredores sean particiones de humo, lo cual tiene como objetivo otorgar una mayor cantidad de tiempo a las personas para poder evacuar el edificio sin verse afectados por el humo. Además cada piso de un hospital debe estar compartimentado contra el humo y el número de compartimientos dependerá de la cantidad de pacientes.

Por último, en cada piso se requiere de un área de refugio, la cual debe ser compartimentada para el fuego y el humo. Esta área tiene el objetivo de que en caso de un incendio, los pacientes se resguarden en aquel lugar hasta esperar la llegada de bomberos.

Para los edificios de uso de cárcel, cada piso debe estar compuesto por un mínimo de 2 compartimientos de humo, y cada celda debe separarse por una partición de humo. Al igual que en los hospitales, debe existir en cada piso un área de refugio que sea un compartimiento de fuego y humo.

El IBC plantea dos enfoques distintos en la utilización de barreras de humo. El primero consiste en que la barrera de humo sea una solución pasiva, la cual debe tener un máximo de área de filtración, las cuales se aprecian en la tabla 4-2. El método para comprobar éstas área es el ensayo del ventilador en la puerta, el cual consiste en instalar un ventilador en la puerta del compartimento, el que generará una diferencia de presión, la cual tendrá como resultado un caudal de aire hacia afuera del compartimento. Este caudal puede ser medido y relacionado al área de filtración del compartimento. En el apéndice B de la norma NFPA 92 se explica en detalle este procedimiento.

El segundo enfoque consiste en combinar la barrera de humo con la presurización a lo largo de ésta. La mínima diferencia de presión requerida dependerá de que si el edificio tenga instalado un sistema de rociadores automáticos, y en caso de no, se utiliza el doble de la máxima presión generada por el incendio de diseño. La diferencia presión máxima a lo largo de la barrera de humo depende de la fuerza necesaria para abrir la puerta instalada en la barrera. El cumplimiento del área máxima de filtración de las barreras de humo de este enfoque se comprueba cumpliendo la mínima diferencia de presión a través de la barrera.

En España, el Documento Básico de Seguridad en Casos de Incendio exige una compartimentación para el fuego. El número de compartimientos que tenga un edificio dependerá de un área límite y densidad de carga, las que a su vez depende del tipo de uso empleado en el edificio. La normativa permite aumentar al doble el área de los compartimientos si estos están equipados con un sistema de rociadores. Las resistencias al fuego de los muros y techos dependerán de la altura de evacuación en la que se encuentren. El control de humos se realiza de forma activa, con ventilación forzada o presurización.

Por último, en Inglaterra la compartimentación se centra solo en el fuego y no en el humo. La compartimentación depende del uso del edificio y se realiza mediante muros y losas. En los edificios habitacionales, cada departamento debe ser un compartimento, y se encuentra a más de 30 [m] de altura, deben tener equipado un sistema de rociadores. Para los edificios de uso médico, cada piso debe ser un compartimento resistente al fuego. En cambio para edificios de uso no habitacional, cada piso debe estar compartimentado, y el área de los compartimientos de cada piso está restringida según su tipo de uso y si tienen equipado sistemas de rociadores.

6. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE CRITERIOS

En este capítulo se realiza una selección y análisis de los criterios que presentan deficiencias en la normativa nacional con respecto a lo estudiado de las normativas internacionales y la teoría.

El primer aspecto a estudiar es la OGUC, la cual presenta una deficiencia importante con respecto a la compartimentación. La ordenanza solo menciona el tema de la compartimentación en el artículo 4.3.24, el cual dice que en un edificio se puede, y no debe, compartimentar mediante muros con resistencia al fuego F-120, y si se requiere una puerta en tales muros debe tener una resistencia F-60 y contar con un sistema de cierre automático.

El principal problema que presenta este artículo es que deja a decisión del arquitecto y/o ingeniero la implementación de la compartimentación de fuego, la cual es el principal método de la protección pasiva contra incendios. Todos los países estudiados obligan la utilización de la compartimentación de fuego en edificios, la cual depende del tipo de uso, área, densidad de carga y nivel de ocupación del edificio.

Otro problema que presenta el artículo mencionado, es que no menciona los elementos horizontales de la compartimentación, como son las losas y techos. La resistencia al fuego de las losas va desde F-30 hasta F-120 según la figura 3-1, lo cual podría generar un compartimento compuesto por elementos con diferencias de resistencia al fuego significativas.

