



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

CRITERIOS QUE DETERMINAN LOS REQUERIMIENTOS DE RESISTENCIA AL FUEGO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL

RODRIGO IGNACIO JOSÉ MACARI LAGOS

PROFESOR GUÍA:
MIGUEL ÁNGEL PEREZ ARIAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
GABRIEL RODRÍGUEZ JAQUE
ESTEBAN RUEDLINGER STANDEN

SANTIAGO DE CHILE
2015

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE:** Ingeniero Civil
POR: Rodrigo Macari Lagos
FECHA: 27/08/2015
PROFESOR GUÍA: Miguel Ángel Pérez

Criterios que determinan los requerimientos de resistencia al fuego de elementos estructurales

El presente trabajo realiza un análisis de los criterios utilizados para determinar los requerimientos de resistencia al fuego de elementos estructurales, haciendo una revisión de la normativa extranjera, principalmente la estadounidense, y comparándola con los criterios adoptados en Chile.

En un principio se realiza una revisión de la física detrás del fuego y calor, y de cómo estos elementos se presentan dentro de una edificación. Con esto se conocen las condicionantes para que exista fuego y se expanda, provocando un incendio.

Posteriormente se analizan los objetivos de la seguridad contra incendios, cuáles son los factores que se dan para que se desarrolle el incendio y cómo prevenirlos, y el plan general de incendios para poder cumplir con los objetivos y evitar grandes pérdidas humanas y materiales. Se introduce la definición de resistencia al fuego (RF), sus objetivos, y la metodología para determinarla tanto en Chile como en Estados Unidos.

Finalmente se presentan las normativas chilena y norteamericana, y se realiza una comparación entre ambas para observar sus diferencias y similitudes. A partir de esto se obtiene cual es la condición en la que se encuentra Chile con respecto al mundo en RF y cuáles son los criterios que hay detrás de cada determinación.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo General.....	2
1.1.2. Objetivos Específicos	2
2. Historia de los requerimientos de seguridad contra incendio en edificaciones .	3
3. Fuego y Calor	7
3.1. Combustibles	8
3.1.1. Materiales	8
3.1.2. Valor calorífico.....	8
3.1.3. Carga de fuego.....	10
3.1.4. Tasa de liberación de calor.....	10
3.2. Combustión	11
3.3. Iniciación y expansión de un incendio.....	14
3.4. Objetos en llamas.....	15
3.5. Medios de transmisión de calor.....	17
3.6. Tipos de Incendio.....	18
3.6.1. Fases de un incendio.....	18
3.6.2. Fuego en estructuras cerradas.....	20
3.7. Protección contra incendios	21
4. Seguridad contra incendios	22
4.1. Objetivos de la seguridad contra incendios.....	22
4.1.1. Seguridad de la vida	22
4.1.2. Protección de la propiedad	23
4.1.3. Protección ambiental	23
4.2. Proceso de desarrollo de incendios	23
4.2.1. Comportamiento del fuego	24
4.2.2. Comportamiento humano	25
4.2.3. Detección del fuego.....	25
4.2.4. Protección activa	26
4.2.5. Protección pasiva	26
4.2.5.1. Vías de Evacuación.....	27
Escaleras.....	27

Ascensores	28
Muros Cortafuego	28
Elementos Estructurales	29
4.3. Estrategia general de incendios	31
5. Resistencia al fuego (RF)	34
5.1. Objetivos de la Resistencia al Fuego	34
5.2. Tiempo de RF	35
5.3. Ensayos de resistencia al fuego	36
5.3.1. Chile	36
5.3.2. Estados Unidos	42
6. Normativa	45
6.1. Normativa de Chile - Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones 45	
6.2. Normativa de Estados Unidos - NFPA	49
7. Análisis de los factores que determinan las exigencias de resistencia al fuego en Chile y Estados Unidos	52
8. Análisis comparativo de exigencias de RF entre Chile y Estados Unidos	63
9. Discusión y Conclusiones	80
10. Bibliografía	89

1. Introducción

En Chile y el mundo, la legislación y el marco reglamentario exigen que los elementos estructurales de las edificaciones ofrezcan una resistencia al fuego que se mide en minutos. De esta forma algunos elementos requieren una resistencia al fuego que va desde los 0 hasta los 180 minutos en incrementos de 15, 30 o 60 minutos, con requerimientos diferenciados según el tipo de elemento y el destino del edificio.

La motivación del presente trabajo de título está en verificar cuales fueron los fundamentos científicos y técnicos detrás de las exigencias de resistencia al fuego adoptadas por la normativa chilena.

En Estados Unidos la entidad encargada de crear y mantener las normas y requisitos mínimos para la prevención contra incendios es la National Fire Protection Agency (NFPA). Dentro de esta reglamentación se especifica la resistencia al fuego mínima de los elementos estructurales dependiendo del tipo de construcción, el destino del edificio y tanto de su altura como de su superficie edificada.

En Chile, la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, específicamente en el capítulo 4.3, tiene una clasificación clara sobre la resistencia al fuego que deben ofrecer los elementos estructurales, los cuales se clasifican según la siguiente tabla:

Figura 1.1 ⁽²²⁾

RESISTENCIA AL FUEGO REQUERIDA PARA
LOS ELEMENTOS DE CONSTRUCCION DE EDIFICIOS

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

En dónde los tipos (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8) y (9) corresponden a la clasificación que se les da a los elementos, ya sean muros, escaleras, elementos soportantes verticales u horizontales, entre otros. Los tipos “a”, “b”, “c” y “d” dependen del destino que tenga el edificio, es decir si es habitacional, oficinas, docentes, industriales, entre otros; de la superficie edificada, carga combustible y densidad máxima de ocupantes; y del número de pisos

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Determinar los fundamentos científico-técnicos que hay detrás de los requerimientos de resistencia al fuego de los elementos estructurales, indicados en las normativas y legislaciones nacionales y norteamericanas.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Realizar una revisión del estado del arte sobre requerimientos de resistencia estructural al fuego, analizando la normativa y reglamentación estadounidense.
- Detallar y analizar los criterios técnicos utilizados para avalar las exigencias de resistencia al fuego adoptadas, y su relación con la estrategia global de seguridad contra incendios.
- Identificar si existen falencias en la legislación chilena y hacer una propuesta general de posibles mejoras en la exigencia de resistencia al fuego de elementos estructurales.

Debemos tratar de responder ciertas preguntas como por ejemplo: ¿Es necesario evitar el colapso para permitir la evacuación? ¿Es necesario evitar el colapso para la entrada de bomberos? ¿Se evita el colapso de los edificios, cumpliendo las exigencias de resistencia al fuego? ¿Estamos bien o mal en Chile? ¿Qué buscamos con exigirle resistencia al fuego a los elementos estructurales de edificios?

Esta revisión permite evaluar el estado actual de nuestra reglamentación con respecto a Estados Unidos. Como consecuencia del estudio, se identifica si existe alguna falencia en la legislación chilena actual y se plantean posibles mejoras a ésta.

2. Historia de los requerimientos de seguridad contra incendio en edificaciones

Los primeros indicios de requerimientos de seguridad contra el fuego se remontan hacia el año 64 dC, después de que se quemara Roma, el emperador Nerón estableció un requerimiento de utilización de materiales a prueba de fuego para las paredes externas en la reconstrucción de la ciudad.

Después de la caída del imperio romano y el comienzo de la Edad Media, no fue hasta el siglo 17, durante el Renacimiento, que un enfoque técnico para la protección contra incendios volvió a surgir. Después del gran incendio de Londres de 1666, que destruyó más del 30 por ciento de la ciudad, Londres adoptó en su reglamento la edificación de casas en base a piedra y ladrillo resistente al fuego con separaciones con pared medianera. Este incendio también estimuló el interés en el desarrollo de equipos de extinción de incendios.

A lo largo de la Revolución Industrial en Gran Bretaña en el siglo 18 y en los Estados Unidos en el siglo 19, los incendios continuaron, pero comenzaron a disminuir a medida que la construcción con estructura combustible fue sustituida por mampostería, hormigón y acero. Se formaron departamentos públicos contra incendios, se instalaron suministros públicos de agua con tuberías de aguas subterráneas y bocas de incendios, y se produjo una mejora de los camiones de bomberos. Durante este mismo período, el enfoque de la ingeniería de protección contra incendios pasó a hacer frente a determinados edificios y sus contenidos. Los nuevos procesos industriales y las prácticas de almacenamiento de material suponían un riesgo de incendio muy elevado, y se produjo una serie de espectaculares incendios durante este período.

A mediados del siglo 19, se produjo una serie de graves incendios ocurridos en las fábricas textiles y de papel en Nueva Inglaterra, causados por la pelusa y restos de papel. Estos incendios se propagaban con tanta rapidez que no podían ser controlados por bomberos de la manera tradicional. La solución de la ingeniería de protección contra incendios fue la instalación de un sistema de accionamiento manual de tubos perforados en el techo, creando así uno de los primeros sistemas fijos de extinción de incendios. La primera patente para un sistema automático de rociadores fue otorgado a Henry S. Parmelee en 1874.

Durante el siglo 19, muchos de los avances en la ingeniería de protección contra incendios fueron provocados por la influencia de la industria del seguro y el deseo de minimizar las pérdidas de seguros de propiedad. Un gran número de organizaciones fueron creadas por la industria aseguradora en los EE.UU. que se encarga de establecer el concepto de ingeniería de protección contra incendios, poniendo en práctica y facilitando su crecimiento y su reconocimiento como una profesión.

Estos fueron Factory Mutual en 1835, la Junta Nacional de Seguros contra incendios en el año 1866, la Asociación de Seguros de fábrica en 1890, Underwriters Laboratories en 1893 y la National Fire Protection Association (NFPA) en 1896. Estas fueron las organizaciones fundadoras de la ingeniería de protección contra incendios. Fueron fundadas en gran medida para reducir la pérdida de vidas y bienes de fuego destructivo. Durante la primera mitad del siglo 20, el desarrollo de normativa se convirtió en el principal medio de aplicación de la ingeniería de protección contra incendios para la seguridad de la vida y la protección de la propiedad. Las lecciones aprendidas de los incendios catastróficos se aplicaron para revisar los códigos y normas, y mejorar la normativa contra incendios.

Durante este período, el cuerpo de conocimiento para apoyar la ingeniería de protección contra incendios continuó creciendo. Mucho de este conocimiento fue influenciado por y tomado de otras profesiones, como la ingeniería civil y mecánica, la arquitectura, la psicología y la ingeniería eléctrica y electrónica. El rápido desarrollo de edificios altos en acero, junto con el comportamiento de algunos edificios durante el incendio de Baltimore de 1904 condujo a un deseo de cuantificar la resistencia al fuego. El esfuerzo inicial en los EE.UU. fue dirigido por Ira Woolson del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Columbia. Expuso por primera vez las bases técnicas para predecir el comportamiento del fuego en los edificios, la curva de tiempo-temperatura.

Se desarrollaron posteriormente métodos estandarizados de ensayo al fuego para los elementos de construcción y aparecieron las normas ASTM y NFPA. Esfuerzos similares con resultados similares se llevaron a cabo en Europa.

En 1914, el Congreso de EE.UU. autorizó fondos para el National Bureau of Standards (NBS) para estudiar la resistencia al fuego. Dirigido por Simon Ingberg, se lograron avances significativos en la comprensión del funcionamiento de los sistemas de construcción y elementos cuando son expuestos a altas temperaturas.

Los primeros esfuerzos para estudiar las decisiones humanas y el movimiento de personas en un edificio como consecuencia de un incendio se produjo principalmente debido a mayores pérdidas humanas en numerosos incendios, incluyendo el fuego Iroquois Theater de 1903 que mató a 602 personas, el fuego Triangle Shirtwaist de 1911 que mató a 145 y el incendio de Coconut Grove de 1942 que mató a 492. Para evitar la repetición de estas tragedias, se desarrollaron códigos y normas para hacer frente a la cantidad, ubicación y disponibilidad de las salidas y su diseño.

Durante la segunda mitad del siglo 20, surgió la ingeniería de protección contra incendios como una profesión. Este hecho se debió principalmente al desarrollo de un cuerpo de conocimientos específicos de la ingeniería de protección contra incendios que se produjeron después de 1950. La formación de una sociedad profesional, los inicios de la consultoría independiente de ingeniería de protección contra incendios y el desarrollo de directrices de ingeniería de protección contra incendios reforzó la profesión.

En el inicio del siglo 21, los métodos de cálculo para una evaluación cuantitativa de la protección contra incendios siguen mejorando. Estos incluyen la severidad del fuego y resistencia al fuego para determinar las necesidades estructurales de protección contra incendios; propiedades de los materiales tales como las tasas de liberación de calor, la propagación del fuego, el humo desarrollado y movimiento del humo y el flujo de salida. Estos métodos, junto con la potencia de cálculo de los computadores de hoy en día, han dado lugar al desarrollo de modelos más fáciles de usar por el ingeniero de protección contra incendios. Surge lo que se conoce como seguridad ante incendio basada en prestaciones como evolución natural de la seguridad contra incendios.

En Chile, en un contexto histórico, dos factores han caracterizado el riesgo de incendio; la arquitectura española heredada de nuestro pasado colonial y el riesgo de terremoto. El uso de materiales de construcción como adobe, albañilería y concreto, en desmedro de la madera, y construcciones antisísmicas con gruesos muros perimetrales y donde además el riesgo de terremoto a desincentivado la construcción en altura, han tenido un directo impacto en la nula propagación del fuego a edificaciones aledañas y por consiguiente limitando los daños por incendio.

El primer incendio de gran escala conocido fue el de la Iglesia de la Compañía en 1861, dónde murieron más de 2000 personas, correspondiente al 2% de la población de Santiago en esos años. Éste hecho impulsó la formación de la primera compañía de bomberos en Santiago.

El 30 de Mayo de 1931 se aprueba la Ordenanza General de Construcciones y Urbanización, bajo el Decreto con Fuerza de Ley número 345 publicado en el Diario Oficial No 15,985. No fue hasta el 6 de Febrero de 1936 que la primera Ordenanza fue publicada por el Ministerio del Interior, dedicando el capítulo VII especialmente para la seguridad y protección contra incendios. Esto constituye la primera normativa chilena sobre este tema.

El Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales, IDIEM, de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, inició sus actividades relacionadas a la ingeniería de prevención de incendios en el año 1978 con la construcción del primer Laboratorio de Fuego en Chile. Junto a sus profesionales, ha participado activamente en las normas de seguridad contra incendios, colaborando en la redacción del capítulo correspondiente de la OGUC. Además de ayudar a la formación de nuevos profesionales mediante su diplomado en Ingeniería Civil sobre Diseño y Prevención de Incendios.

La normativa nacional no tuvo mayores modificaciones en cuando a incendios hasta el año 1981, después del incendio de la Torre Santa María, dónde se modificó de manera relevante. Finalmente, esta reglamentación se volvió a modificar en el año 2001, con gran influencia de la NFPA y otras normas extranjeras, quedando en lo que conocemos hoy en día.

3. Fuego y Calor

Se denomina **fuego** al conjunto de partículas o moléculas incandescentes de materia combustible, producto de una reacción química de oxidación violenta. Durante este proceso hay desprendimiento de llamas, calor y gases, desarrollándose por tanto un proceso fuertemente exotérmico.

Para que pueda existir y mantenerse en el tiempo, deben combinarse los cuatro elementos que se detallan a continuación:

- Combustible, el cuál es en general un compuesto orgánico como el carbón vegetal, la madera, petróleo y derivados, entre otros.
- Comburente, como lo es el oxígeno presente en el aire.
- Energía, encargada de la activación, como pueden ser temperaturas elevadas, una chispa u otro tipo de fuente de arranque.
- Reacción, generalmente en cadena, mediante la cual permite que se mantenga la combustión sin la presencia de una fuente de ignición.

La energía liberada por la combustión lo hace en forma de calor y es igual a la energía utilizada para romper el enlace que mantenía unidos los átomos en las moléculas del combustible. Los gases y vapores producidos por la oxidación, cuando se encuentran a altas temperaturas, corresponden a las llamas y emiten luz visible, cuando la temperatura desciende éstos pasan a ser el humo, el cual no emite luz.

Un **incendio** es una ocurrencia de fuego no controlada que puede abrasar algo que no está destinado a quemarse. Puede afectar tanto a estructuras como seres vivos. La exposición prolongada a estos eventos puede producir la muerte, generalmente por inhalación de humo o por desvanecimiento producido por la intoxicación y posteriormente quemaduras graves. También provoca pérdidas materiales y detención de actividades.

3.1. Combustibles

3.1.1. Materiales ⁽¹³⁾

La mayoría de los potenciales combustibles presentes en edificios corresponden a material orgánico originalmente derivado de plantas, animales o petroquímicos. Este material disponible puede ser parte de la estructura del edificio, materiales de revestimiento, o del contenido temporal o permanente de este.

Dentro de los materiales combustibles típicos que se pueden encontrar están aquellos derivados de plantas, como el algodón, yute, paja, cultivos, o derivados de los árboles como la madera, ya sea madera sólida, contrachapada u otros productos utilizados como paneles, papel y cartón, corcho, y muchos otros. Los derivados de animales incluyen lana, carne y alimentos. Los petroquímicos corresponden a combustibles líquidos y gaseosos, y prácticamente todos los plásticos, también conocidos como polímeros.

Todos estos materiales son hidrocarburos, sus moléculas consisten principalmente de carbón y átomos de hidrógeno, con adición de oxígeno, nitrógeno y otros en algunos casos.

3.1.2. Valor calorífico ⁽¹³⁾

El valor calorífico o calor de combustión es la cantidad de calor liberado durante la combustión completa de una unidad de masa de combustible. La tasa de calor liberado de una reacción de combustión depende de la naturaleza del material en llamas, el tamaño del fuego, y la cantidad de aire disponible. La mayoría de los combustibles sólidos, líquidos y gaseosos tienen un calor de combustión que va de los 15 a los 50 [MJ/kg].

El valor calorífico neto ΔH_c [MJ/kg] para el rango de combustibles comunes se muestran en la tabla siguiente. Este valor puede variar, por ejemplo en el caso de la madera cuando hay presencia de humedad, lo que hace disminuir su valor.