Con respecto a las puertas utilizadas en los muros de compartimentación, las normativas internacionales en general relacionan su resistencia al fuego según la resistencia al fuego del muro en la que se encuentran, y en algunas zonas especiales, como los pasillos protegidos, exigen una resistencia específica. En cambio en Chile, la OGUC solo exige resistencia al fuego a puertas instaladas en zonas de seguridad, muros cortafuegos, muros de compartimentación y en la entrada del vestíbulo de acceso a las redes húmedas y secas., con una resistencia de F-60. Además se exige que las puertas instaladas en pasillos protegidos tengan una resistencia al fuego de F-30.

En el caso de Estados Unidos, la resistencia al fuego de las puertas es en general 3/4 de la resistencia al fuego del muro en que se encuentran, como se aprecia en la tabla 4-1. En cambio en el caso de España es la mitad de la resistencia al fuego del muro en la que se encuentran, lo que se observa en la tabla 4-6. Por último en Inglaterra, no se tiene una regla general, las resistencias al fuego de las puertas dependen de donde se utilicen, y varía desde la resistencia del piso, la resistencia del muro, la mitad o algún valor específico. Todo aquello está contenido en la tabla 4-12.

Sobre el tema de traspaso de humos, la OGUC no aborda el tema, y lo único que hace referencia a esto es la presurización requerida para las escaleras de escape ubicadas en Zonas Verticales de Seguridad. Esto es un gran problema, ya que como fue mencionado anteriormente, el humo es la principal causa de pérdidas humanas en un incendio. Tanto Estados Unidos como Inglaterra exigen el uso de puertas de fuego resistentes al traspaso de humo en lugares específicos.

En el caso de Estados Unidos, dado que requiere barreas de humos, en los casos de construcciones subterráneas, hospitales y cárceles, también requiere de resistencia al paso del humo en las puertas instaladas en aquellas barreras. Estas barreas son utilizadas en los compartimentos, corredores y áreas de refugio según corresponda en cada caso.

En cambio en el caso de Inglaterra, el no traspaso de humo para las puertas es requerido en todas las puertas instaladas en muros de compartimentación, excepto para los ascensores y shaft de servicios. También exige el no traspaso de humos en las puertas de los corredores y escaleras protegidas.

Con respecto al ensayo de resistencia al fuego de las puertas en el caso de Chile, se aprecia una serie de deficiencias. La primera deficiencia es con respecto a la desviación estándar utilizada para la curva tiempo-temperatura dentro del horno. De los países estudiados, Chile presenta la desviación estándar menos exigente (junto a Inglaterra si se utilizan las normas BS), tal que para ensayos de 30 [min] o más, la desviación estándar en Chile es casi el doble que la del estándar internacional.

La segunda deficiencia tiene que ver con la exigencia de la instalación de termopares en el marco de la puerta en la cara no expuesta. En el caso de Chile, no es obligatoria la instalación de termopares en el marco para evaluar la temperatura máxima de la muestra durante el ensayo de fuego. Tanto en Inglaterra como en España se exige la instalación de termopares en las jambas y dintel de la puerta para medir la temperatura máxima de la cara no expuesta durante el ensayo de fuego. La importancia de esto es que al no evaluar el aislamiento del marco de la puerta, no se está ensayando la totalidad del conjunto de la puerta de fuego.

La tercera deficiencia es con respecto al criterio de estabilidad mecánica que se exige en la norma NCh 935/2, el cual es poco preciso, dado que no define que aberturas o fisuras pueden no perjudicar la función de seguridad de la puerta de fuego. Inglaterra y España abordan este tema exigiendo la penetración de galgas en aberturas y fisuras, y según si las galgas pueden atravesar la puerta y cuanta distancia recorren, se admite o no el cumplimiento del criterio de integridad. En cambio Estados Unidos describe detalladamente el rango o porcentaje admisible de aberturas y fisuras que pueden presentar las puertas durante el ensayo de fuego. Además diferencia las fisuras y aberturas según el tipo de puerta ensayada.