Tabla 3.1 – Valor calorífico neto para combustibles sólidos y plásticos comunes ⁽¹⁴⁾

Sólidos	[MJ/kg]	Plásticos	[MJ/kg]
Antracita	34	ABS	36
Asfalto	41	Acrílico	28
Betún	42	Celuloide	19
Celulosa	17	Epoxy	34
Carbón vegetal	35	Resina de melamina	18
Ropa	19	Fenol formaldehído	29
Carbón mineral	31	Poliéster	31
Corcho	29	Poliéster reforzado con fibra	21
Algodón	18	Polietileno	44
Grano	17	Poliestireno	40
Grasa	41	Petróleo	41
Desperdicios de cocina	18	Espuma de poliisocianurato	24
Cuero	19	Policarbonato	29
Linóleo	20	Polipropileno	43
Papel, Cartón	17	Poliuretano	23
Cera de parafina	47	Espuma de poliuretano	26
espuma de caucho	37	Cloruro de polivinilo	17
Isopreno	45	Urea-formaldehído	15
Neumático de caucho	32		
Seda	19		
Paja	16		
Madera	19		
Lana	23		

Tabla 3.2 – Valor calorífico neto para combustibles líquidos y gases comunes ⁽¹⁴⁾

Líquidos	[MJ/kg]	Gases	[MJ/kg]
Gasolina	44	Acetileno	48
Diésel	41	Butano	46
Aceite de linaza	39	Monóxido de carbono	10
Metanol	20	Hidrógeno	120
Parafina	41	Propano	46
Licor	29	Metano	50
Alquitrán	38	Etanol	27
Benceno	40		
Alcohol Bencílico	33		
Alcohol Etílico	27		
Alcohol Isopropílico	31		

3.1.3. Carga de fuego ⁽¹⁹⁾

La carga de fuego o carga combustible, corresponde a la cantidad de energía resultante de la combustión completa de los materiales combustibles existentes en un espacio contenido en el edificio. La carga de fuego en los edificios es comúnmente expresada cómo la densidad de carga combustible, la cual es el promedio de carga por metro cuadrado, expresada en [MJ/m²]. A continuación se presentan las cargas combustibles medias para distintas actividades.

Tabla 3.3 – Carga combustible media para distintas actividades ⁽¹⁴⁾

Actividad	Media [MJ/m²]
Vivienda	780
Hospital (habitación)	230
Hotel (habitación)	310
Biblioteca	1500
Oficina	420
Aula de escuela	285
Centro comercial	600
Teatro (cine)	300
Transporte (espacio público)	100

3.1.4. Tasa de liberación de calor ⁽¹³⁾

Para cualquier incendio, la tasa de liberación de calor en [MW] corresponde a la cantidad de energía liberada en [MJ] por unidad de tiempo [s].

3.2. Combustión ⁽¹³⁾

La combustión de la materia orgánica, en su forma más simple, es una reacción química exotérmica involucrando la oxidación de hidrocarburos para producir vapor de agua y dióxido de carbono. Hay muchos procesos químicos involucrados, dependiendo de la temperatura, presión y los materiales. En varias situaciones de incendio va a haber una combustión incompleta, llevando a la producción de monóxido de carbono o carbón sólido en forma de partículas de hollín en las llamas o humo. La química de los materiales va cambiando durante el proceso de combustión.

A temperatura ambiente algunos combustibles se encuentran en estado gaseoso, pero la mayoría se encuentra en estado sólido o líquido. Los gases se mezclan con el aire y se queman directamente sin cambiar de estado, en cambio los combustibles sólidos y líquidos deben ser convertidos a su fase gaseosa antes de poder quemarse. Muchos combustibles sólidos se derriten cuando son calentados, produciendo un líquido que posteriormente puede evaporar o descomponer térmicamente a un gas.

Para que pueda ocurrir el proceso de combustión en cualquier material se requiere de la presencia de oxígeno para que pueda producirse la reacción de oxidación.

Para que se produzca ignición en un objeto es necesario que la fuente de calor externa eleve su temperatura hasta un punto tal que dicho objeto alcanza su temperatura de ignición. Si las llamas del fuego producido en el objeto son lo suficientemente grandes, ya no se hace necesario tener una fuente externa de ignición para mantener la reacción de combustión. A continuación se presentan las temperaturas de ignición de algunos elementos comunes en los edificios.

Tabla 3.4 – Temperatura de Ignición, parte 1 ⁽²⁷⁾

Material	T° de ignición [°C]
Acetato de metilo	454
Acetona	465
Acetileno	305
Ácido sulfhídrico	260
Alcohol etílico	360
Aldehído acético	175
Aleación aluminio-cobre	830
Aleación aluminio-níquel	540
Aleación aluminio-silicio	670
Aluminio escamas	320
Aluminio finos	550
Amoníaco	498
Azufre	220
Asfalto	500
Benceno	560
Boro comercial	400
Brea de carbón	710
Brea de petróleo	630
Butano comercial	482 - 538
Carbón vegetal	180
Celulosa	260
Corcho	210
Cloruro de etilo	519
Cromo electrolítico colado	400
Espuma de poliuretano sin ignificar	440
Estaño atomizado	430
Etanol	363
Éter Isopropílico	443
Etileno	490

Tabla 3.5 – Temperatura de Ignición, parte 2 ⁽²⁷⁾

Material	T° de ignición [°C]
Ferro manganeso, carbono medio	290
Ferro silíceo	800
Gas natural de alto contenido en metano	482 - 632
Gasolina (110 octanos)	456
Gomas, crudas, endurecidas	350
Gomas, sintéticas, endurecidas	320
Hidrógeno	400
Hierro reducido con H ₂	290
Hierro carbonilo	310
Kerosén	210
Madera blanda	320 - 350
Madera dura	313 - 393
Metanol	385
Metano	537
Metil-acetileno propadieno, estabilizado	454
Metil-etil- cetona	404
Monóxido de carbono	609
Nafta	288
Propano (comercial)	493 - 604
Policarbonato	710
Polietileno	488
Poliestireno	573
Polímeros de nylon	430
Poliuretano (flexible)	456 - 579
PVC	507
Resina epóxica	540
Resinas de polietileno	400
Titanio	330
Tolueno	480

Además se tienen los siguientes valores para las maderas.

Tabla 3.6 – Temperatura de ignición para maderas ⁽²⁷⁾

Madera	T° de ignición [°C]
Cedro rojo occidental	192
Pino blanco	207
Pino palustre	220
Roble blanco	210
Abedul papelero	204
Pino de agujas cortas	228
Abeto Douglas	260
Abeto del norte	261
Pino blanco	264

El desarrollo del incendio en un espacio se caracteriza por la evolución de la temperatura en el tiempo, que es función de las condiciones particulares del espacio donde se produce, como su geometría, carga de fuego, ventilación y transmisión térmica. Algunas de las temperaturas típicas alcanzadas a ciertos intervalos de tiempo se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 3.7 – Temperatura vs tiempo ⁽²³⁾

Tiempo [min]	15	30	45	60	90	120	180	240
Temperatura [°C]	718	821	882	925	986	1029	1090	1133

Dicho tiempo no coincide, en general, con el desarrollo de un incendio, ni con el instante en el que se alcanza la temperatura máxima o la peor condición para el elemento en cuestión. Tampoco se relaciona directamente con el tiempo necesario para la evacuación del edificio.

Cabe destacar que como en un incendio cada elemento alcanza su peor situación en un tiempo diferente, la determinación analítica del tiempo equivalente puede suponer, en casos especiales, valores significativamente inferiores a los establecidos en la tabla 3.7.

3.3. Iniciación y expansión de un incendio ⁽¹⁸⁾

La ignición ocurre cuando una mezcla combustible de gases es calentada a una temperatura tal que va a desencadenar la reacción de oxidación exotérmica de combustión. La ignición casi siempre requiere del aporte de calor de una fuente externa.

Hay numerosas posibilidades de fuentes de calor que pueden causar incendios en edificios. Estos incluyen las fuentes de fuego como fósforos, velas, calentadores de gas, entre otros, cigarrillos, fuentes eléctricas en mal estado, elementos que produzcan radiación como la luz solar, platos calientes, calentadores y estufas, como también superficies calientes.

Una vez iniciado el incendio en alguna parte del edificio, la seguridad contra incendios depende significativamente en la velocidad de propagación del fuego. El esparcimiento del fuego inicial es causado por el esparcimiento de las llamas en el objeto que se quema o los materiales inflamables adyacentes.

El factor principal que afecta al esparcimiento del fuego es la velocidad de calentamiento del combustible por delante de la llama. Esto depende del tamaño y ubicación de la llama (causando calentamiento por radiación), la dirección del flujo de aire (causando calentamiento por convección), las propiedades térmicas del combustible (afectando la velocidad del aumento de temperatura), y de la inflamabilidad del material.

3.4. Objetos en llamas ⁽¹³⁾

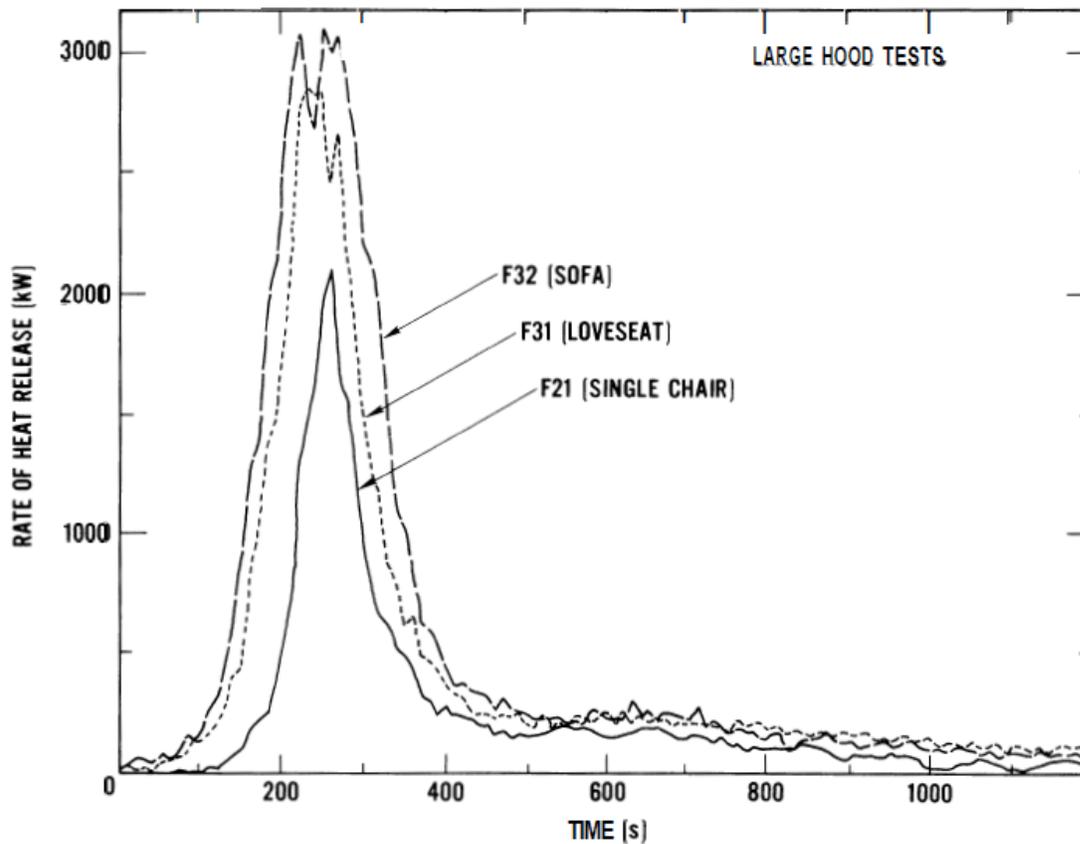
La tasa de liberación de calor de un objeto, ya sea líquido o sólido, que se esté quemando durante un incendio, depende de la velocidad a la cual el calor de las llamas puede evaporar o provocar la pirolisis del combustible restante, y a la velocidad a la cual el oxígeno puede mezclarse con el vapor de combustible sin quemar para formar llamas de difusión. Una columna de humo y gases calientes se eleva directamente por encima del fuego, enfriándose a medida que sube por la gran cantidad de aire arrastrado por esta.

Si un objeto como un mueble entra en ignición y se le deja quemar libremente, la tasa de liberación de calor crece exponencialmente a medida que las llamas aumentan y ellas irradian más calor de vuelta al material combustible. Usualmente se alcanza un *peak* en la tasa de liberación de calor, seguido por un estado estacionario de quemado y eventualmente empieza su decaimiento. Este *peak* depende de la geometría y naturaleza del combustible dentro del objeto.

Hay una gran cantidad de información disponible sobre la tasa de liberación de calor de objetos en llamas. Muchos de estos objetos, como muebles, han sido quemados utilizando calorímetros, entregando mucha información valiosa en este tema, como también sobre la producción de humo y gases de combustión. Las velocidades de combustión pueden ser muy diferentes dentro de una habitación o bajo techo.

Las velocidades de combustión de muchos materiales han sido descritas por Babrauskas y Grayson (1992) y Babrauskas (1995). Por ejemplo, la tasa de liberación de calor de algunos muebles típicos se presenta en la figura a continuación.

Figura 3.1 ⁽²⁵⁾



Muchos estudios han intentado predecir la forma en que se queman los muebles de un hogar a partir de la información de las características de combustión de los componentes individuales. Estos estudios han tenido un éxito limitado debido a la dificultad para escalar los fenómenos complejos que ocurren en un objeto real o una habitación. Para el diseño de la ingeniería en prevención de incendios es preferible utilizar los resultados obtenidos de pruebas en objetos reales.

3.5. Medios de transmisión de calor ⁽¹²⁾

El calor se transmite desde el fuego a los combustibles por cuatro medios: convección, conducción, radiación y contacto directo.

Convección: Transmisión de calor a través del movimiento del humo, gases, aire y partículas calientes. El humo y los gases calientes tienden a subir desde el lugar del incendio, al igual que el aire cercano al fuego que se va calentando. Estos transportan ascuas y partículas calientes lejos del incendio, las cuales caen posteriormente sobre materiales combustibles ocasionando fuegos colaterales, creando nuevos puntos de origen de fuego.

Conducción: Transmisión de calor a través de un sólido. Los objetos metálicos, tales como vigas, columnas, tuberías, clavos y cables son excelentes conductores del calor. De igual manera el calor puede ser conducido de una habitación ardiendo a otra adyacente a través de una tubería de metal, lo cual puede inflamar material combustible presente en la otra habitación.

Radiación: Transmisión de calor a través de ondas invisibles que se propagan por el espacio al igual que la luz. Se mueven a través del aire y no se ven afectadas por el viento; penetran superficies transparentes y traslúcidas, y son absorbidos por cualquier sólido opaco con el que entran en contacto. El calor absorbido genera vapores inflamables que se mezclan con el aire circulante y que posteriormente se inflaman por nuevas aportaciones de calor radiante.

Contacto directo: El calor se transmite por contacto directo cuando una llama o ascua alcanza un objeto. Si el contacto se mantiene durante suficiente tiempo, el objeto puede comenzar a arder.

3.6. Tipos de Incendio

Dependiendo de los materiales involucrados en un incendio, se tiene una clasificación con el fin de dar a conocer la peligrosidad de estos materiales y del agente extintor que se debe utilizar.

Tabla 3.8 – Tipos de Incendio ⁽⁵⁾

Tipo de incendio		Agentes de extinción
Clase A	Fuegos que implican madera, tejidos, goma, papel y algunos tipos de plástico o sintéticos	Agua presurizada, espuma, polvo químico seco ABC
Clase B	Fuegos que implican gasolina, aceites, pintura, gases y líquidos inflamables y lubricantes	Espuma, dióxido de carbono, polvo químico seco ABC - BC
Clase C	Inflamación de equipos que se encuentran energizados eléctricamente	Dióxido de carbono, polvo químico seco ABC - BC
Clase D	Fuegos que implican metales combustibles como el sodio, magnesio o potasio u otros que pueden entrar en ignición cuando se reducen a limaduras muy finas	Polvo químico especial

3.6.1. Fases de un incendio ^{(11), (13)}

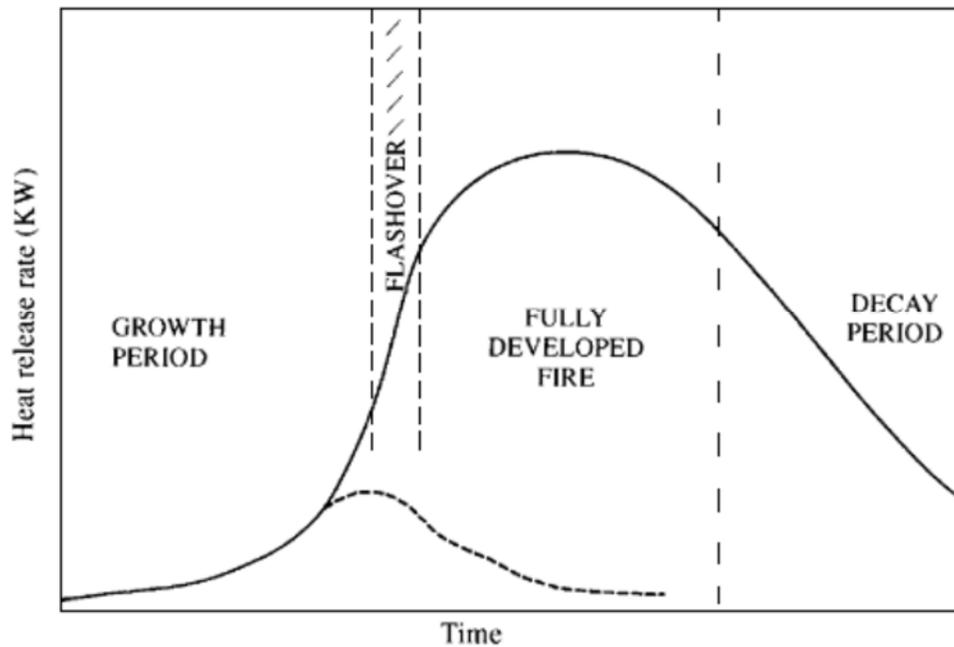
Los incendios tienen tres estados progresivos o fases, de acuerdo a factores tales como cantidad de tiempo que ha estado ardiendo, ventilación que tiene la estructura, tipo y calidad del combustible.

Un incendio estándar cuenta con las siguientes fases:

- **Fase Incipiente:** es la fase inicial de un incendio, y comienza cuando el calor generado por alguna fuente empieza a elevar la temperatura de los materiales combustibles cercanos, hasta que alguno de ellos alcanza su temperatura de ignición, momento en que surge una pequeña llama inicial. En este punto de origen se pueden generar llamas con una temperatura de más de 500°C, sin embargo la temperatura en el resto de la habitación sólo será ligeramente superior a los 38°C y el contenido de oxígeno del aire alcanzará aproximadamente un 20%.

- **Fase de libre combustión:** en esta fase el fuego continúa sin control, el calor producido se transmite a todos los materiales combustibles del área, los que arderán violentamente al alcanzar sus temperaturas de ignición. Es una etapa de máxima propagación y rápida destrucción. El oxígeno del aire se ha reducido, pero aún existe en cantidad suficiente como para mantener una combustión libre. La transferencia de calor por convección hace que los niveles superiores estén más calientes.
- **Fase Latente:** si el recinto continúa cerrado y aún no se detecta el incendio, comienza a disminuir el oxígeno del aire hasta llegar a un porcentaje inferior al 15%, lo que incrementa la generación de monóxido de carbono, al cual se agregan carbono libre y otros gases combustibles sin arder. Todo esto se traduce en espesas bocanadas de humo y en la reducción de las llamas, hasta quedar en una etapa de fuego incandescente. La habitación o el edificio se llenan de humos formados por gases combustibles que han alcanzado una temperatura superior a la de ignición, pero que no arden por insuficiencia de oxígeno ambiental.

Figura 3.2 ⁽¹³⁾



3.6.2. Fuego en estructuras cerradas ⁽⁴⁾

Durante un incendio en estructuras cerradas o confinadas hay ciertos factores que hay que tener en cuenta. El entrenamiento que deben tener los bomberos depende de estos elementos, puesto que al conocerlos se pueden evitar accidentes. Estos factores se presentan a continuación:

- i. **Capa de Techo:** se le da esta denominación a la acumulación de gases calientes en las partes altas de la estructura, originados por la acción del fuego. Una vez acumulada una gran cantidad, tienden a escapar. A través de los sistemas de ventilación se puede extraer la capa de gases y humo dentro de los edificios.
- ii. **Flashover:** también conocido como Combustión Súbita Generalizada, corresponde a la transición de un incendio desde su fase de desarrollo a la fase de totalmente desarrollado. Afecta a todo un recinto cerrado en el que todos sus materiales se ven implicados, entrando en combustión súbitamente y de manera simultánea.
- iii. **Backdraft:** se origina cuando al fuego se le agota el oxígeno, provocando que la combustión cese, pero al ser un recinto cerrado siguen habiendo gases y humo combustible a altas temperaturas. Al reintroducir oxígeno, por ejemplo al abrir una puerta, la combustión puede volver a comenzar dando por resultado un efecto explosivo. Esta explosión es producto de que los gases se calientan y aumentan su volumen súbitamente.
- iv. **Flameover:** corresponde a la condición en la que el combustible no quemado (pirolizado) del fuego original se ha acumulado en la capa de techo a una concentración suficiente (es decir, por encima del límite inferior de inflamabilidad) que se inflama y arde; puede ocurrir sin encendido y antes de la ignición de otros combustibles separados desde el origen.

3.7. Protección contra incendios ⁽²²⁾

Conjunto de medidas dispuestas en los edificios para protegerlos contra la acción del fuego. Con esto se persiguen tres fines esenciales:

- Salvar vidas humanas.
- Minimizar las pérdidas económicas producidas por el incendio.
- Lograr que el edificio pueda reanudar sus actividades en el menor plazo posible.

Las medidas fundamentales contra incendios pueden clasificarse en dos tipos:

a. Pasivas

Se basa en elementos de construcción que por sus condiciones físicas aíslan la estructura de un edificio de los efectos del fuego durante un determinado lapso de tiempo, retardando su acción y permitiendo en esa forma la evacuación de sus ocupantes antes del eventual colapso de la estructura y dando, además, tiempo para la llegada y acción de bomberos.

Los elementos de construcción o sus revestimientos pueden ser de materiales no combustibles, con capacidad propia de aislación o por efecto intumescente o sublimante frente a la acción del fuego.

b. Activas

Compuesta por sistemas que, conectados a sensores o dispositivos de detección, entran automáticamente en funcionamiento frente a determinados rangos de partículas y temperatura del aire, descargando agentes extintores de fuego tales como agua, gases, espumas o polvos químicos.

4. Seguridad contra incendios

Los edificios, ya sean usados para vivir, trabajar, entretenimiento u otros propósitos, constituyen una parte integral del hábitat humano. Es una secuela del progreso socioeconómico y del constante proceso de urbanización, el cual ha ido aumentando considerablemente en los últimos años.

Debido a que en todo edificio, sin importar el destino que tenga, se encuentran los cuatro factores necesarios para que exista fuego y por ende se produzca un incendio, es imperioso tomar todas las medidas necesarias para evitarlo y minimizar al máximo las pérdidas, tanto materiales como humanas.

Es por todo esto que todo edificio debe estar diseñado y construido de manera tal que haya disposiciones apropiadas para la prevención de incendios y el control de ignición dentro de este. Como también en el caso de que de todos modos ocurra un siniestro, que se pueda garantizar la alerta temprana de la presencia de fuego y óptimos medios de escape hacia un lugar seguro afuera de la construcción, con la capacidad de que estén protegidos y disponibles en todo momento. ⁽¹³⁾

4.1. Objetivos de la seguridad contra incendios

El objetivo principal de la protección contra incendios es limitar, a niveles aceptables, la probabilidad de muerte, lesión, y pérdida de propiedad en un incendio.

El balance entre la seguridad de vida y protección de propiedad varía dependiendo del tipo de edificio y su ocupación. ⁽¹³⁾

4.1.1. Seguridad de la vida ⁽¹³⁾

La objetivo más común para proveer seguridad de la vida es asegurando un escape seguro. Para esto es necesario alertar a la gente de la presencia de fuego, proporcionar rutas de escape adecuadas, y asegurar que estas no son afectadas por el fuego o humo mientras realizan la evacuación hacia un lugar seguro. En algunos edificios es necesario entregar seguridad a personas que no se encuentren habilitadas para escapar por sus propios medios, como lo son aquellos privados de libertad, internados en un hospital o que presenten alguna discapacidad.

Las personas que se encuentran en los edificios adyacentes también deben estar protegidos del esparcimiento del fuego. Así mismo, se debe asegurar el bienestar de los bomberos que entran al edificio a realizar maniobras de rescate o de extinción de incendio.

4.1.2. Protección de la propiedad ⁽¹³⁾

El objetivo de la protección de la propiedad incluye tanto la protección de la estructura, como la del contenido móvil. Esta protección también debe ser aplicable para los edificios vecinos. En algunas ocasiones es necesario aumentar el nivel de seguridad del edificio, si se hace imperante la reparación rápida para que vuelva a sus funciones lo antes posible después del incendio. En muchos casos el objetivo más importante es proteger objetos con valores patrimoniales.

Una pérdida desproporcionalmente más grande al incendio original puede ocurrir si este afecta la calidad de vida de las personas, como sería el caso de un siniestro en una empresa de telecomunicaciones o distribuidora de energía.

4.1.3. Protección ambiental ⁽¹³⁾

Otro de los objetivos de la protección contra el fuego es evitar daños al medioambiente. Las principales preocupaciones vienen de los gases tóxicos emitidos y de la polución del agua mientras se combate el incendio. La mejor manera de evitar un mayor impacto ambiental es extinguiendo el fuego mientras aún es pequeño.

4.2. Proceso de desarrollo de incendios ⁽¹³⁾

Los objetivos de la seguridad contra incendios usualmente se cumplen mediante una combinación de sistemas de protección activa y pasiva. *Sistemas activos* controlan el fuego o los efectos de este por medio de la acción de una persona o la activación de un dispositivo automático. *Sistemas pasivos* controlan el fuego o los efectos de este por sistemas que son construidos en la estructura del edificio, sin requerir de una operación específica en caso de incendio.

La tabla siguiente es un resumen de los sucesos principales del desarrollo de un incendio.

Tabla 4.1 – Sucesos principales en el desarrollo de un incendio ⁽¹³⁾

	Fase incipiente	Fase de libre combustión	Fase latente	Fase de decaimiento
Comportamiento del fuego	Calentamiento del combustible	Quemado controlado por el combustible	Quemado controlado por la ventilación	Quemado controlado por el combustible
Comportamiento humano	Prevención de ignición	Extinción a mano, escape	Muerte	
Detección	Detectores de humo	Detectores de humo y de calor	Humo y fuego externos	
Protección activa	Prevención de ignición	Extinción por rociadores o bomberos; control de humos	Control por bomberos	
Protección pasiva		Materiales seleccionados con resistencia suficiente para prevenir propagación de la llama	Resistencia al fuego proporcionada ; contención del fuego, prevención del colapso	

4.2.1. Comportamiento del fuego ⁽¹³⁾

En la fase incipiente del desarrollo de un incendio, el calentamiento del potencial combustible se está llevando a cabo. La ignición es el comienzo de la combustión con llama, marcando la transición a la fase de libre combustión. En este periodo, al principio el fuego se expande lentamente sobre las superficies combustibles, luego cada vez más rápido a medida que el fuego va creciendo, proporcionando retroalimentación mediante radiación de las llamas y gases calientes a otros materiales combustibles. Si la temperatura de la superficie llega alrededor de los 600°C, la velocidad de combustión aumenta rápidamente, llevando a un *flashover* el cual marca la transición a la fase latente, también conocida como *fuego completamente desarrollado*.

La velocidad de combustión en la fase de libre combustión es generalmente controlada por la naturaleza de las superficies combustibles, mientras que en la fase latente las temperaturas y el flujo de calor radiante en la habitación son tan altas que toda superficie expuesta se encuentra en llamas y la tasa de liberación de calor es gobernada por la ventilación disponible.

4.2.2. Comportamiento humano ⁽¹³⁾

Las personas que se encuentran en el lugar donde se origina el incendio pueden ver u oler algunas señales de fuego potencial durante la fase incipiente, cuando el combustible está siendo calentado por alguna fuente de calor. Muchos incendios son prevenidos por ocupantes que detienen la ignición o quitan el combustible durante la fase incipiente. Después de que ocurre la ignición el fuego se vuelve más obvio, dándoles la oportunidad a los ocupantes de extinguirlo mientras aún no se ha expandido. Una vez que el fuego ha crecido y ya abarca todo un mueble o más, no puede ser extinguido a mano, pero los ocupantes activos tienen tiempo para evacuar, previendo que el humo no ha bloqueado las rutas de escape.

Durante la fase de combustión libre las condiciones dentro de la habitación en llamas se vuelven amenazantes para la vida. Después del *flashover*, la supervivencia no es posible debida a las condiciones extremas de calor, temperatura y gases tóxicos.

Las personas en otros lugares del edificio puede que aún no se hayan dado por enterados de la ocurrencia de incendio hasta que el fuego se ha expandido considerablemente, llevando a condiciones peligrosas. Con el fin de garantizar la seguridad de la vida en caso de incendio, es esencial que el fuego sea detectado, y que los ocupantes sean alertados con suficiente información para tomar la decisión correcta y con suficiente tiempo para evacuar a un lugar seguro antes que la situación se vuelva insostenible.

4.2.3. Detección del fuego ⁽¹³⁾

Durante la fase incipiente de un incendio, la detección realizada por personas es posible por medio de la vista y el olfato. Antes de la ignición se debe tener un detector de humo bastante sensible para poder detectar el incendio oportunamente. Después de la ignición, el fuego en crecimiento puede ser detectado por los ocupantes, o por detectores de humo o calor usualmente instalados en el cielo. Sistemas automáticos de rociadores son activados por los detectores de calor. Después del *flashover*, el fuego y humo que salen por las ventanas puede ser detectado por los vecinos.

4.2.4. Protección activa ⁽¹³⁾

Se refiere al control del fuego mediante la acción tomada por una persona o un dispositivo automático. Hay varios tipos de protección activa, los cuales se señalan a continuación:

- ❖ Rociadores automáticos: es la mejor forma de protección activa que hay. Corresponde a un dispositivo de supresión o control de incendios que opera automáticamente cuando su elemento activado por calor se calienta a un nivel establecido o superior, permitiendo que el agua se descargue sobre un área especificada. ⁽¹⁰⁾
- ❖ Control de humos: sistema que opera mediante la activación de ventiladores u otros dispositivos utilizados para la remoción de humo en ciertos lugares o para presurizar escaleras. Se necesita de sistemas de control sofisticados para asegurar que el humo y los productos tóxicos son removidos del edificio y no dejándolos circular por otro lugar que se encuentre a salvo.
- ❖ Acción de personas: los ocupantes pueden prevenir la ignición o extinguir fuegos pequeños mediante el uso de extintores u otros elementos. Los bomberos pueden controlar y extinguir un incendio, sólo si llegan al lugar del siniestro antes de que el fuego se expanda demasiado.
- ❖ Detectores de humo y calor: estos sistemas no aportan en la extinción del incendio, pero ayudan a la pronta notificación de la existencia de este. Al alertar oportunamente a los ocupantes, se les da suficiente tiempo para la evacuación y para dar aviso a bomberos, lo cual es muy importante puesto que el tiempo es un factor crítico durante estas situaciones.

4.2.5. Protección pasiva ^{(2), (13), (16), (20), (22)}

Se basa en elementos de construcción que por sus condiciones físicas aíslan la estructura de un edificio de los efectos del fuego durante un determinado lapso de tiempo, retardando su acción y permitiendo en esa forma la evacuación de sus ocupantes antes del eventual colapso de la estructura y dando, además, tiempo para la llegada y acción de bomberos.

Los elementos de construcción o sus revestimientos pueden ser de materiales no combustibles, con capacidad propia de aislación o por efecto intumescente o sublimante frente a la acción del fuego.

Hay ciertas zonas dentro del edificio que tienen una función importante en caso de incendio, por lo cual es en estas zonas en donde se aplica la protección pasiva. Dentro de estas zonas se encuentran las nombradas a continuación.

4.2.5.1. Vías de Evacuación

Para cumplir con lo expuesto anteriormente, se deben asegurar ciertas condiciones mínimas para las vías de escape. Estas son:

- Deben haber suficientes rutas, tanto en número como capacidad, ubicadas idealmente para permitir el escape de las personas a un lugar seguro.
- Rutas suficientemente protegidas del efecto del fuego.
- Iluminación óptima para evitar accidentes.
- Salidas bien señalizadas.
- Contar con instalaciones apropiadas para limitar el ingreso del humo a la ruta de escape.
- Idealmente, la gente debe ser capaz de escapar sin ayuda externa.

Escaleras

Los edificios, y en general toda construcción en altura, tiene como único medio de escape las escaleras, es por esto que ellas toman un rol importantísimo en cuanto a la resistencia al fuego. Éstas deben ser capaces de soportar el incendio la mayor cantidad de tiempo posible y deben ser construidas de tal forma que no se acumule humo ni gases tóxicos. Para esto, las escaleras deben estar ventiladas hacia la atmósfera en cada descanso, y en caso de no ser posible por tratarse de una escalera interna, debe estar presurizada positivamente un mínimo de 50 [Pa].

El comportamiento humano varía mucho entre cada persona, por lo que en caso de emergencia saber cómo van a actuar es impredecible. El pánico es uno de los factores más perjudiciales al momento del egreso de los ocupantes, ya que se pueden producir más accidentes durante una emergencia, lo cual entorpece el escape.

Por eso es necesario que las escaleras se mantengan intactas durante todo el proceso de evacuación, puesto que si el fuego penetrase en ellas o si se comenzasen a llenar de humo y gases tóxicos, provocaría el caos entre las personas.

Cabe mencionar que no todas las personas tienen la misma movilidad y capacidad de reacción, por ejemplo los adultos mayores y los minusválidos. Ellos serían incapaces de utilizar las escaleras sin ayuda, por lo que se vuelve imperante que todo medio de evacuación se encuentre habilitado para que bomberos pueda realizar las maniobras de rescate.

Ascensores

En caso de incendio los ascensores no sirven como medio de escape, puesto que si debido a la emergencia se corta la corriente eléctrica, estos dejarían de funcionar y la gente quedaría atrapada. Esto provocaría el pánico entre los ocupantes y debido a que el elevador no cuenta con sistemas de ventilación, las personas podrían ahogarse debido a la acumulación de humo y gases tóxicos.

Como el ideal es que las personas puedan evacuar el edificio sin ayuda externa, se vuelve vital contar con un ascensor a prueba de incendios para permitir el escape de gente con impedimento de usar la escalera. Estos ascensores deben contar con un generador de energía propio, protegido contra el fuego, y sistemas de ventilación que permitan la extracción del humo y gases nocivos para la salud.

De todos modos, en caso de no contar con elevadores a prueba de incendio, es de vital importancia que la caja de los ascensores tenga una altísima resistencia al fuego, así como sus puertas. Esto se debe a que se trata de un compartimiento vertical que recorre toda la estructura, por lo que facilitaría el acceso del humo y gases a todos los pisos, aumentando el peligro y facilitando el esparcimiento del fuego.

Los edificios de gran altura también presentan un problema al momento de la evacuación, puesto que debido a su gran altura los tiempos de bajada por escaleras al nivel base son muy altos. Este es otro motivo que hace más y más necesario la habilitación de ascensores a prueba de incendios para este tipo de construcciones.

Muros Cortafuego

Hay que mencionar que en algunos casos los sistemas de escape que dependen en evacuación total no son los más adecuados. Este es el caso de edificios de mucha altura y también hospitales, donde se puede dar que la evacuación misma sea más perjudicial para la persona que el mismo incendio.

Es por esto que los muros cortafuego cumplen un rol vital dentro de las estructuras, tanto para evitar el esparcimiento del fuego y gases fuera del lugar donde se generó, como para proteger a los ocupantes que tengan restringido el escape del lugar. Es así que toda estructura debe subdividirse en compartimentos independientes mediante muros cortafuego.

Elementos Estructurales

La resistencia al fuego de un elemento de construcción es una medida de su habilidad de soportar los efectos del fuego en una o más formas, como las que se indican a continuación:

- a) Resistencia al colapso, es decir su habilidad de mantener su capacidad resistente a la carga.
- b) Resistencia a la penetración del fuego, es decir la habilidad de mantener la integridad del elemento.
- c) Resistencia a la transferencia de calor, es decir la habilidad de proveer aislamiento a las altas temperaturas.

Estos tres criterios se deben cumplir a cabalidad durante el tiempo para el cual fue diseñado el elemento.

Hay muchos factores que tiene relevancia en cuanto a la resistencia al fuego de los elementos estructurales, como lo son la severidad del incendio, la altura de la estructura, su ocupación, la carga combustible y la superficie edificada. A partir de estos factores se debe diseñar y construir el edificio de manera tal que, en caso de incendio, su estabilidad se mantendrá por un periodo razonable de tiempo.