7. PROPUESTA DE MODIFICACIONES

Dado las deficiencias descritas en el capítulo anterior, se presenta en este capítulo una propuesta de modificaciones al marco regulatorio nacional, para elevar el nivel de éste al del nivel internacional. Las modificaciones propuestas son las siguientes:

7.1 Compartimentación de fuego

La primera propuesta es modificar el artículo 4.3.24 de la OGUC tal que exija de forma obligatoria la implementación de la compartimentación de fuego en edificios, y adoptar el estándar español con respecto al tema. Los requerimientos de la compartimentación de fuego española están contenidos en las tablas 4-6, que presenta las condiciones que deben cumplir los compartimentos, y la tabla 4-7, que presenta la resistencia requerida de los elementos que componen los compartimentos. La razón por la elije el estándar español, es que presenta una descripción detallada y ordenada de los requerimientos de los compartimentos, en comparación del estándar inglés, que presenta un nivel descriptivo bajo, y el estadounidense que aborda los requerimientos según cada tipo de uso de la estructura, lo cual dificulta la visualización de la información.

7.2 Compartimentación de humo

La siguiente propuesta es implementar un artículo a la OGUC que exija la construcción de compartimentos de humo según el estándar estadounidense. Este estándar exige el uso de compartimentos de humo en subterráneos de ocupación humana, cárceles y zonas de uso médico ocupadas con personas no capaces de auto-preservación. Los requerimientos de los compartimentos de humo exigidos en estos lugares se encuentran en el capítulo 4.1.1.2 (sección 405, 407 y 408), 4.1.1.3 y 4.1.1.4.

7.3 Resistencia puertas de fuego

Con respecto a que resistencia al fuego que deben tener las puertas, se propone que éstas tengan 3/4 de la resistencia al fuego del muro en el que se instalen, con una resistencia mínima de F-60, siguiendo así lo planteado en la OGUC. La razón por la que se elige esta relación de resistencia al fuego para las puertas, es que permite que los componentes de los compartimentos de fuego tengan una resistencia similar, disminuyendo así posibles eslabones débiles del conjunto. Además la simplicidad de la relación permite facilitar la evaluación de seguridad contra incendios en lo que respecta a las puertas.

7.4 Puertas resistentes al paso del humo

Dado que se propone la implementación de compartimentación de humo, para que sea efectiva, todas las puertas en aquellos compartimentos deben resistir el paso del humo. Además recogiendo los requerimientos del tema de la normativa inglesa, que se puede apreciar en la tabla 4-12, se propone que las puertas instaladas en escaleras de evacuación, pasillos protegidos y vías de evacuación tengan una resistencia al paso del humo. La razón de esto que es el humo no comprometa la evacuación y vida de las personas del edificio en caso de incendio.

Con respecto a la tasa de filtración de las puertas de humo, se propone adoptar el estándar inglés, el cual exige que aquellas puertas deban estar clasificadas como S_a cuando son ensayadas bajo la norma EN 1634-3.

7.5 Reestructurar atributos exigibles a las puertas

En la OGUC, los atributos que se le exigen a las puertas de fuego se representan como el tiempo en que se cumple todos los criterios del ensayo de la norma NCh 935/2. Se propone adoptar la norma EN 13501-2, la cual clasifica, mediante una codificación de números y letras, una puerta según los resultados de los ensayos requeridos. Esto permite exigir de forma clara que requerimientos deben cumplir las puertas utilizadas en los edificios según su ubicación, entre los cuales están el de integridad, aislamiento, traspaso de humo y cierre automático. Además se propone que todos los fabricantes etiqueten sus puertas la interior del marco u hoja, en la cual se visualice de forma clara el tiempo de resistencia al fuego que tiene la puerta y que requerimientos cumplen.

7.6 Modificar desviación estándar del ensayo de fuego

Se propone modificar la desviación estándar de la temperatura media dentro del horno de la norma NCh 935/1 para el ensayo de fuego para las puertas, de tal forma alcanzar el nivel internacional mediante las siguientes tolerancias:

Tabla 7-1: Desviación estándar temperatura horno propuesta para ensayo de fuego para puertas.

Porcentaje de desviación (d_e) [%]	Tiempo de ensayo (t) [min]
15	$5 < t \leq 10$
$15 - 0,5 \cdot (t - 10)$	$10 < t \leq 30$
$5 - 0,083 \cdot (t - 30)$	$30 < t \leq 60$
2,5	$t > 60$

7.7 Modificar exigencia termopares en marco de puerta

La siguiente propuesta consiste en modificar la norma NCh 935/2, de tal forma que exija de forma obligatoria la instalación de termopares en el marco de la puerta para evaluar la temperatura máxima del conjunto durante el ensayo de fuego. Se debe requerir la instalación de termopares en las siguientes posiciones:

- Uno a media altura de cada elemento vertical del marco (jambas).
- Uno a mitad de la longitud del elemento horizontal superior del marco (dintel).
- Uno a cada lado del dintel a 50 [mm] de cada esquina de la hoja.