4.3. Riesgo ⁽²⁸⁾

El *riesgo* se define como una función de distribución de la probabilidad sobre el espacio de todos los posibles escenarios de incendio, junto con una o más funciones sobre severidad y consecuencia, definidas también sobre dicho espacio. Esto quiere decir que a mayor riesgo de incendio, mayor es la probabilidad de que se dé un escenario que provoque la ocurrencia de éste.

El análisis del riesgo mide las muertes, los heridos y el daño a la propiedad, en lugar de detenerse en mediciones sobre cuántos cuartos o cuántos metros cuadrados alcanzaron una temperatura en particular o tenían niveles de humo o gas por encima de un umbral específico.

Un análisis de riesgo de incendio requiere varios tipos de probabilidades:

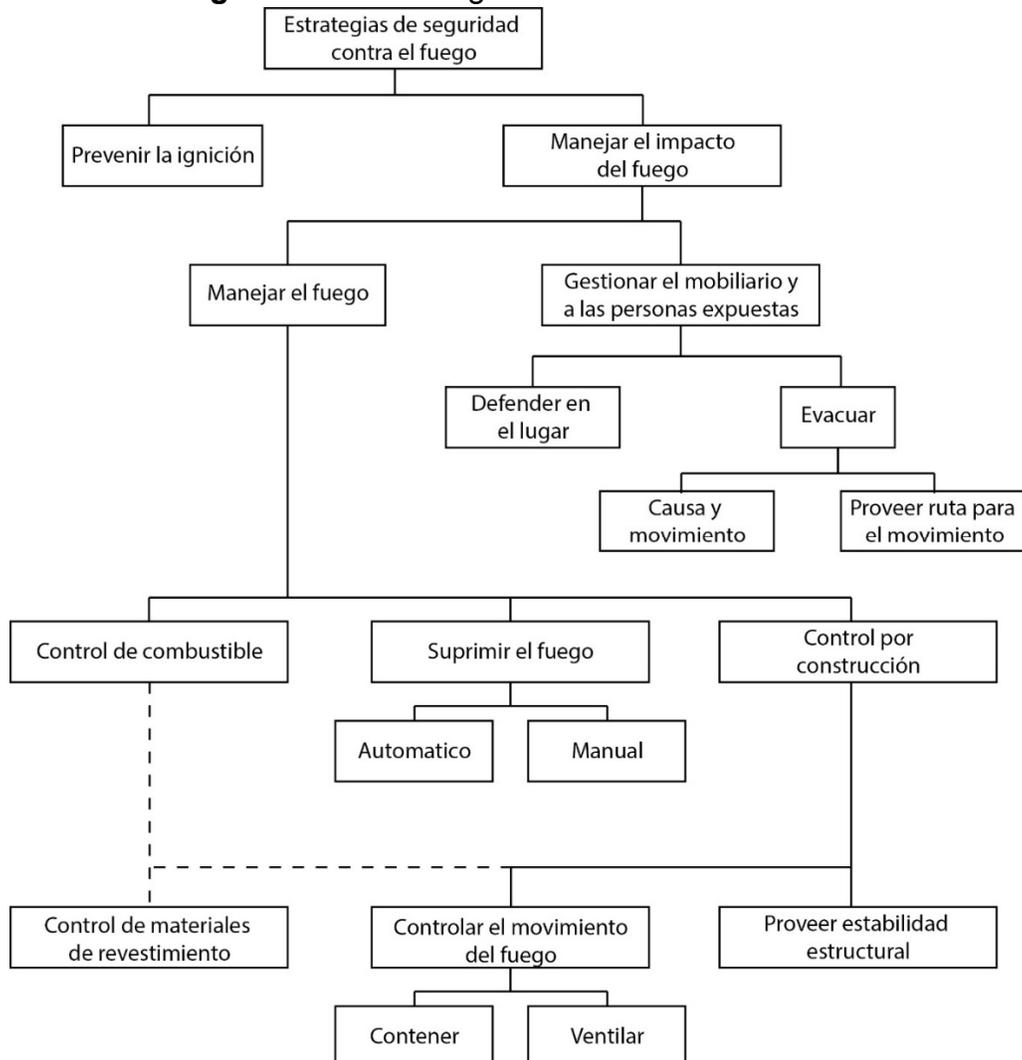
- Probabilidades de ignición: en la mayoría de los casos, la especificación del foco inicial constituye la definición total de un escenario. Es más fácil para estas probabilidades basarse en datos provenientes de incendios reales, ya que estos son los factores que se documentan rutinariamente.
- Probabilidades de desarrollo del fuego de una etapa a otra: en la mayoría de los casos no se necesitan estas probabilidades ya que pueden utilizarse modelos del desarrollo del fuego que se basan fundamentalmente en la física.
- Probabilidades de varias condiciones ambientales que afectan el desarrollo del fuego: estos cálculos dependen de condiciones ambientales tales como las dimensiones del cuarto o del espacio donde se inicia el fuego, la proximidad inicial del fuego a las barreras y superficies, las condiciones de ventilación, las aberturas hacia otros espacios, las propiedades térmicas de los revestimientos del cuarto o espacio de origen y de la carga de fuego en el lugar.
- Probabilidades del número, ubicaciones y características de los ocupantes: estas condiciones, las cuales varían considerablemente, pueden influir tanto en el rumbo del desarrollo del fuego como en el grado de daño ocasionado por este.
- Probabilidades de confiabilidad: tanto los sistemas activos de protección contra incendios como los elementos pasivos pueden variar a partir de la situación. Estas variaciones constituyen elementos de confiabilidad y también afectarán la gravedad de un incendio.

A partir de estas probabilidades se puede hacer un análisis de riesgo de incendio que incluye las decisiones de las víctimas, ubicaciones y características del lugar; factores de ignición; y fiabilidad de los sistemas de protección activa y pasiva del edificio.

4.4. Estrategia general de incendios ^{(5), (13)}

En cuanto a la seguridad contra incendio, se adopta una estrategia integral de medidas para evitar el origen de fuego, evitar su esparcimiento y asegurar el bienestar de sus ocupantes. Esta estrategia general de incendios comprende toda una serie de medidas que van evolucionando a medida que el fuego lo hace. A continuación se muestra un árbol conceptual sobre esta estrategia integral de medidas.

Figura 4.1 – Estrategia General de Incendios ⁽⁵⁾



A partir de este árbol conceptual desarrollado por la National Fire Protection Association (NFPA) se obtiene la estrategia general de incendios que se explica a continuación:

- Prevención frente a manejo: una medida esencial es la prevención de la ignición, puesto que sin esta no se produce el incendio, pero si no se logra hay que poder manejar el impacto del fuego. Mediante programas de prevención de incendios se puede reducir sustancialmente la probabilidad de igniciones indeseadas, sin embargo hay veces en que estas medidas no son suficientes o en que el incendio es provocado maliciosamente.
- Manejar el impacto del fuego: esto se puede lograr controlando el fuego en sí, para que no se expanda, o manejando a las personas expuestas y la propiedad.
- Manejo de personas expuestas y propiedad: las personas y la propiedad expuesta al fuego puede ser protegida moviéndolas a un lugar seguro o protegiéndolas en el lugar. La estrategia más usual es la evacuación del edificio, sin embargo hay ocasiones en que la persona presenta alguna discapacidad o restricción de movimiento por lo cual se debe proteger en el lugar o trasladarlas a un refugio dentro del edificio.
Para lograr que las personas evacúen y se protejan, el fuego debe ser detectado, sus ocupantes deben ser notificados, y debe haber una ruta de escape segura.
- Control del fuego: se muestran tres opciones para el manejo del fuego. En el primer caso se puede controlar la fuente de combustible, limitando su geometría o la cantidad de combustible. La segunda opción es suprimir el incendio y la tercera es controlar el fuego por la construcción. La eliminación del fuego puede ser de forma manual o automática, pero en cualquier caso esto requiere de una detección temprana del fuego y la aplicación de suficientes cantidades de agente extintor, usualmente agua.
- Control por construcción: para controlar el fuego por construcción es necesario controlar el movimiento del fuego y proveer estabilidad estructural. El crecimiento del fuego y su severidad puede ser controlado limitando la cantidad de combustible en la habitación y su facilidad para expandirse, esto se logra seleccionando e instalando un adecuado revestimiento en la construcción.

- Proporcionar estabilidad estructural: proveer de estabilidad estructural es esencial en un edificio para asegurar de que se mantenga en pie durante el incendio y pueda ser fácilmente reparado para retomar su uso. Esta estabilidad es imprescindible para proteger a las personas y la propiedad, ya que si ocurre un colapso las vidas corren peligro, los medios de evacuación se pueden bloquear e impedir el ingreso de bomberos para realizar sus maniobras de extinción y rescate.

- Controlar el movimiento del fuego: se tienen dos estrategias para controlar el movimiento del fuego, las cuales son o contenerlo o ventilarlo al exterior. Ventilar el fuego es útil para reducir su impacto en casas de un solo piso o en el piso superior de un edificio alto. Al incrementar la ventilación se aumenta la severidad del fuego, pero el esparcimiento por el edificio y su impacto térmico en la estructura se ven reducidos. Contener el fuego para evitar que se esparza es la herramienta principal de la protección pasiva contra incendios. Los muros y las losas de muchos edificios tienen una resistencia al fuego suficiente para contener el incendio en el lugar de origen. Prevenir que el fuego crezca hasta una gran envergadura es uno de los componentes más importantes en la estrategia de seguridad contra incendios. Evitar el esparcimiento del fuego a los edificios vecinos mediante radiación es imperante, y se logra limitando el tamaño de las aberturas en los muros exteriores. El movimiento del humo y los gases tóxicos también puede ser controlado por ventilación o contención. Remover el humo es una estrategia importante para que no disminuyan la visibilidad ni entorpezca la evacuación. Presurización de las vías de escape y barreras de humo son utilizadas para contener el esparcimiento de humo en el edificio.

5. Resistencia al fuego (RF)

Como se indica en el capítulo anterior, los objetivos de la seguridad contra incendios se logran mediante una combinación de sistemas de protección activos y pasivos. *Sistemas activos* controlan el fuego o sus efectos por medio de una acción tomada por una persona o un dispositivo automático. *Sistemas pasivos* controlan el fuego y sus efectos mediante sistemas que son construidos en la estructura o revestimiento del edificio, sin requerir de una operación específica al momento de un incendio. El componente más importante de la protección pasiva es la **resistencia al fuego (RF)**, la cual está diseñada para prevenir el esparcimiento del fuego y un colapso de la estructura.

La *resistencia al fuego* es una medida de la habilidad de un elemento estructural para resistir el fuego. Es usualmente cuantificada como el tiempo por el cual el elemento puede cumplir con cierto criterio mientras está expuesto a un test de resistencia. La resistencia al fuego también puede ser cuantificada usando la temperatura o capacidad de carga del elemento estructural expuesto al fuego. ⁽¹³⁾

5.1. Objetivos de la Resistencia al Fuego ⁽¹³⁾

Los objetivos del por qué darle resistencia al fuego a los elementos estructurales necesita ser establecido teniendo en cuenta que la resistencia al fuego es sólo uno de los componentes de toda la estrategia general de incendios. Los elementos estructurales son proporcionados con RF para controlar la propagación del fuego o para prevenir el colapso estructural, o ambos, dependiendo de su función. Los objetivos del por qué proporcionar resistencia al fuego a los elementos estructurales se indican a continuación.

- Prevenir el esparcimiento del fuego dentro del edificio. Esto se logra dividiendo el edificio en compartimentos independientes mediante muros cortafuego, los cuales previenen la propagación del incendio durante su *tiempo de RF*. Las muchas razones para proporcionar compartimentos independientes incluyen el incrementar el tiempo disponible para evacuar, limitar el área de posibles pérdidas, reducir el impacto del fuego en la estructura, separar diferentes ocupaciones dentro de un mismo edificio, aislar riesgos y proteger las rutas de escape.
- Reducir la probabilidad de que el fuego se expanda a otros edificios. Para esto se debe dar suficiente resistencia al fuego a los muros exteriores para que puedan mantenerse en pie y contener el incendio durante todo su *tiempo de RF*.

- Prevenir colapsos estructurales. Los elementos estructurales deben tener suficiente resistencia al fuego para poder mantener su estabilidad durante todo su *tiempo de RF*. Prevenir el colapso es esencial para miembros estructurales que soportan carga y para barreras que además de soportar carga proveen contención. La resistencia al fuego debe ser proporcionada a los elementos soportantes de carga principales, y a todo elemento secundario que soporte o entregue estabilidad a las barreras o elementos principales.
- Prevenir el colapso también es esencial para proteger a las personas y la propiedad dentro del edificio, y para poder repararlo después del incendio.

5.2. Tiempo de RF ⁽¹³⁾

El término *tiempo de RF* no se encuentra definido con precisión. Dependiendo de la importancia del edificio, los requerimientos del propietario, y las consecuencias de un colapso estructural o el esparcimiento del fuego. Este tiempo se determina de acuerdo a alguno de los siguientes factores:

- 1) Tiempo requerido por los ocupantes para escapar del edificio,
- 2) Tiempo necesario para que los bomberos realicen sus maniobras de rescate,
- 3) Tiempo necesario para que bomberos puedan rodear y contener el fuego,
- 4) Duración de un incendio dentro de un compartimento independiente sin intervención de terceros.

Las normas en los distintos países usan estos tiempos de manera diferente para los distintos tipos de ocupación. Muchas casas de un piso son diseñadas para proteger las rutas de escape y para mantenerse en pie lo suficiente para que sus ocupantes evacuen (tipo (1)), después de lo cual el fuego destruye completamente la vivienda. Alternativamente, los edificios de gran altura, o aquellos en los que sus ocupantes no puedan escapar por sus propios medios, deben ser diseñados para prevenir una expansión del incendio y un colapso estructural (tipo (4)). Los tipos (2) y (3) son tiempos intermedios que son aplicables a edificios de mediana envergadura, para proteger la vida o proteger patrimonio, respectivamente.

Se puede ver que proporcionar resistencia al fuego a los elementos estructurales puede ser esencial, o sin importancia, o en algún punto intermedio, dependiendo del caso. En algunas ocasiones la estructura puede tener un rol importante por lo que el colapso es inaceptable, incluso en el mayor incendio previsible. Esto se puede dar en edificaciones en las que la evacuación es lenta o imposible, o cuando hay un patrimonio de gran valor dentro.

En otras ocasiones, el rol de la estructura puede ser virtualmente nulo por lo que un colapso de la estructura después de un tiempo es aceptable. Eso se da cuando la evacuación es rápida y expedita, no hay objetos de valor dentro y no hay riesgo de que el fuego se expanda a las construcciones aledañas.

5.3. Ensayos de resistencia al fuego

Chile y Estados Unidos tienen normas que especifican la resistencia al fuego de los elementos estructurales, los cuales indican la mínima resistencia solicitada. Con el fin de conocer si los elementos a utilizar en la obra cumplen con estos requerimientos, es necesario someterlos a un ensayo de RF. Cabe mencionar que estos ensayos no pretenden simular un incendio real, si no que establecen un método estándar de comparación entre el comportamiento frente al fuego de los elementos estructurales.

5.3.1. Chile ⁽²⁴⁾

En Chile, el procedimiento establecido para la realización del ensayo se encuentra especificado por la INN en su norma NCh 935/1 – Ensayo de resistencia al fuego, Parte 1: Elementos de construcción en general. Esta norma tiene como objetivo establecer las condiciones de ensayo y los criterios que permiten determinar la resistencia al fuego de elementos de construcción en general.

Esta norma fue basada en la ISO 834-80 *Fire resistance tests – Elements of building construction*, UNE 23093-81 *Ensayo de la resistencia al fuego de las estructuras y elementos de la construcción*, ASTM E 119-80 *Standard Methods of Fire Tests of Building Construction and Materials*, NFPA 251-78 *Standard Methods of Fire Tests of Building Construction and Materials* y DIN 4102-77 *Teil 2 – Braud ver halten von Baustoffen und Bauteilen; Bauteile; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen*.

Para realizar los ensayos lo primordial es contar con un horno capaz de someter al elemento en ensayo a las condiciones de temperatura indicadas por la curva tiempo-temperatura, y una presión de 10 ± 2 [Pa] durante todo el período de calentamiento, y que utilice un combustible de combustión lo más limpia posible. Para la medición de la temperatura interior del horno y de las temperaturas superficiales de las probetas de ensayo se debe utilizar termocuplas.

Además se deberá contar con un sistema mecánico de cargas por si fuese necesario ensayar el elemento con una carga aplicada.

La temperatura en el interior del horno deberá ser controlada de manera que varíe en función del tiempo, de acuerdo a la siguiente fórmula.

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

Dónde:

t: es el tiempo expresado en minutos contado desde el inicio del ensayo;

T: es la temperatura del horno en el instante t, medida en °C;

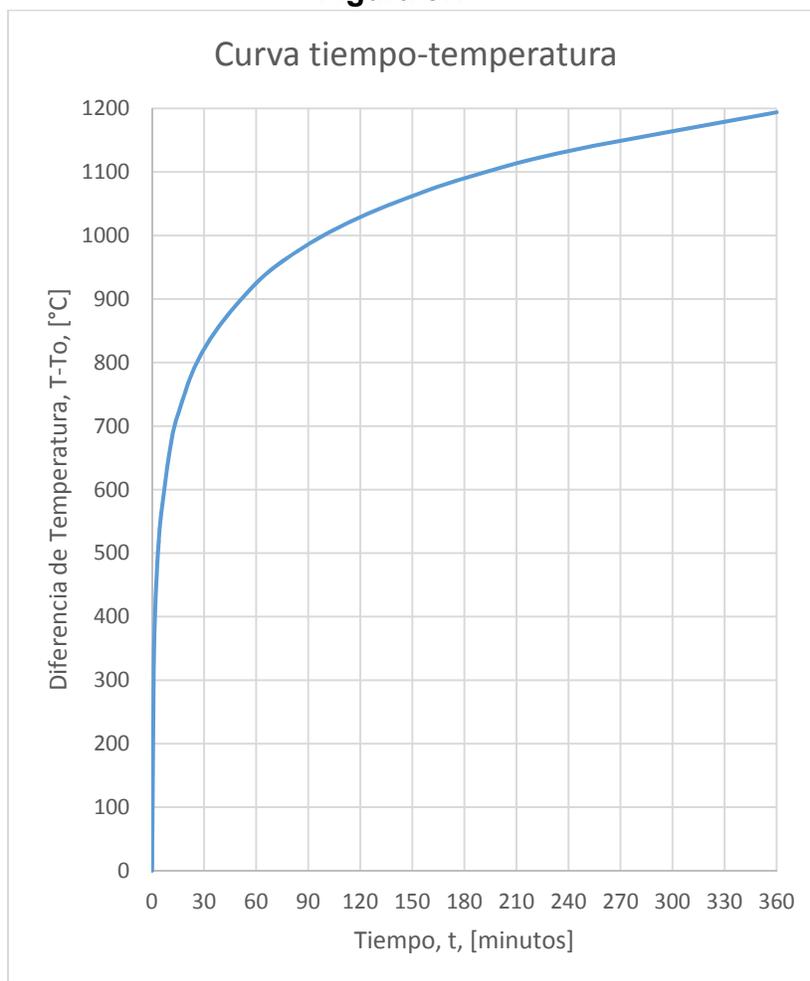
T₀: es la temperatura inicial del horno, medida en °C, la que fluctúa entre los 0 y 40 °C.

De esta ecuación se obtienen los valores numéricos que se indican en la tabla y se grafican a continuación, mostrando la curva normal tiempo-temperatura.

Tabla 5.1 ⁽²⁴⁾

Tiempo [min]	Elevación de la temperatura en el horno (T-T₀) [°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 5.1 ⁽²⁴⁾



Los elementos a ensayar deben tener su tamaño real, sin partes recortadas, ni elementos reproducidos a escala. En caso de elementos muy grandes, se puede utilizar elementos representativos de una producción estándar. Para elementos verticales las dimensiones mínimas son de 2 [m] de longitud y 2,2 [m] de ancho, y para elementos horizontales las dimensiones mínimas son de 3x4 [m].

El elemento a ensayar se debe analizar en condiciones normales de trabajo a fin de reproducir, durante el ensayo, un sistema similar de empotramiento, apoyos y cargas a las que será sometido. En caso de que las condiciones de servicio sean inciertas se utilizará un apoyo simple. Los elementos que no soporten carga no deben ser sometidos a una carga externa durante el ensayo.

La resistencia al fuego de un elemento, debe juzgarse según los criterios de falla que se señalan a continuación.

Criterios de Falla

Los tres criterios de falla para los ensayos de resistencia al fuego son *estabilidad*, *integridad* y *aislamiento*. Para cumplir con el criterio de *estabilidad*, el elemento estructural debe ser capaz de mantener sus funciones de soporte de cargas y aguantar las cargas aplicadas durante toda la duración del ensayo, sin colapso estructural. Muchas normas de ensayo tienen un límite en la deformación del elemento, así el ensayo puede ser detenido antes de que se produzca la falla.

Los criterios de *integridad* y *aislación* están destinados a probar la habilidad de una barrera a contener el fuego, para prevenir la propagación del incendio desde el cuarto de origen. Para cumplir con el criterio de *integridad*, el elemento ensayado no debe desarrollar grietas o fisuras que puedan permitir el paso de humo y gases calientes. Para cumplir con el criterio de *aislamiento* la temperatura del lado no expuesto al fuego durante el ensayo no debe exceder un límite específico de temperatura.

Dependiendo de la función que cumpla cada elemento estructural dentro de la estructura, estos deben cumplir uno o más de los criterios de falla nombrados anteriormente. Estos se presentan a continuación.

Tabla 5.2 ⁽¹³⁾

	Estabilidad	Integridad	Aislamiento
Tabique		X	X
Puerta		X	X
Muro de carga	X	X	X
Losa	X	X	X
Viga	X		
Columna	X		
Acristalamiento		X	

La resistencia al fuego de los elementos se expresará como el tiempo, en minutos, desde el comienzo del ensayo, hasta que se presenten alguno de los criterios de falla señalados previamente. Según el tiempo alcanzado se clasifican de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 5.3 ⁽²⁴⁾

Clase F 0	duración	$\geq 0 < 15$	[min]
Clase F 15	duración	$\geq 15 < 30$	[min]
Clase F 30	duración	$\geq 30 < 60$	[min]
Clase F 60	duración	$\geq 60 < 90$	[min]
Clase F 90	duración	$\geq 90 < 120$	[min]
Clase F 120	duración	$\geq 120 < 150$	[min]
Clase F 150	duración	$\geq 150 < 180$	[min]
Clase F 180	duración	$\geq 180 < 240$	[min]
Clase F 240	duración	≥ 240	[min]

Esto quiere decir que, por ejemplo, si un muro se clasifica como F 120 esto significa que durante un incendio, este muro soportará la acción del fuego y no presentará ninguna falla durante un rango de tiempo que va desde los 120 minutos hasta los 150 minutos.

A partir de esta clasificación se puede determinar qué elementos cumplen con los requerimientos mínimos de resistencia al fuego establecidos por la normativa chilena. Estos requerimientos serán tratados en el capítulo siguiente.

El MINVU entra un listado oficial de comportamiento al fuego de elementos y componentes de la construcción. Este listado contiene prácticamente todos los materiales utilizados en la construcción con sus respectivas resistencias y composición, y en caso de que un elemento no aparezca en el listado, se debe hacer el procedimiento de ensayo pertinente en un laboratorio acreditado por el MINVU.

Este listado agrupa los elementos de la siguiente manera:

- A. Muros – Paramentos – Paneles Verticales
- B. Pilares – Elementos Estructurales Verticales
- C. Puertas - Elementos Constructivos Verticales
- D. Losas – Elementos Estructurales Horizontales
- E. Escaleras – Elemento Inclinado
- F. Complejo Cielo – Techumbre
- G. Entramados de Entrepisos – Elementos Estructurales Horizontales
- H. Vigas – Elementos Estructurales Horizontales
- I. Elementos Protectores

5.3.2. Estados Unidos ⁽⁹⁾

En Estados Unidos, el procedimiento establecido para la realización del ensayo se encuentra especificado por la norma NFPA 251 – *Standard Methods of Tests of Fire Endurance of Building Construction and Materials*. Esta norma tiene como objetivo establecer las condiciones de ensayo y los criterios que permiten determinar la resistencia al fuego de elementos de construcción en general.

Esta norma clasifica los elementos ensayados basándose en el rendimiento de estos durante el periodo de exposición al fuego, y no para determinar su idoneidad para su uso después del incendio. Esta clasificación señala en términos generales las propiedades de resistencia al fuego de los elementos de construcción.

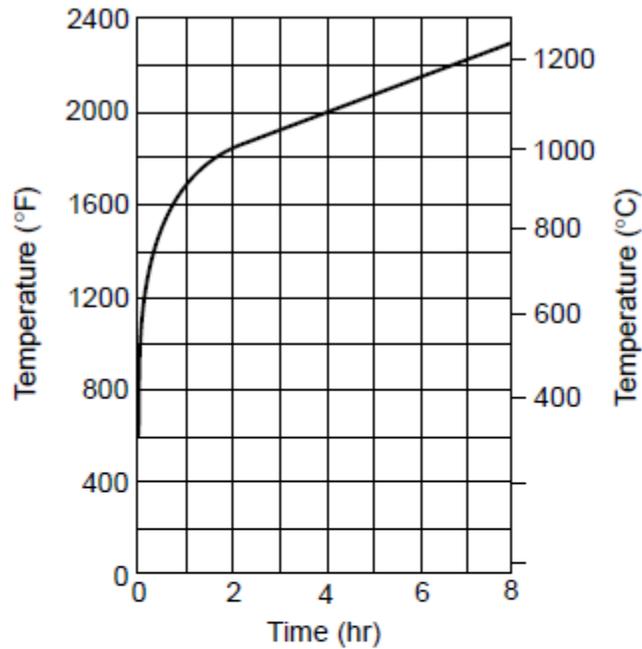
El ensayo expone al elemento a un incendio estándar que es controlado para lograr temperaturas específicas a lo largo de un periodo de tiempo específico. Se evalúa la duración del tiempo en el cual el elemento contiene el fuego, retiene su integridad estructural, o exhibe ambas propiedades, dependiendo de que se esté ensayando.

Cabe destacar que la exposición al fuego en un ensayo no debe ser considerada como representativa para todas las condiciones de incendio, las cuales pueden variar dependiendo de su naturaleza, carga combustible, ventilación, tamaño de la habitación y su configuración, y características de disipación de calor del compartimento. Sin embargo, el ensayo provee una medida relativa del rendimiento de los elementos comparables bajo específicas condiciones de exposición al fuego.

La realización de ensayos de resistencia al fuego de materiales de construcción deberá ser controlada por la curva estándar de tiempo-temperatura. El inicio del ensayo la temperatura dentro del horno debe ser la temperatura ambiente.

Esta curva tiempo-temperatura se presenta a continuación.

Figura 5.2 ⁽⁹⁾



Note: The following are the points that determine the curve.

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

El horno utilizado debe ser capaz de alcanzar estas temperaturas en los tiempos especificados. Las temperaturas dentro del horno serán obtenidas mediante el uso de no menos de nueve termocuplas para losas, muros o tabiques y no menos de ocho termocuplas para vigas y columnas. La precisión de la toma de datos debe ser tal que el área bajo la curva tiempo-temperatura obtenida promediando los resultados de las lecturas del pirómetro, no varía más que un 5-10% del área bajo la curva estándar de tiempo-temperatura.

El elemento a ensayar debe ser de los mismos materiales, dimensiones y mano de obra que el elemento original. Se debe asegurar que el espécimen a ensayar no sea dañado para que no cambian sus propiedades y calidad después de su fabricación y durante el ensayo.

El ensayo de resistencia al fuego del elemento debe incluir las cargas a las que se encontrará expuesto en el edificio. Este durará hasta que ocurra una falla, o hasta que la muestra haya superado las condiciones de prueba por un período igual al que se especifica en las condiciones de aceptación para el tipo determinado de construcción.

Los criterios de falla para los elementos estructurales dentro del ensayo son los siguientes:

Para muros, tabiques, y losas:

- a) Transmisión de calor;
- b) Transmisión de gases calientes a través del elemento, suficiente para causar la ignición de desperdicios de algodón;
- c) Pérdida de su capacidad de carga.

Para elementos de carga individuales como vigas y columnas:

- a) Pérdida de la capacidad de carga del elemento, bajo las mismas condiciones de apoyo.

6. Normativa

6.1. Normativa de Chile Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones ⁽²²⁾

En Chile, las condiciones de seguridad contra incendios están reguladas por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), específicamente en el capítulo 3. Esta legislación establece que todo edificio debe cumplir, según su destino, con las normativas mínimas de seguridad contra incendios, como asimismo, con todas las disposiciones sobre la materia.

Las disposiciones contenidas en esta normativa persiguen, como objetivo fundamental, que el diseño de los edificios asegure que se cumplan las siguientes condiciones:

- Que se facilite el salvamento de los ocupantes de los edificios en caso de incendio.
- Que se reduzca al mínimo, en cada edificio, el riesgo de incendio.
- Que se evite la propagación del fuego, tanto al resto del edificio como desde un edificio a otro.
- Que se facilite la extinción de los incendios.

Esta ordenanza presenta una clasificación que establece que los edificios que requieran protegerse contra el fuego deberán proyectarse y construirse según alguno de los cuatro tipos que se señalan en la tabla siguiente y los elementos que se utilicen en su construcción deberá cumplir con la resistencia al fuego que ahí se indica.

Figura 6.1 ⁽²²⁾

RESISTENCIA AL FUEGO REQUERIDA PARA
LOS ELEMENTOS DE CONSTRUCCION DE EDIFICIOS

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

SIMBOLOGÍA:

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

Para aplicar lo dispuesto en la tabla anterior 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 tablas siguientes:

Tabla 6.1 ⁽²²⁾

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	b	a
	hasta 500	d	c	c	b	b	b	a
Museos	Sobre 1.500	c	c	b	b	b	a	a
	sobre 500 y hasta 1.500	c	c	c	b	b	b	a
	hasta 500	d	c	c	b	b	b	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

Tabla 6.2 (22)

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

Tabla 6.3 (22)

DESTINO DEL EDIFICIO	DENSIDAD DE CARGA COMBUSTIBLE (*)		NUMERO DE PISOS					
	Media (MJ/m ²)	Puntual Máxima (MJ/m ²)	1	2	3	4	5	ó más
	según NCh 1916	según NCh 1993						
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 hasta 500	sobre 3.500 y hasta 6.000 hasta 3.500	d	d	c	c	b	b
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 hasta 1.000	sobre 6.000 y hasta 10.000 hasta 6.000	d	c	c	b	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	b
	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 hasta 500	sobre 3.500 y hasta 6.000 hasta 3.500	d	d	d	c	c	c

6.2. Normativa de Estados Unidos - NFPA (2), (6), (7), (8)

La NFPA especifica sus requerimientos de resistencia al fuego a lo largo de tres tomos. El primero corresponde a la NFPA 220, en dónde se especifica la clasificación de los tipos de construcción y su resistencia al fuego correspondientes. Estos son:

- Tipo I (443 o 332): son aquellas construcciones en las que sus miembros estructurales, incluyendo muros, columnas, vigas, cerchas, arcos y losas, son de materiales aprobados como no combustibles o de combustibilidad limitada, y tienen una resistencia no menor a la especificada en la tabla 6.4.
- Tipo II (222, 111, o 000): son aquellas construcciones que no califican en el tipo I, y sus elementos estructurales son de materiales aprobados como no combustibles o de combustibilidad limitada, y tienen una resistencia no menor a la especificada en la tabla 6.4.
- Tipo III (211 o 200): son aquellas construcciones en las cuales los muros exteriores, o elementos que formen parte del muro exterior, son de materiales aprobados como no combustibles o de combustibilidad limitada, y sus elementos interiores son entera o parcialmente de madera de dimensiones menores a las del tipo IV, o materiales no combustibles.
- Tipo IV (2HH): construcciones en las que los muros exteriores y parte de los interiores son de materiales no combustibles, y los otros elementos estructurales interiores son de madera sólida o laminada.
- Tipo V (111 o 000): son aquellas construcciones en las que sus elementos estructurales exteriores e interiores son entera o parcialmente de madera.

Tabla 6.4 ⁽⁸⁾

	Type I		Type II			Type III		Type IV	Type V	
	443	332	222	111	000	211	200	2HH	111	000
Exterior Bearing Walls										
Supporting more than one floor, columns, or other bearing walls	4	3	2	1	0 ¹	2	2	2	1	0 ¹
Supporting one floor only	4	3	2	1	0 ¹	2	2	2	1	0 ¹
Supporting a roof only	4	3	1	1	0 ¹	2	2	2	1	0 ¹
Interior Bearing Walls										
Supporting more than one floor, columns, or other bearing walls	4	3	2	1	0	1	0	2	1	0
Supporting one floor only	3	2	2	1	0	1	0	1	1	0
Supporting roofs only	3	2	1	1	0	1	0	1	1	0
Columns										
Supporting more than one floor, columns, or other bearing walls	4	3	2	1	0	1	0	H ²	1	0
Supporting one floor only	3	2	2	1	0	1	0	H ²	1	0
Supporting roofs only	3	2	1	1	0	1	0	H ²	1	0
Beams, Girders, Trusses, and Arches										
Supporting more than one floor, columns, or other bearing walls	4	3	2	1	0	1	0	H ²	1	0
Supporting one floor only	3	2	2	1	0	1	0	H ²	1	0
Supporting roofs only	3	2	1	1	0	1	0	H ²	1	0
Floor Construction	3	2	2	1	0	1	0	H ²	1	0
Roof Construction	2	1 ^{1/2}	1	1	0	1	0	H ²	1	0
Exterior Nonbearing Walls ³	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹

Otra norma es la NFPA 101, la cual trata sobre los temas relacionados con la seguridad de las personas. Esta norma entrega las definiciones y condiciones que debe cumplir la edificación para entrar a su correspondiente clasificación de ocupación. Además entrega los requerimientos que debe cumplir cada ocupación en lo relacionado con las vías de evacuación y que consideraciones tomar para edificios ya existentes que fueron construidos antes de la redacción de la norma.

Finalmente la norma que entrega requerimientos especiales para la resistencia al fuego, dependiendo del tipo de ocupación es la NFPA 5000. La cual nos presenta la siguiente tabla.

Tabla 6.5 (6)

Construction Type	TYPE I				TYPE II				TYPE III				TYPE IV		TYPE V					
	442		332		222		111		000		211		200		2HH		111		000	
	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N
Maximum building height (ft)	UL	UL	420	400	180	160	85	65	75	55	85	65	75	55	85	65	70	50	60	40
OCCUPANCY																				
Assembly >1000	UL	4	UL	4	12	4	3	2	1	NP	3	2	NP	NP	3	2	3	2	NP	NP
	UL		UL		UL		15500		8500		14000		NP		15000		11500		NP	
Assembly >300	UL	4	UL	4	12	4	4	3	2	1	4	2	1	1	4	2	4	2	1	1
	UL		UL		UL		15500		8500		14000		8500		15000		11500		5500	
Assembly ≤300	UL	7	UL	7	12	7	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	4	3	2	1
	UL		UL		UL		15500		8500		14000		8500		15000		11500		5500	
Assembly, outdoor	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	4	3	3	2	4	3	3	2	2	1
	UL		UL		UL		UL		UL		UL		UL		UL		UL		UL	
Business	UL	UL	UL	UL	12	11	6	5	5	4	6	5	5	4	6	5	4	3	3	2
	UL		UL		UL		37500		23000		28500		19000		36000		18000		9000	
Board & Care, large	UL	NP	UL	NP	12	NP	3	NP	2	NP	2	NP	1	NP	2	NP	2	NP	1	NP
	UL		UL		55000		19000		10000		16500		10000		18000		10500		4500	
Board & Care, small	UL	UL	UL	UL	12	11	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	3	3	2
	UL		UL		UL		24000		16000		24000		16000		20500		12000		7000	
Day Care	UL	2	UL	2	12	2	6	1	4	1	4	1	2	1	2	1	4	1	2	1
	UL		UL		60500		26500		13000		23500		13000		25500		18500		9000	
Detention & Correctional	UL	7	UL	7	12	7	2	2	2	NP	2	2	2	NP	2	2	2	2	2	NP
	UL		UL		UL		15000		10000		10500		7500		12000		7500		5000	
Educational	UL	UL	UL	UL	12	5	4	3	3	2	4	3	3	2	4	3	2	1	2	1
	UL		UL		UL		26500		14500		23500		14500		25500		18500		9500	
Health Care	UL	NP	UL	NP	12	NP	3	NP	1	NP	1	NP	NP	NP	1	NP	1	NP	NP	NP
	UL		UL		UL		15000		11000		12000		NP		12000		9500		NP	
Health care, Ambulatory	UL	UL	UL	UL	12	11	6	5	5	1	6	5	5	1	6	5	4	3	3	1
	UL		UL		UL		37500		23000		28500		19000		36000		18000		9000	

Construction Type	TYPE I				TYPE II				TYPE III				TYPE IV		TYPE V					
	442		332		222		111		000		211		200		2HH		111		000	
	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N
Industrial, ord. hazard	UL	UL	UL	UL	12	11	5	4	3	2	4	3	3	2	5	4	3	2	2	1
	UL		UL		UL		25000		15500		19000		12000		33500		14000		8500	
Industrial, low hazard	UL	UL	UL	UL	12	11	6	5	4	3	5	4	4	3	6	5	4	3	3	2
	UL		UL		UL		37500		23000		28500		18000		50500		21000		13000	
Mercantile	UL	UL	UL	UL	12	11	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	3	2	1
	UL		UL		UL		21500		12500		18500		12500		20500		14000		9000	
Residential	UL	UL	UL	UL	12	11	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	3	3	2
	UL		UL		UL		24000		16000		24000		16000		20500		12000		7000	
Residential, 1- & 2- family	UL	UL	UL	UL	12	11	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	3	3	2
	UL		UL		UL		UL		UL		UL		UL		UL		UL		UL	
Storage, ord. hazard	UL	UL	UL	UL	12	11	5	4	4	3	4	3	4	3	5	4	4	3	2	1
	UL		UL		48000		26000		17500		26000		17500		25500		14000		9000	
Storage, low hazard	UL	UL	UL	UL	12	11	6	5	5	4	5	4	5	4	6	5	5	4	3	2
	UL		UL		79000		39000		26000		39000		26000		38500		21000		13500	

7. Análisis de los factores que determinan las exigencias de resistencia al fuego en Chile y Estados Unidos

La resistencia al fuego de un elemento de la construcción varía dependiendo de diferentes factores. Estos factores tienen una relación directa con los tiempos de evacuación, el trabajo de bomberos y el desarrollo del incendio, por lo cual a partir de estos van aumentando o disminuyendo las exigencias de resistencia al fuego.