7.8 Modificar criterio de estabilidad mecánica

Dada la deficiencia explicada del criterio de estabilidad mecánica para el ensayo de fuego para puertas de la norma NCh 935/2, se propone modificarlo de tal forma de adoptar el estándar español. Éste estándar evalúa el nivel aceptable de aberturas y fisuras en puertas durante el ensayo de fuego, mediante la penetración y el recorrido de galgas de 6 y 25 [mm]. Esto permite tener un protocolo claro de cómo evaluar la estabilidad mecánica.

7.9 Adoptar norma de ensayo de puertas de humo

Se propone adoptar íntegramente la norma EN 1634-3 para ensayar las puertas resistentes al paso de humo, dado que es la normativa que mejor se adapta a las propuestas de modificación del marco regulatorio nacional.

8. DISCUSIÓN SOBRE IMPLEMENTACIÓN Y CONSECUENCIAS DE LAS MODIFICACIONES

Al analizar la propuesta de modificación al marco regulatorio nacional, se puede visualizar ciertos aspectos sobre su implementación y las consecuencias que éstas tendrían.

Con respecto a la propuesta de compartimentación de fuego y humo, su implementación afectará de manera importante la seguridad contra incendios requeridas para los edificios en Chile, de tal forma que ésta aumentará considerablemente. Una consecuencia de esta implementación es que requerirá que sea diseñada en las etapas intermedias de concepción de un edificio, ya que dado el nivel de intervención requerido para ser ejecutada, no permite que sea abordada en las últimas etapas de diseño de un edificio, porque si no se arriesga a que no se cumplan los requerimientos exigidos.

Dado que Chile diseña sus edificios en base al uso de muros, por las exigencias sísmicas de su geografía, el uso de la compartimentación como principal enfoque de protección pasiva contra incendios, se adapta de forma sencilla a como se conciben los edificios en este país.

Al momento de la construcción de compartimentos de fuego y humo, se presentan tres aspectos importantes que deben ser revisados en las inspecciones técnicas. El primero consiste en asegurar la continuidad del compartimento en todo su volumen. Esto quiere decir que los muros en los compartimentos comiencen en el piso y terminen en el techo, las aberturas en los muros y losas estén protegidas contra el fuego y/o humo según el caso. El segundo aspecto consiste en evitar que los muros y losas presenten grietas y fisuras, ya que ellas aumentan la tasa de filtración de aire de un compartimento, disminuyendo la capacidad de evitar el traspaso de humo de un compartimento hacia el resto del edificio. Por último, las juntas de dilatación y construcción presentan una posible falla en los compartimentos. La solución a este problema consiste en asegurar su sellado de forma íntegra en la junta, mediante el uso de un sellador intumescente y/o estanco al paso del humo según el caso que corresponda, y con resistencia al fuego y/o tasa de filtración igual al muro o piso al que se aplican.

La implementación de la compartimentación de humo requerirá medir diferencias de presión a través de sus barreras. Estas mediciones no difieren mucho de las mediciones necesarias para asegurar la presurización de las Zonas Verticales de Seguridad que exige a la fecha la OGUC, por lo que la construcción de las barreras de humo no debería presentar mayores problemas.

Dado que la normativa estadounidense da la libertad de que las barreras de humo sean una solución únicamente pasiva o pasiva-activa, mediante la presurización, la elección de la solución dependerá en gran medida de la geometría del compartimento. Una geometría simple, presentará una menor dificultad en evitar grietas y fisuras en sus elementos, dado que presenta una menor cantidad de conexiones de elementos estructurales, lugar más probable de surgimiento de aberturas. Con este dato se concluye que para compartimentos de humo con geometría simple, la construcción de barreras de humo pasivas es viable. En cambio para compartimentos de humo con geometrías complejas, es más viable la construcción de barreras de humo presurizadas. Para asegurar la estanquidad de las barreras de humo, inspecciones periódicas deben ser realizadas a estos elementos por profesionales competentes en la materia.

Dado que se propone un aumento significativo en el uso de puertas de fuego y humo, es necesario que existan inspecciones técnicas a ellas durante su instalación y de forma periódica, tal que estas puertas cumplan su propósito y mantengan sus propiedades de protección.

La norma NFPA 80 contiene información sobre la instalación y mantención de los ensambles de puertas de fuego y humo. Además el apéndice B del Approved Document B nombra algunos documentos para utilizar de guía para la instalación y mantención de las puertas de fuego y humo, los cuales son:

- *Choose & Use - Fire-resisting timber doorsets* elaborado por TRADA
- *Code of Practice: Hardware for Fire and Escape Doors* elaborado por DHF y GAI
- *Code of Practice for fire resisting metal doorsets* elaborado por DHF y GAI

Estudiando estos documentos, se plantea los siguientes lineamientos para la instalación de las puertas de fuego y humo como también sus inspecciones técnicas:

- **Instalación:**

- Verificar que los componentes del ensamble de puerta coincidan con los que el fabricante especifica en su producto, ya que al cambiar algún componente, la resistencia al fuego y/o humo del ensamble de puerta puede ser distinta a la del ensayo que la certifica.
- Respetar las holguras entre el marco y la hoja especificada por el fabricante, y en caso de no existir, la holgura debe estar en el rango de los 2-4 [mm] para las partes superior y ambos lados del marco, y máximo de 19 [mm] en la parte inferior.
- Verificar que el sistema de cierre automático cierre de forma completa la puerta al momento de abrirla y soltarla.
- Respetar la ubicación de instalación de las bisagras especificadas por el fabricante.

- Verificar la correcta instalación de los sellos intumescentes y/o estanco al humo en las bisagras, mecanismo de cierre y marco de la puerta según las especificaciones del fabricante.
 - Verificar correcta aplicación de sello intumescente y/o estanco al humo entre el marco de la puerta y el muro en que se instala.
- **Mantenimiento:**
 - Las puertas de fuego y humo deben ser inspeccionadas regularmente, con un periodo máximo de 1 año.
 - La puerta debe estar operativa en todo momento, y si presenta fallas, debe ser reemplazada o reparada en el menor tiempo posible.
 - La puerta debe presentar todos sus componentes.
 - Al momento de realizar las inspecciones, la puerta y el marco no deben presentar aberturas ni fisuras.
 - Si la puerta presenta materiales traslúcidos, estos deben encontrarse intactos.
 - El herraje de la puerta no debe presentar daños.
 - El mecanismo de cierre automático no debe presentar daños y debe cerrar la puerta completamente.
 - Se deben respetar las holguras entre el marco y la puerta especificadas por el fabricante o las descritas anteriormente.
 - Los sellos intumescentes y estancos al humo de la puerta deben encontrarse en buenas condiciones y sin presentar ningún tipo de daño.
 - Si se requiere reemplazar algún componente de la puerta, este debe ser del mismo fabricante de la puerta para asegurar la integridad del ensamble de puerta.

Interpretando la publicación *Occupant interactions with self-closing fire doors in private dwellings*, del año 2010, se puede visualizar que una consecuencia del aumento del uso de puertas equipadas con sistemas de cierre automático, es que los residentes que tengan que interactuar con ellas van a interferir o remover el mecanismo. Dado que este sistema es vital para el correcto funcionamiento de la puerta de fuego y/o humo, como también del compartimento en la que se encuentra, se requiere concientizar a los ocupantes del edificio sobre la importancia de mantener cerrado este tipo de puertas.

Con respecto a la propuesta de modificación del ensayo de resistencia al fuego de las puertas, estas tendrán como consecuencia un aumento en el estándar con el cual se realizan los ensayos, lo que implica que los criterios de aislamiento e integridad de las puertas tendrán una mayor precisión que la de la normativa que rige actualmente.

Al adoptar la norma EN 13501-2, se tendrá mayor claridad de los atributos que tiene una puerta instalada en un edificio, lo cual permitirá facilitar la confirmación del

cumplimiento de los requerimientos de las puertas de fuego y/o humo instaladas en los edificios.

Por último, al adoptar la norma EN 1634-3, se tiene como consecuencia que los laboratorios de ensayos de puertas en Chile tendrán que adquirir una serie de nuevos equipos y metodologías, las cuales tomaran algún tiempo en ser incorporadas.

9. CONCLUSIONES

En este capítulo se exponen las conclusiones obtenidas a lo largo de esta memoria.