- NÚMERO DE PISOS

El número de pisos tiene relación directa con la altura del edificio, ya que a mayor número de pisos, mayor altura. La OGUC, en su artículo 4.3.5, establece que se entiende por piso a la distancia entre el suelo y el punto más alto del cielo del mismo recinto, con un máximo de 3,5 [m]; en caso de que la altura de los pisos sean mayores, los excedentes serán sumados y divididos por 3,5 [m] para determinar así los pisos extras a considerar.

La NFPA establece una altura máxima para el edificio dependiendo del tipo de construcción a utilizar. Además, a partir del tipo de ocupación que tendrá el edificio y del tipo de construcción establece un número máximo de pisos. Los pisos se cuentan desde el nivel dónde se evacua a la gente hasta el piso más alto ocupado.

La OGUC establece distintos requerimientos para los elementos estructurales dependiendo del número de pisos que vaya a tener el edificio. Los separa en 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 o más pisos, siendo menos exigente para un piso y aumentando a medida que se van agregando niveles.

La NFPA establece que para el tipo de construcciones con materiales con menor RF el número de pisos permitido es menor que para otros construidos con materiales que aporten una mayor resistencia.

Esto se debe a que las distancias verticales que deben recorrer las personas para evacuar se harán más grandes, lo que se traduce en mayores tiempos de evacuación; las maniobras que deben efectuar los bomberos se harán más complicadas, puesto que su equipamiento tiene límites de altura y no pueden realizar todas las maniobras de rescate y extinción desde el perímetro del edificio; y las consecuencias de que ocurra un colapso a gran escala serían fatales.

- **NÚMERO DE PERSONAS**

En cuanto al número de ocupantes de un edificio, la OGUC los agrupa en cuatro rangos de relevancia: menos de 250, entre 250 y 500, entre 500 y 1000 y más de 1000 ocupantes. El rango menor tiene una exigencia de RF más baja y a medida de que el número de personas aumenta, estos requerimientos se van poniendo más exigentes, aumentando la resistencia solicitada.

La NFPA establece tres rangos de personas, menor o igual a 300, entre 300 y 1000 y mayor a 1000. Siendo menos exigente cuando se tienen menos personas y aumentando las exigencias de RF a la par con el aumento de ocupantes.

Mientras más personas hayan en un lugar al momento de un incendio, mayor cantidad de gente a la cual evacuar, lo que se traduce en mayores tiempos de evacuación y por ende éstas se encuentran expuestas al fuego por un periodo más prolongado. Cuando hay muchas personas intentando escapar, se producen aglomeraciones, la gente comienza a estar en un área menor a la requerida, su velocidad de movimiento se ve afectada y su movilidad restringida, esto provoca que comiencen a sentir un estrés psicológico y puede llevar al pánico. A esto hay que sumarle que al entrar el pánico, el juicio de las personas se ve afectado lo que conlleva a que no tomen las mejores decisiones.

Es por esto que a medida que el número de personas sea mayor, más exigentes deben ser los requerimientos de resistencia al fuego.

- **CARGA COMBUSTIBLE**

La ordenanza chilena establece una densidad de carga combustible media, obtenida de la NCh 1916, y una puntual máxima, obtenida de la NCh 1993, que caracteriza a cada tipo de edificio con alta carga. Estas cargas van desde los 500 [MJ/m²] hasta los 16000 [MJ/m²] para la media, y desde los 3500 [MJ/m²] hasta los 32000 [MJ/m²] para la puntual máxima. Dependiendo del intervalo en el que se encuentre la edificación se le va a exigir una determinada RF, que se hará más exigente a medida en que la densidad de carga aumente.

La NFPA los divide en tres categorías, bajo riesgo, riesgo ordinario y alto riesgo; y a su vez, las de alto riesgo se dividen en cinco niveles de protección.

Mientras mayor sea el riesgo asociado, mayores requerimientos de RF exigidos. Los define de la siguiente manera:

- Bajo Riesgo: aquellos de tan baja combustibilidad que en ella no se puede producir fuego autopropagante.
- Riesgo Ordinario: son aquellos que son propensos a arder con rapidez moderada o que liberen un considerable volumen de humo.
- Alto Riesgo: son materiales considerados de alta peligrosidad. Se subdividen en cinco categorías, de acuerdo del nivel de peligrosidad.
 - Nivel 1: contiene materiales con peligro de detonación, así como explosivos.
 - Nivel 2: contiene materiales que presentan peligro de deflagración, o de quemado acelerado.
 - Nivel 3: contiene materiales que aportan de buena manera a la combustión o que presentan un riesgo físico.
 - Nivel 4: contiene materiales que presentan peligros agudos para la salud, como materiales tóxicos.
 - Nivel 5: contiene materiales de producción peligrosos, usados en la fabricación de semiconductores.

En el capítulo 3 se define la carga de fuego o carga combustible como la cantidad de energía liberada, por metro cuadrado, cuando se produce la combustión completa de los materiales combustibles existentes en el lugar. A partir de esto se tiene que a mayor carga combustible, mayor energía liberada, lo que se traduce a una mayor tasa de liberación de calor, mayor calor implica mayores temperaturas y ya sea por convección, conducción, radiación o contacto directo, estas altas temperaturas transmitirán el calor rápidamente expandiendo el incendio.

Ésta se encuentra presente en prácticamente toda construcción y en cantidades no menores, y va desde la ropas que uno tiene, hasta la alfombra, cortinas, muebles, la parafina de la estufa, entre otros.

Además hay que señalar que al tener mayores cantidades de combustible para arder, más difícil se hace la extinción del fuego por parte de bomberos o de un sistema de rociadores automáticos.

Como se ve en el capítulo 5, en los criterios de falla en los ensayos de RF, al entregar mayor resistencia al fuego a los elementos estructurales, el tiempo necesario para que el fuego y calor penetren al elemento y se expandan a través del edificio será mayor, dando de esta manera mayor tiempo a las personas para evacuar y a bomberos para realizar las labores de control del fuego. Es por esto que cuando se tiene una alta carga combustible, el tiempo que cada elemento debe aguantar el calor, y por ende la cantidad de calor soportada, es mayor.

- **SUPERFICIE EDIFICADA**

La OGUC establece requerimientos diferenciados dependiendo de la superficie edificada. A partir del tipo de edificio que se desea construir, establece distintos rangos de superficie en [m²], aumentando los requerimientos a medida de que el área edificada sea mayor.

Así mismo, la NFPA establece que dependiendo del tipo de construcción y de su resistencia al fuego asociada hay ciertos límites en la superficie edificada. A medida que el área a edificar vaya aumentando, las exigencias aumentarán también.

Las implicancias de una mayor superficie edificada son las mayores cargas combustibles agregadas, lo cual tiene las consecuencias señaladas en el punto anterior. Mayores distancias horizontales las cuales las personas deben recorrer para poder evacuar, lo que se traduce en un periodo de tiempo más prolongado en las que éstas se encuentran expuestas al fuego y gases tóxicos. Mayores dificultades por parte de bomberos para controlar el incendio, debido a limitaciones de superficie abarcable por el largo de las mangueras, y mayores superficies que deben abarcar los sistemas de extinción y detección automáticos.

Es por estos motivos que es necesario entregar una mayor resistencia al fuego cuando se tienen grandes superficies edificadas, para que el factor tiempo no sea perjudicial para el proceso de detección y escape, y el posterior proceso de extinción del incendio.

- **SUBTERRÁNEOS**

La OGUC define los subterráneos como la planta o nivel de un edificio cuyos paramentos que la definen exteriormente se encuentran bajo la superficie del terreno circundante con el que están en contacto, correspondiente al suelo natural o al suelo resultante del proyecto, en caso que éste fuere más bajo que el suelo natural. Se considerará también como subterráneo aquel piso que emerge del terreno circundante en un porcentaje inferior al 50% de la superficie total de sus paramentos exteriores, aun cuando una o más de sus fachadas queden al descubierto parcial o totalmente. Sin embargo, la OGUC no presenta disposiciones especiales para la edificación de subterráneos habitables.

La NFPA los define como un piso del edificio que se encuentra bajo el nivel base de evacuación, ya sea completa o parcialmente. Establece que toda construcción puede tener subterráneos, con excepción de aquellos destinados a la salud y cuidado de pacientes.

Los subterráneos, al no contar con muros que den hacia el exterior, y por ende ventanas o puertas que permitan la evacuación y ventilación, tienen una relevancia importante en la resistencia al fuego.

Esto se debe a que en caso de que se produzca un incendio ahí, la escasa ventilación provocaría un aumento en la temperatura, lo que significaría en un aumento de la duración del incendio, así como complicar las acciones de extinción del fuego.

Cabe mencionar que un incendio de un subterráneo actúa como una especie de horno sobre la estructura, debido a que las altas temperaturas y gases calientes suben y pueden producir un esparcimiento a gran escala del incendio a lo alto del edificio. Es por esto que las escaleras que van desde los niveles bajo tierra hacia el piso base no están conectados con las escaleras que van del piso base hacia arriba; y por esto es vital proteger el hueco del ascensor de la penetración del fuego.

- **USO DE ROCIADORES**

La OGUC establece que para utilizar este tipo de sistema automático de extinción de incendios se deben guiar por la NCh 2095. A su vez, la ordenanza solo exige su uso en edificaciones de 3 pisos o más, donde no pueda garantizarse la evacuación de personas por sus propios medios, como sectores de enfermos en hospitales, locales para el cuidado de personas con patologías mentales, lugares de detención o reclusión de personas y similares. También se exige su uso en centros comerciales abiertos que contengan más de 1000 ocupantes.

La NFPA considera los rociadores en todo tipo de edificación y construcción, logrando disminuir los requerimientos de RF en algunos casos o disminuyendo los límites de los otros factores mencionados con anterioridad.

Como se analizó en el capítulo 4, el uso de este tipo de sistemas de protección activa ayuda a la extinción temprana de incendios o en algunos casos a demorar el esparcimiento del fuego dentro del edificio. Es por esto que al contar con rociadores automáticos se pueden disminuir los requerimientos de resistencia al fuego en la edificación.

Este tipo de sistemas es altamente recomendado en construcciones que tengan una alta carga combustible, puesto que ayudan a la supresión del fuego para que no alcance niveles difíciles de controlar. Además es de vital importancia en edificios que contengan ocupantes a los cuales no se pueda garantizar su evacuación por sus propios medios o estén privados de libertad, ya que a estos se les debe proteger en el lugar y evitar que el fuego se expanda fácilmente por el recinto.

- TIPO DE EDIFICIO

Todos estos factores anteriores tienen distintas significancias dependiendo del destino que vaya a tener el edificio, puesto que distintos factores entran en juego. Los tipos de edificios son:

▪ Residencial

Se define como edificio residencial a aquellos que proveen alojamiento para dormir. Se caracterizan por que los ocupantes se encuentran dormidos una parte del día, y porque ese sueño es de descanso y recuperación, y no el tipo de sueño presente en hospitales.

Estos se pueden dividir en 2 categorías:

- ❖ Habitacional: son aquellos que aparte de otorgar alojamiento para dormir, cuentan con unidades independientes de cocina y baño.
- ❖ Hotelería: corresponde a edificios bajo una misma administración, con comodidades para dormir, pero ocupantes transitorios que no duran más de 30 días.

Por definición se establece que en este tipo de edificio hay gente durmiendo durante una porción del día. Las personas dormidas pueden encontrarse inconscientes de la ocurrencia de un incendio y encontrarse atrapados al momento de tener que evacuar, por lo que el tiempo total de evacuación, contando el tiempo necesario para el descubrimiento del fuego, tiempo para alerta y posterior toma de decisiones se hace mayor. Así mismo, en este tipo de edificios se puede encontrar gente de todas las edades y con patologías que les puedan dificultar su pronta reacción y movilidad, entorpeciendo el escape.

Como se indica en la tabla 3.3, la carga combustible para esta edificación no es menor, pero no alcanza niveles muy elevados, por lo que no es un factor determinante de los requerimientos de RF. La principal preocupación para este tipo de edificios es la evacuación de sus ocupantes, que como vimos hay distintos factores que afectan su actuar frente a una emergencia, por lo que factores como el número de pisos y la superficie edificada entran en consideración al momento de determinar sus requerimientos de resistencia al fuego.

- **Educacional**

Establecimientos destinados principalmente a la formación o capacitación en educación superior, técnica, media, básica, básica especial y pre-básica. Se caracteriza por que sus ocupantes están presentes solamente durante una porción del día, de entre 4 y 8 horas, cinco veces a la semana, y porque en general se trata de gente joven.

Se caracterizan por que ante todo cuentan con grandes números de gente joven, que están sujetos a disciplina y control. Esto hace que al momento de un incendio vayan a seguir las indicaciones de su profesor o tutor, facilitando el proceso de evacuación.

En general son los mismos que siempre están presentes, por lo que se conocen entre sí, y conocen el establecimiento. Esto ayuda a que conozcan las vías de evacuación y por lo tanto se hace más expedito el escape.

Como se observa en la tabla 3.3, la carga combustible en un aula de escuela es baja por lo que ésta no controla sus requerimientos de RF. El factor predominante acá son la cantidad de ocupantes que corren peligro, y el número de pisos que tenga el establecimiento.

- **Reuniones**

Se denomina edificio de reuniones a aquel que sea usado para concurrencias de más de 50 personas para deliberación, adoración, entretenimiento, comer, beber, diversión, transporte o usos similares.

Este tipo de edificio se caracteriza en que generalmente contiene un gran número de personas las cuales no están familiarizadas con los espacios disponibles, lo cual está sujeto a provocar una indecisión en cuanto a cuál es la mejor vía de evacuación en caso de emergencia, lo que puede llevar al desorden y caos.

Es por esto, y a su baja carga combustible, que el factor determinante en este tipo de ocupación es la cantidad de personas. Esto se debe a que mientras más personas bajo estas condiciones, mayor es el desorden y caos que se puede generar en caso de incendio.

- **Mercantil**

Edificio utilizado para la exhibición y venta de mercancía. Al igual que en los edificios de reuniones, este tipo de ocupación se caracteriza por tener siempre un gran número de personas dentro, en un espacio que es relativamente poco familiar para ellos.

Los establecimientos mercantiles, así como supermercados y multitiendas, contienen grandes cantidades de material combustible, lo cual, como ya se analizó, favorece a la expansión y agresividad del incendio.

Hay que añadir que este tipo de ocupación cuenta con estanterías llenas de los productos a la venta, los cuales la gente se encuentra forzada a recorrer para usar los circuitos de egreso, lo que entorpece la evacuación.

- **Oficinas**

Construcción destinada a ser usada para la realización de negocios distintos a los mercantiles. Se caracteriza por que sus ocupantes están presentes solamente durante una porción del día, de entre 8 a 10 horas, y porque en general se trata de gente que debería ser capaz de valerse por sí misma para evacuar.

A diferencia de los establecimientos mercantiles las oficinas contienen una densidad menor de ocupantes, los cuales usualmente están más familiarizados con su entorno. De todos modos con todos los cubículos y salas de reuniones presentes dentro del lugar, las vías de evacuación se tienden a volver confusas e indirectas.

Como se puede observar en la tabla 3.3, el contenido medio de carga combustible en edificios de oficinas es de 420 [MJ/m²], lo cual ayuda al desarrollo del incendio, pero no alcanza a ser determinante. Al igual que en los edificios residenciales, acá lo primordial es asegurar la seguridad de los ocupantes, por lo que factores como el número de pisos y superficie edificada, los cuales aumentan los tiempos de evacuación, se vuelven determinantes para determinar los requerimientos de resistencia al fuego de los elementos estructurales.

- **Industrial**

Este tipo de edificio es aquel en el cual los productos son manufacturados o aquellos en que ocurren operaciones de procesamiento, ensamblaje, mezcla, envasado, terminación, decoración o reparación.

Se caracteriza en que expone a sus ocupantes a un vasto rango de procesos y materiales de varias peligrosidades.

Estos materiales peligrosos tienen un alto contenido de carga combustible, y se encuentran en gran cantidad, por lo que este factor se vuelve el determinante de las exigencias de resistencia al fuego de los elementos de la construcción.

- **Bodegaje**

Se define como el lugar usado ante todo para el almacenamiento o refugio de bienes, mercancía, productos o vehículos.

Los edificios dedicados al bodegaje se caracterizan por tener una relativamente baja cantidad de personas, en comparación a otros edificios de tamaños similares, y por contar con una amplia variedad de materiales combustibles. Estos materiales combustibles ayudan a la propagación del fuego y sobretodo en este tipo de edificios que generalmente son galpones gigantes sin muros cortafuego.

Es por esto que al momento de determinar los requerimientos de resistencia al fuego para este tipo de edificación, el factor que toma la mayor importancia es la carga combustible.

- **Cuidado de la salud (clínicas y hospitales)**

Este es uno de los edificios más delicados, puesto que se caracterizan por contar con ocupantes que son incapaces de valerse por sí mismos y necesitan de cuidados especiales. Es muy probable que muchos de ellos no sean capaces de utilizar las vías de evacuación, sin importar cuantas y como sean, ya que pueden estar inmóviles, conectados a equipo de monitoreo, debilitados o recuperándose de alguna cirugía.

En este tipo de edificios no siempre la evacuación es lo más adecuado, puesto que en algunos casos, sacar a una persona en estado crítico puede resultar más perjudicial que el mismo incendio.

Es por esto que es de gran importancia incluir sistemas automáticos de detección y extinción de incendios, que permitan la extinción temprana y evite que se esparza el fuego. Además de esto, los muros cortafuegos cumplen un rol vital dentro del edificio, ya que impiden que el siniestro se propague de un área a otra.

El factor de mayor importancia para este tipo de ocupación es la superficie edificada. Esto es porque mientras mayor sea esta, mayor es el área que se debe abarcar por los rociadores automáticos, y mayores serán los compartimentos que habrá que hacer para evitar que se propague el incendio.

- **Cuidado de la Salud (Policlínicos)**

Este tipo de edificación tiene características similares a los hospitales y clínicas, con la única diferencia que aunque sus ocupantes puedan estar de momento inhabilitados para valerse por sí mismos, debido a anestias, tratamientos o porque simplemente la persona llegó herida e incapaz de moverse, son pacientes ambulatorios y en general no permanecen en el edificio por un periodo mayor a 24 horas.

Al igual que en el punto anterior, este tipo de edificio contiene ocupantes que generalmente no van a ser capaces de valerse por sí mismos y no podrán ser evacuados. Esto vuelve a recalcar la importancia de los rociadores y muros cortafuego para combatir el fuego.

El factor de mayor importancia para este tipo de ocupación es la superficie edificada. Esto es porque mientras mayor sea esta, mayor es el área que se debe abarcar por los rociadores automáticos, y mayores serán los compartimentos que habrá que hacer para evitar que se propague el incendio.

8. Análisis comparativo de exigencias de RF entre Chile y Estados Unidos

La OGUC (en Chile) y la NFPA (en Estados Unidos) tienen sus propias exigencias de resistencia al fuego para los elementos estructurales, dependiendo de los distintos factores que influyen en la determinación de estos requerimientos; además, cada una tiene su propio sistema de clasificación a partir de estos factores.

Con el fin de comparar ambas normativas y conocer como varían los requerimientos de resistencia al fuego para cierto tipo de edificio, con determinadas características, se realizan una serie de tablas y gráficos comparativos. A partir de estos se determinará en que puntos la OGUC es igual, más o menos exigente que la NFPA.

Estas tablas se presentan a continuación:

➤ Edificio Residencial de 12 pisos y 360 ocupantes:

TABLA 8.1

ELEMENTO	OGUC	NFPA (Tipo I - 332)	NFPA (Tipo II - 222)
Muros Cortafuego	180	240	180
Muros zona vertical de seguridad y caja de escalera	120	180	120
Muros caja ascensores	120	180	120
Muros divisorios entre unidades (hasta cubierta)	120	180	120
Elementos soportantes verticales	120	180	120
Muros no soportantes y tabiques	30	0	0
Escaleras	60	60	60
Elementos soportantes horizontales	120	180	120
Techumbre incluido cielo falso	60	90	60

NOTAS:

- 1.- Tipo II-222, máximo 12 pisos con rociadores o máximo 11 pisos sin rociadores.
- 2.- Tipo I-332, sin limitaciones de piso, con o sin rociadores.

Como se puede observar en esta tabla, para un edificio residencial de 12 pisos y 360 ocupantes se tienen dos posibles escenarios. El primero es que el edificio no tenga rociadores, lo que implica que sus requerimientos según la NFPA sean los correspondientes al tipo I, lo que hace que esta norma sea un 50% más exigente que la OGUC.

El segundo escenario es que el edificio tenga rociadores automáticos instalados, lo que implica que los requerimientos según la NFPA los correspondientes al tipo de construcción II, los cuales son iguales a la OGUC.

De esto se puede concluir que la cantidad de pisos hace variar las diferencias en los requerimientos de ambas normativas. Por lo tanto, a continuación se grafica como varían estos requerimientos de RF para un elemento en particular, a medida que van aumentando los pisos en un edificio residencial.

GRÁFICO 8.1



En este gráfico no se considera la presencia de rociadores, puesto que la OGUC no obliga su uso para este tipo de ocupación.

Como se puede observar, para 1, 2 y 5 pisos los requerimientos de la NFPA son mayores. A partir de los 12 pisos hacia arriba, la NFPA es un 50% más exigente que la OGUC. Esto nos demuestra que para edificios residenciales de gran altura, la NFPA considera que los tiempos necesarios para la evacuación y posteriores maniobras de extinción y rescate por parte de bomberos deben ser mayores que los considerados por la OGUC.

A partir de la tabla también se observa la diferencia de RF entre la OGUC y la NFPA para el caso de tabiques y muros no soportantes. La OGUC considera una resistencia de 30 minutos como adecuada, mientras la NFPA no exige resistencia a estos elementos. Al ser elementos no soportantes y que tampoco cumplen una labor dentro del plan general de incendios, como sería el evitar la propagación del fuego, es correcto que estos elementos no necesiten ninguna resistencia en particular, o simplemente una resistencia baja como lo indica la OGUC.

➤ Edificio de Reuniones de 3 pisos y más de 1000 ocupantes:

TABLA 8.2

ELEMENTO	OGUC	NFPA (Tipo I - 332)	NFPA (Tipo II - 222)	NFPA (Tipo II - 111)
Muros Cortafuego	180	240	180	120
Muros zona vertical de seguridad y caja de escalera	120	180	120	60
Muros caja ascensores	120	180	120	60
Muros divisorios entre unidades (hasta cubierta)	120	180	120	60
Elementos soportantes verticales	120	180	120	60
Muros no soportantes y tabiques	30	0	0	0
Escaleras	60	60	60	60
Elementos soportantes horizontales	120	180	120	60
Techumbre incluido cielo falso	60	90	60	60

NOTAS:

- 1.- Tipo II-111, con más de 1000 ocupantes y 3 pisos exige el uso de rociadores. (Sin rociadores exige menos de 1000 ocupantes y máximo 2 pisos). Limitado a 1440 [m²] de superficie.
- 2.- Tipo II-222, con o sin rociadores, se puede edificar los 3 pisos. Superficie edificable ilimitada.
- 3.- Tipo I-332, con o sin rociadores, se puede edificar los 3 pisos. Superficie edificable ilimitada.

Como se puede observar en la tabla se tienen tres posibles escenarios en este caso. El primer escenario posible es que no haya rociadores, sin importar la superficie edificada, en este caso los requerimientos de RF según la NFPA corresponden al tipo de construcción II-222, los cuales son iguales a los de la OGUC. Cabe destacar que la OGUC no exige el uso de rociadores para este tipo de edificio.

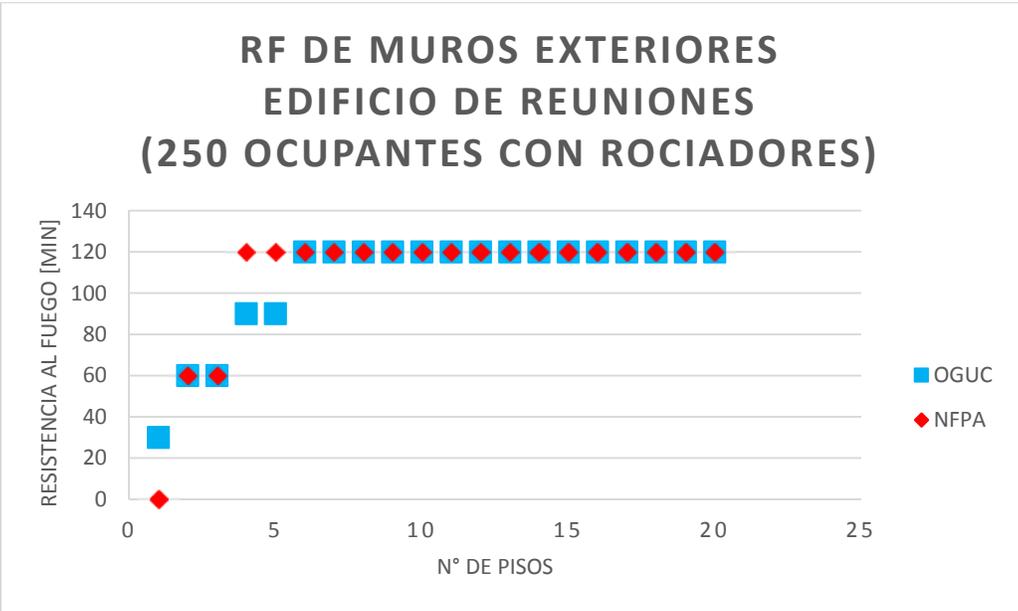
El segundo escenario es que el edificio cuente con rociadores automáticos y una superficie edificada menor a 1440 [m²]. Para este escenario se tiene que los requerimientos de RF dados por la NFPA corresponden a los del tipo II-111, los cuales son menos exigentes que la OGUC. Estos tiempos son la mitad que los de la OGUC y para techumbre y escaleras son iguales. El hecho de que la NFPA tenga menores requerimientos para este caso se debe a la limitada superficie edificada, lo que permite que la evacuación se realice de manera más rápida y expedita; además de que la presencia de rociadores automáticos ayuda al control y extinción del incendio oportunamente.

El tercer escenario corresponde al edificio con más de 1440 [m²] edificados, con o sin rociadores. Para este caso se tiene que los requerimientos de la NFPA corresponden al tipo II-222, en donde las exigencias son las mismas que en la OGUC.

Para este tipo de ocupación uno de los factores más determinantes es el número de pisos, puesto que como se caracteriza por tener un gran número de personas presente, a mayor altura, mayor es el tiempo que tomará evacuarlos a todos.

A continuación se ve cómo van aumentando los requerimientos de resistencia al fuego en los elementos estructurales correspondientes a edificios de reuniones, para tres grupos de ocupantes, a medida de que va aumentando el número de pisos.

GRÁFICO 8.2



Observaciones:

- Para edificios de reuniones de 4 y 5 pisos, la NFPA es alrededor de un 50% más exigente que la OGUC para muros exteriores.
- Para 4 pisos y del sexto en adelante, tienen la misma exigencia.

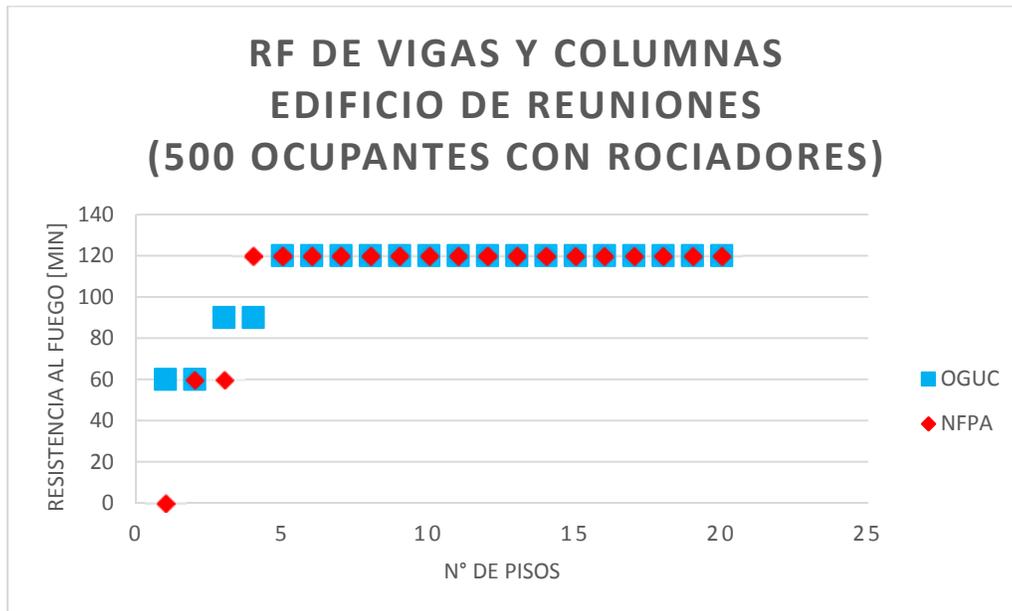
NOTAS:

- La única forma en que la NFPA permita la construcción de más de 4 pisos para este tipo de edificios es mediante el uso de rociadores, en cambio la OGUC no requiere su uso para este tipo de edificación.

Se puede observar a partir del gráfico que para 4 y 5 pisos la NFPA es más exigente que la OGUC. Esto quiere decir que para la normativa chilena el tiempo necesario para evacuar a 250 ocupantes es menor que el considerado por la NFPA, para pocos pisos.

Cabe destacar que aunque se tenga que la OGUC y la NFPA tienen las mismas exigencias de resistencia al fuego a partir de los 6 pisos en adelante, la norma norteamericana exige el uso de rociadores, cosa que la OGUC no considera en estos casos. Esto es algo relevante de señalar, puesto que como se indica en el capítulo 7, los rociadores permiten tener una menor resistencia al fuego, por lo que el hecho de que en Chile no se exija su uso para este tipo de edificio, implica que sus requerimientos son menos exigentes.

GRÁFICO 8.3



Observaciones:

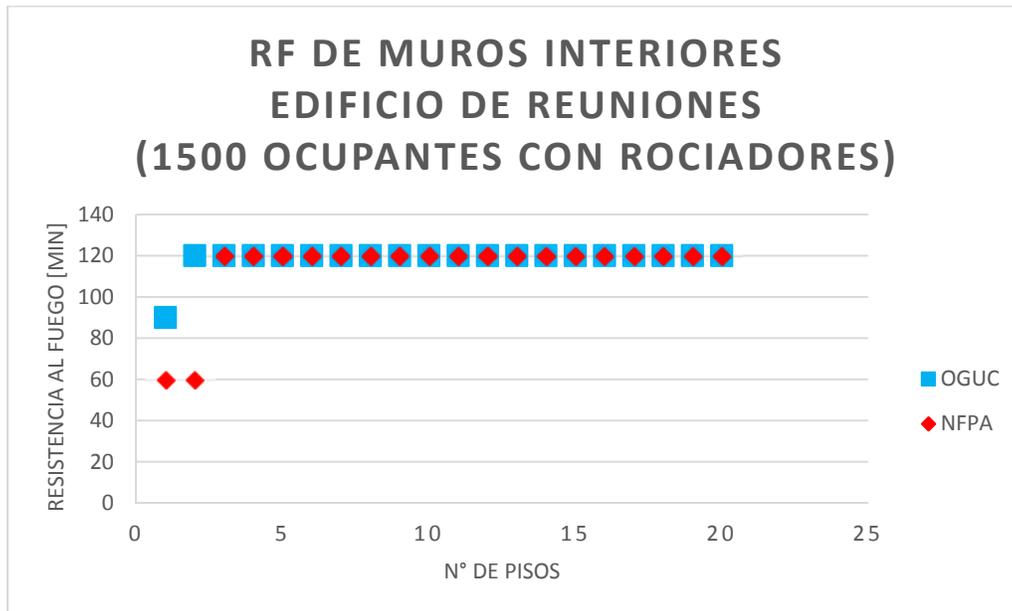
- Para edificios de reuniones de 1 y 3 pisos la OGUC es más exigente que la NFPA para vigas y columnas.
- Para 4 pisos es menos exigente.
- Para 2 pisos y de 5 hacia arriba son iguales.

NOTAS:

- La única forma en que la NFPA permita la construcción de más de 4 pisos para este tipo de edificios es mediante el uso de rociadores, en cambio la OGUC no requiere su uso para este tipo de edificación.

Al igual que en el gráfico anterior, aunque de los 5 pisos en adelante ambas normas tengan las mismas exigencias de resistencia al fuego, el hecho de que la NFPA exija el uso de rociadores, la hace más estricta, en cuanto a sus exigencias, que la OGUC.

GRÁFICO 8.4



Observaciones:

- Para edificios de reuniones de 1 y 2 pisos la OGUC es más exigente que la NFPA para muros interiores.
- Para 3 pisos en adelante, tienen la misma exigencia.

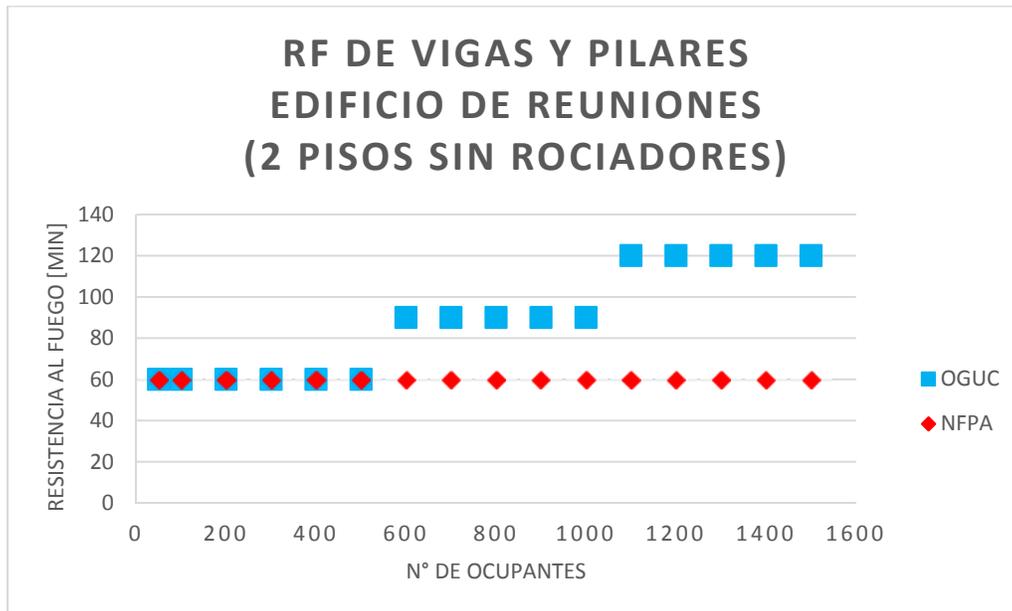
NOTAS:

- La única forma en que la NFPA permita la construcción de más de 4 pisos para este tipo de edificios es mediante del uso de rociadores, en cambio la OGUC no requiere su uso para este tipo de edificación.