Al estudiar los distintos marcos regulatorias de Estados Unidos, España y Reino Unido, y compararlos con el marco regulatorio chileno, se aprecia claramente que Chile está desactualizado en lo que respecta a la protección contra incendios. Un claro ejemplo de esto es el tema de la compartimentación. El estándar internacional utiliza esta herramienta como el principal método de protección pasiva contra incendios. En cambio la OGUC solo la deja a un nivel optativo y además no profundiza en ella. Otro aspecto que visualiza esta brecha es que la OGUC no aborda el tema del control de humos, y como se sabe, el humo es la principal amenaza para la vida humana durante un incendio.

Estudiando la metodología con la cual los distintos países ensayan sus puertas de fuego, se concluye que desde que se publicó la norma NCh 935/2, en el año 1984, no ha habido mayores cambios en la metodología. Exceptuando las deficiencias planteadas en esta memoria sobre la norma NCh 935/2, Chile tiene una norma para el ensayo de resistencia al fuego de puertas a un nivel aceptable comparándolo con el nivel internacional. Los puntos 7.7 y 7.8 del capítulo 7 de esta memoria contienen las modificaciones necesarias para que la NCh935/2 se dirija hacia el estándar europeo, el cual presenta los requerimientos más exigentes de los marcos regulatorios estudiados.

La falta de norma de resistencia al traspaso de humo en puertas en Chile, requerirá elegir un estándar como base para redactar esta norma. Dado que Chile baso la norma NCh 935/2 en el estándar español, es natural que lo vuelva a hacer para las puertas de humo, y además este estándar rige a toda la unión europea.

La incorporación de las propuestas de esta memoria al marco regulatoria nacional, permitiría aumentar considerablemente el nivel de protección contra incendios exigido para los edificios en Chile y así cumplir de mejor forma los objetivos principales de la OGUC.

Los países estudiados presentan una normativa de mayor nivel de protección contra incendios que la chilena, pero existen diferencias profundas entre ellas. En Estados Unidos, al estar compuesto por estados federales, existen regulaciones propias de cada estado. Esto genera diferencias en las exigencias de protección contra incendios entre cada estado. Por otra parte, el nivel en que este país aborda cada aspecto de la protección contra incendios es alto y con gran nivel de detalle, llegando a ser difícil cumplir con todos los requerimientos en un edificio. Además el estudio de

estas normas presenta cierta complejidad por el número, extensión y nivel de referencia entre éstas.

En cambio los marcos regulatorios español e inglés tienen un gran nivel de protección contra incendios, pero ordenados y redactados de tal forma que su estudio e implementación no presenta mayores dificultades. Ambos marcos separan las estructuras en dos grandes grupos. Inglaterra tiene una separación de casas habitacionales y otras estructuras. En cambio España separa en estructuras de uso industrial y otras. Esta última separación es la que tiene mayor sentido, dado que las estructuras industriales presentan distintos desafíos que estructuras tradicionales. Además presentan un mayor nivel de peligro por su posible carga combustible como también su tamaño. Por esto, Chile debería utilizar como foco de referencia el marco regulatorio Español.

Un aspecto a destacar del marco regulatorio inglés, es que permite el uso de distintas normas para el ensayo de resistencia al fuego y traspaso de humos para puertas. Las normas inglesas presentan un menor nivel de exigencia que las normas europeas, lo cual podría generar una diferencia del nivel de protección de las puertas utilizadas en este país según qué tipo de norma se utilizó para ensayarlas.

Futuros trabajos que podrían complementar esta memoria sería un estudio de la resistencia al fuego de ventanas y ductos de servicios utilizados en Chile, como también un estudio sobre el control de humos utilizado internacionalmente y cómo implementar esto al marco regulatorio nacional. Estos trabajos permitirían tener un mayor número de antecedentes para evaluar el marco regulatorio chileno.

Dado que el marco regulatoria nacional requiere un aumento en su nivel de protección contra incendios, este tendrá que ser ejecutado por expertos en la materia, ya que al aumentar el nivel de protección, también lo hará la complejidad, la cual no podrá ser abordada por arquitectos o ingenieros sin estudios en la materia. Otro punto importante es que dado en nivel de protección contra incendios que propone esta memoria, esta protección tendrá que ser evaluada en etapas de diseño de un edificio y en conversación con las otras disciplinas participantes de un proyecto, ya que sino los requerimientos no podrán ser cumplidos dado el nivel de intervención que estos tienen en un edificio. Por esta razón Chile necesita un mayor número de expertos en protección contra incendios, para poder asegurar el aumento del nivel de seguridad contra incendios en los edificios.

Esta memoria puede utilizarse como un antecedente que aporta información útil para actualizar las normas NCh 935/1, NCh935/2 y la OGUC.

Resumiendo las propuestas contenidas en esta memoria, el camino a seguir para modificar la normativa chilena consiste modificar la OGUC de tal forma que exija la compartimentación de fuego del marco regulatorio español, la compartimentación de

humo del marco regulatorio estadounidense, relacionar la resistencia al fuego de las puertas con la resistencia del muro en la que se encuentran y exigir el uso de puertas de humo según el estándar inglés. Por otro lado Chile debe modificar su norma de ensayo de puertas de fuego para llevarla al estándar europeo y crear una norma de ensayo de puertas de humo que incorpore el estándar europeo.

Se concluye que esta memoria cumplió con los objetivos principales y secundarios planteados al inicio de este trabajo utilizando la metodología descrita.

BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Española de Normalización y Certificación. (2000). *UNE-EN 1363-1 Ensayos de Resistencia al Fuego Parte 1: Requisitos Generales*. España: AENOR.
2. Asociación Española de Normalización y Certificación. (2000). *UNE-EN 1634-1 Ensayos de Resistencia al Fuego de Puertas y Elementos de Cerramiento de Huecos Parte 1: Puertas y Cerramientos Cortafuego*. España: AENOR.
3. Asociación Española de Normalización y Certificación. (2006). *UNE-EN 1634-3 Ensayos de Resistencia al Fuego de Puertas y de Control de Humos de Puertas y Elementos de Cerramiento de Huecos, Ventanas Practicables y HERRAJES PARA LA EDIFICACIÓN Parte3:Ensayos de Control de Humos Para Puertas y Elementos de Cerramiento*. España: AENOR.
4. Asociación Española de Normalización y Certificación. (2007). *UNE-EN 13501-1 Clasificación en Función del Comportamiento Frente al Fuego de los Productos de Construcción y de los Elementos para la Edificación Parte 1: Clasificación a partir de Datos Obtenidos en Ensayos de Reacción al Fuego*. España: AENOR.
5. Bracken Engineering. (2016). *Building Codes in Effect by State*.
6. British Standards Institution. (1983). *BS 476-31.1 Fire Tests On Building Materials And Structures Part 31: Methods For Measuring Smoke Penetration Through Doorsets And Shutter Assemblies - Section 31.1 Method Of Measurement Under Ambient Temperature Conditions*. Inglaterra: BSI.
7. British Standards Institution. (1987). *BS 476-20 Fire Tests On Building Materials And Structures Part 20: Method For Determination Of The Fire Resistance Of Elements Of Construction (General Principles)*. Inglaterra: BSI.
8. British Standards Institution. (1987). *BS 476-22 Fire Tests On Building Materials And Structures Part 22: Methods For Determination Of Non-Loading Of Elements Of Construction*. Inglaterra: BSI.
9. British Standards Institution. (2008). *BS 9999:2008 Code of practice for fire safety in the design, management and use of buildings*. Inglaterra: BSI.
10. Chan-Wei, W., Ta-Hui, L., Chien-Jung, C., & Ming-Ju, T. (2007). Smoke leakage through wall openings in a fire. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 32(1), 29-37.
11. Cheung, S. C., Lo, S. M., Yeoh, G. H., & Yuen, R. K. (2006). The influence of gaps of fire-resisting doors on the smoke spread. *Fire Safety Journal*, 41(7), 539-546.
12. Construction Specialties. (s.f.). *Fire Door Maintenance Guide*. Inglaterra: CS-Group.
13. Department for Communities and Local Government. (2006). *Approved Document B (Fire Safety), Volume 1 - Dwellinghouses*. Inglaterra: RIBA.

14. Department for Communities and Local Government. (2006). *Approved Document B (Fire Safety), Volume 2 - Buildings Other Than Dwellinghouses*. Inglaterra: RIBA.
15. Department of Finance and Personnel. (2012). *Technical Booklet E - Fire safety*. Irlanda del Norte.
16. Door & Hardware Federation. (2010). *Code of Practice for fire resisting metal doorsets*. Inglaterra: DHF.
17. Door & Hardware Federation y Guild of Architectural Ironmongers. (2012). *Code of Practice: Hardware for Fire and Escape Doors*. Inglaterra: DHF & GAI.
18. Drysdale, D. (2011). *An Introduction to Fire Dynamics* (3 ed.). UK: Wiley.
19. Ghazi Wakili, K., Wullschleger, L., & Hugi, E. (2008). Thermal behaviour of a steel door frame subjected to the standard fire of ISO 834: Measurements, numerical simulation and parameter study. *Fire Safety Journal*, 43(5), 325-333.
20. Hall, J. R. (2013). *U.S. Experience with Sprinklers*. Estados Unidos: NFPA.
21. HDR Inc. and Rolf Jenson & Associates Inc. (2007). *IDQ A/E Task Order #006*. Estados Unidos.
22. Instituto Nacional de Normalización. (1984). *NCh 935/2.Of84: Prevención de incendio en edificios - Ensayo de resistencia al fuego - Parte 2: Puertas y otros elementos de cierre*. Chile: INN.
23. Instituto Nacional de Normalización. (1997). *NCh935/1.Of97: Prevención de incendio en edificios - Ensayo de resistencia al fuego - Parte 1: Elementos de construcción en general*. Chile: INN.
24. International Code Council. (2009). *International Building Code* (6 ed.). Estados Unidos: ICC.
25. Klote, J. H. (2002). Smoke Control. En D. Drysdale, C. L. Beyler, W. D. Walton, R. L. Custer, J. R. Hall, J. M. Watts, & P. J. DiNenno (Ed.), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (3 ed., págs. 1235-1237). USA: Omegatype Typography.
26. Klote, J. H. (2016). Smoke Control In Buildings. *IBC Journal*, III(1), 27-39.
27. McDermott, H., Haslam, R., & Gibb, A. (2010). Occupant interactions with self-closing fire doors in private dwellings. *48(10)*, 1345-1350.
28. Menon, G. B., & Vakil, J. N. (2005). Building Fire Hazards. En G. B. Menon, & J. N. Vakil, *Handbook on Building Fire Codes* (3 ed., pág. 177). India: IITK-GSDMA.
29. Ministerio de Fomento. (2010). *Código Técnico de la Edificación - Seguridad en Casos de Incendios: Documento Básico*. España: CTE.

30. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (5 de Junio de 1992). Ordenanza General de la Ley General de Urbanismo y Construcciones Título 4 Capítulo 3. En *Decreto N° 47* (Noviembre 2015 ed., págs. 189-210). Chile: Diario Oficial de la República de Chile.
31. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2014). Listado Oficial de Comportamiento al Fuego de Elementos y Componentes de la Construcción. Chile.
32. Mowrer, F. W. (2004). Fundamentals Of The Fire Hazards Of Materials. En C. A. Harper (Ed.), *Handbook Of Building Materials For Fire Protection* (1 ed., pág. 59). McGraw-Hill.
33. National Fire Protection Association. (2009). *NFPA 101: Life Safety Code Handbook* (11 ed.). (R. Coté, & G. E. Harrington, Edits.) Estados Unidos.
34. National Fire Protection Association. (2009). *NFPA 92A: Standard for Smoke-Control Systems Utilizing Barriers and Pressure Differences*. Estados Unidos: NFPA.
35. National Fire Protection Association. (2012). *NFPA 252: Standard Methods of Fire Tests of Door Assemblies* (11 ed.). Estados Unidos: NFPA.
36. National Fire Protection Association. (2012). *NFPA 92: Standard for Smoke Control Systems* (1 ed.). Estados Unidos: NFPA.
37. National Fire Protection Association. (2013). *NFPA 80: Standard for Fire Doors and Other Opening Protectives* (19 ed.). Estados Unidos: NFPA.
38. National Fire Protection Association. (2016). *NFPA 105: Standard for Smoke Door Assemblies and Other Opening Protectives* (9 ed.). Estados Unidos: NFPA.
39. Scottish Government. (2016). *Technical Handbook Domestic - Fire*. Escocia.
40. Scottish Government. (2016). *Technical Handbook Non- Domestic - Fire*. Escocia.
41. Society of Fire Protection Engineers. (2012). *Guidelines for Designing Fire Safety in Very Tall Buildings*. SFPE.
42. Timber Research and Development Association. (2012). *Choose & Use - Fire-resisting timber doorsets*. Inglaterra: TRADA Technology.
43. Wu, X., Liu, J.-y., Zhao , X., Yang, Z., & Xu , R. (2013). Study of the Fire Resistance Performance of a Kind of Steel Fire Door. *Procedia Engineering*, 52, 440-445.