Al igual que en el gráfico anterior, aunque de los 4 pisos en adelante ambas normas tengas las mismas exigencias de resistencia al fuego, el hecho de que la NFPA exija el uso de rociadores, la hace más estricta, en cuanto a sus exigencias, que la OGUC.

El factor más relevante para determinar los requerimientos de RF en este tipo de edificación son el número de ocupantes. Es por esto que ahora se comparará cómo influye este factor en ambas normas.

GRÁFICO 8.5



Observaciones:

- Para edificios de reuniones de 2 pisos la OGUC tiene las mismas exigencias que la NFPA hasta los 500 ocupantes, para vigas y pilares.
- Entre los 500 y los 1000 ocupantes es un 50% más exigente.
- Para más de 1000 personas sus exigencias son del doble.

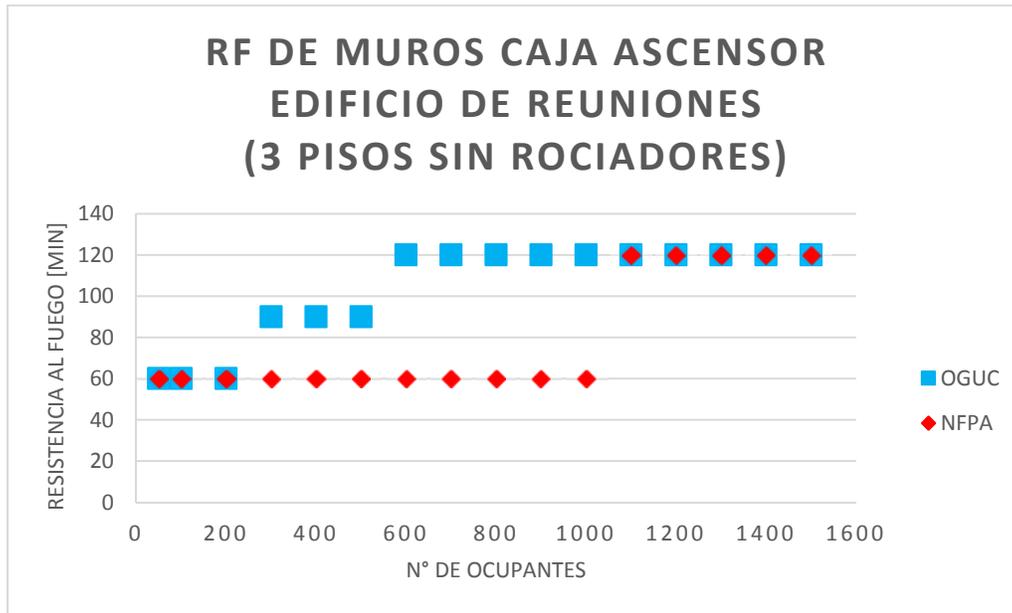
NOTAS:

- Se considera una superficie edificada constante de 1400 [m²].
- Si se considera una superficie edificada constante mayor a 1440 [m²], las exigencias de la NFPA son de 120 [min] para todo volumen de personas, lo que significaría que ambas normas tuviesen las mismas exigencias desde los 1000 ocupantes hacia arriba, pero que de ahí hacia abajo los requerimientos en Chile serían menores.

Como se observaba en los gráficos correspondientes a 250 y 500 ocupantes, variando el número de pisos, para 2 pisos ambas normas tienen los mismos requerimientos de RF, pero para 1500 ocupantes la OGUC exige una mayor resistencia. Con este gráfico se confirma que para edificios de reuniones de 2 pisos, con o sin rociadores, hasta los 500 ocupantes ambas normativas tienen las mismas exigencias, sin embargo desde los 600 ocupantes hacia arriba la OGUC es más exigente.

A partir de esto se puede concluir que en Chile se considera que sin importar que el número de pisos sea bajo, mientras más ocupantes haya, mayor debe ser la resistencia de los elementos. Esto tiene lógica, puesto que mientras más personas haya, más se demoran en evacuar el edificio.

GRÁFICO 8.6



Observaciones:

- Para edificios de reuniones de 3 pisos la OGUC tiene las mismas exigencias que la NFPA hasta los 200 ocupantes.
- Entre los 300 y los 500 ocupantes es un 50% más exigente.
- Con más de 500 personas y hasta las 1000 sus exigencias son del doble.
- Para más de 1000 ocupantes vuelven a ser iguales.

NOTAS:

- Se considera una superficie edificada constante de 1400 [m²].
- Si se considera una superficie edificada constante mayor a 1440 [m²], las exigencias de la NFPA son de 120 [min] para todo volumen de personas, lo que significaría que ambas normas tuviesen las mismas exigencias desde los 500 ocupantes hacia arriba, pero que de ahí hacia abajo los requerimientos en Chile serían menores.

Para edificio de reuniones de 3 pisos entre los 300 y los 1000 ocupantes la OGUC es más exigente que la NFPA, sin embargo para menos de 200 ocupantes o más de 1000, sus exigencias son las mismas.

Se puede observar que el hecho de que ahora se tenga un piso más de altura, los requerimientos de RF por parte de la OGUC aumentan cada un intervalo menor de personas, que con respecto a cómo aumentaba con el edificio de 2 pisos. Esto se debe a que al tener una mayor cantidad de pisos, mayores serán las distancias que deberá recorrer cada persona para evacuar, haciendo el proceso más demoroso.

Por estas mismas razones la NFPA se vuelve más exigente a partir de las 1000 personas en edificios de 3 pisos, a diferencia de los de 2 pisos, en los que los requerimientos se mantenían constantes sin importar cuanto aumentara el número de ocupantes.

- **Edificio de Oficinas de 11 pisos, 500 ocupantes y más de 2000 [m²] edificados:**

TABLA 8.3

ELEMENTO	OGUC	NFPA (Tipo I - 332)	NFPA (Tipo II - 222)
Muros Cortafuego	180	240	180
Muros zona vertical de seguridad y caja de escalera	120	180	120
Muros caja ascensores	120	180	120
Muros divisorios entre unidades (hasta cubierta)	120	180	120
Elementos soportantes verticales	120	180	120
Muros no soportantes y tabiques	30	0	0
Escaleras	60	60	60
Elementos soportantes horizontales	120	180	120
Techumbre incluido cielo falso	60	90	60

NOTAS:

- 1.- Tipo II-222, para edificar 12 pisos exige el uso de rociadores, si no, hasta 11 pisos solamente. Superficie edificable ilimitada.
- 2.- Tipo I-332, sin limitaciones de piso y superficie.

Observaciones:

- Para un edificio de oficinas de 12 pisos o más, la NFPA exige la resistencia al fuego que se indica para edificios Tipo I-332, la cual es mayor que la exigencia de la OGUC.
- Para un edificio de oficinas de menos de 12 pisos, la NFPA exige la resistencia al fuego que se indica para edificios Tipo II-222, lo que es igual a la OGUC en la mayoría de los puntos.
- Como en Chile no se exige el uso de rociadores para edificios de oficina, se asume que el edificio no los tiene, por lo que para este caso se puede utilizar el tipo II-222.

Para este tipo de edificios las exigencias de resistencia al fuego por parte de la NFPA corresponden a las del tipo de construcción II-222, las cuales son iguales a las de la OGUC. Sin embargo cabe destacar que si el edificio fuese de 12 pisos, para poder utilizar el tipo de construcción II-222, la NFPA exige el uso de rociadores. Esto significa que aunque los requerimientos de RF por parte de ambas normas son los mismos, la presencia de rociadores exigidos por parte de la norma estadounidense implica que esta norma es más exigente en estos casos.

Si no se utilizan rociadores para 12 pisos, la NFPA exige el uso del tipo I-332, lo cual es un 50% más exigente que la OGUC. Esto es de esperarse ya que los rociadores permiten disminuir los requerimientos de RF, y al no contar con ellos se deben aumentar las exigencias.

- Edificio de Oficinas de 15 pisos, 680 ocupantes y más de 2000 [m²] edificados:

TABLA 8.4

ELEMENTO	OGUC	NFPA (Tipo I - 332)
Muros Cortafuego	180	240
Muros zona vertical de seguridad y caja de escalera	120	180
Muros caja ascensores	120	180
Muros divisorios entre unidades (hasta cubierta)	120	180
Elementos soportantes verticales	120	180
Muros no soportantes y tabiques	30	0
Escaleras	60	60
Elementos soportantes horizontales	120	180
Techumbre incluido cielo falso	60	90

NOTAS:

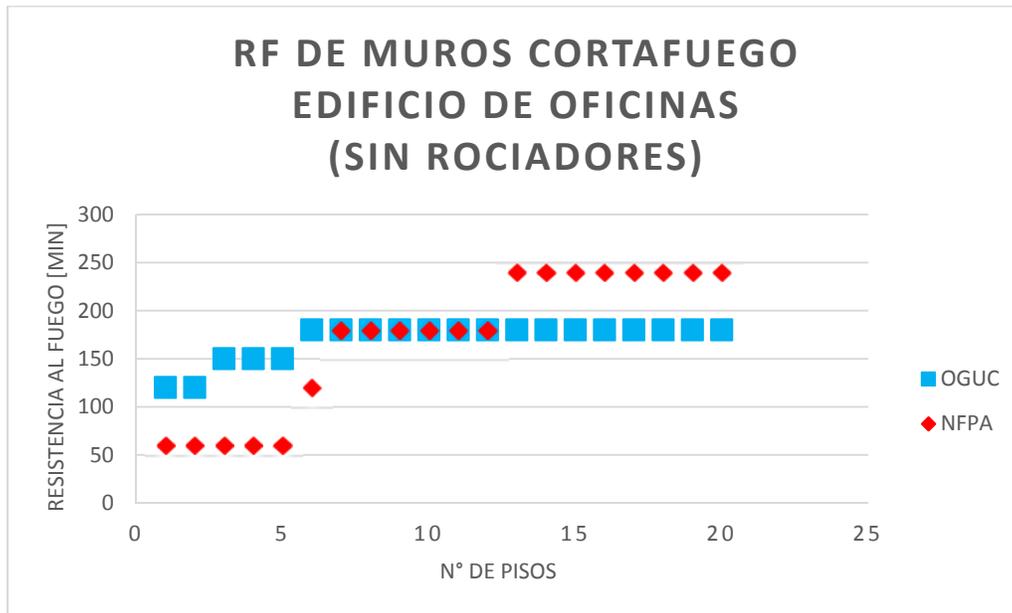
1.- Tipo I-332, sin limitaciones de piso y superficie.

Observaciones:

- Para este tipo de edificio se tiene que las exigencias de la NFPA son un 50% mayor.

A partir de esta tabla, de un edificio de oficinas similar al anterior, pero con un mayor número de pisos, se tiene que la NFPA exige el tipo I-332, el cual es un 50% más exigente que la OGUC. Se puede notar por ambas tablas que el número de pisos es un factor determinante en cuanto a la resistencia al fuego de los elementos en este tipo de construcción, por lo que se comparan en el gráfico siguiente.

GRÁFICO 8.7



Observaciones:

- Para edificios de oficinas, la OGUC es más exigente para los primeros 6 pisos.
- Tiene los mismos requerimientos que la NFPA entre los 7 y los 12 pisos.
- Es menos exigente de los 13 pisos hacia arriba.

NOTAS:

- Para realizar esta comparación se consideró una superficie edificada constante de 2000 [m²].

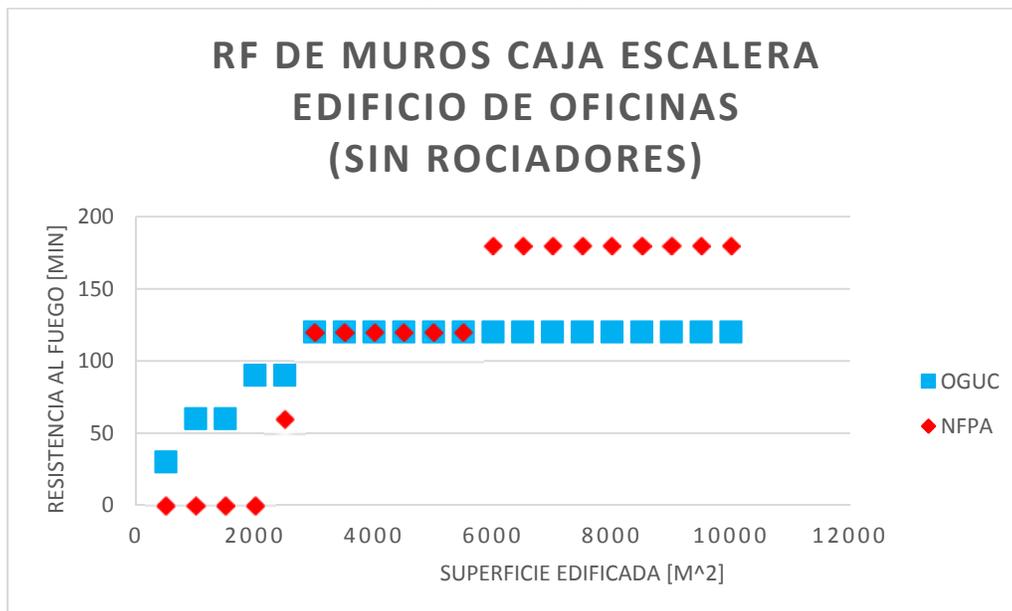
Como se puede observar a partir del gráfico, hay mayores diferencias entre ambas normativas a medida que varía el número de pisos. De 1 a 6 pisos la OGUC exige mayor RF que la NFPA, de 7 a 12 pisos exigen lo mismo, y a partir del piso 13 hacia arriba la NFPA es un 50% más exigente.

Al igual que para edificios residenciales se puede observar que nuevamente la NFPA es más exigente que la OGUC a partir de los 13 pisos hacia arriba, lo que nos confirma que para construcciones a mayor altura la normativa chilena es menos exigente con la resistencia al fuego.

También se puede notar que para la OGUC a partir de los 7 pisos hacia arriba tienen los mismos requerimientos de RF siempre. Esto vale la pena analizar, ya que a medida que aumenta la altura de un edificio las labores de evacuación se van haciendo mucho más lentas y el accionar de bomberos es más complicado. No es lo mismo bajar 20 pisos que 7 pisos, además que las escaleras de bomberos y sus mangueras no siempre pueden llegar a tan grandes alturas.

Otro factor a considerar en este tipo de ocupación es la superficie edificada. Esta aumenta en directa proporción con el número de pisos, puesto que cada piso adicional aporta una superficie edificada extra. Como se señala en el capítulo 7, al tener una mayor área, mayores se hacen las distancias que deben recorrer las personas para llevar a las salidas de emergencia del edificio.

GRÁFICO 8.8



Observaciones:

- Para edificios de oficinas entre 500 y 2500 [m²] edificados la OGUC es más exigente que la NFPA.
- Entre los 3000 y los 5500 [m²] de superficie construida son iguales.
- Desde los 6000 [m²] hacia arriba la NFPA es un 50% más exigente.

La NFPA requiere una resistencia al fuego menor que la OGUC cuando se tienen bajas superficies edificadas, y mayor cuando las superficies son más altas. Esto nos demuestra nuevamente que cuando las condiciones de escape son más desfavorables para los ocupantes, la NFPA es más exigente que la normativa chilena en cuando a resistencia al fuego.

➤ Edificio de Hospital de 5 pisos y 100.000 [m²] edificados:

TABLA 8.5

ELEMENTO	OGUC	NFPA (Tipo I - 332)	NFPA (Tipo II - 222)
Muros Cortafuego	180	240	180
Muros zona vertical de seguridad y caja de escalera	120	180	120
Muros caja ascensores	120	180	120
Muros divisorios entre unidades (hasta cubierta)	120	180	120
Elementos soportantes verticales	120	180	120
Muros no soportantes y tabiques	30	0	0
Escaleras	60	60	60
Elementos soportantes horizontales	120	180	120
Techumbre incluido cielo falso	60	90	60

NOTAS:

- 1.- Tipo II-222, sin limitaciones de piso y superficie.
- 2.- Tipo I-332, sin limitaciones de piso y superficie.

Observaciones:

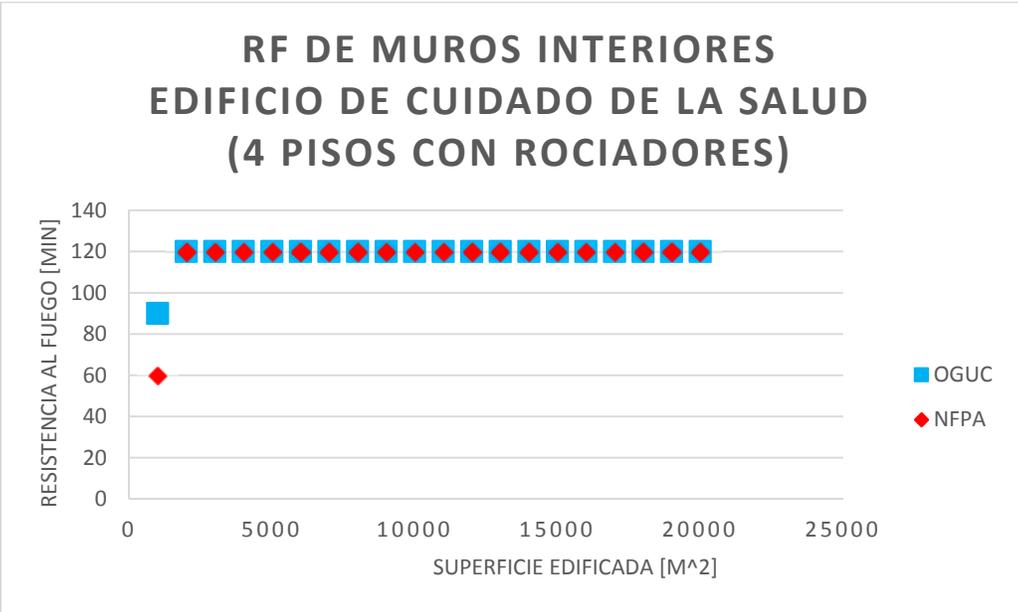
- Para el tipo II-222 la OGUC tiene las mismas exigencias de RF.
- El tipo I-332 tiene exigencias un 50% mayor.
- Para este edificio en particular, se utilizarían los requerimientos que entrega el Tipo II-222, por lo que la OGUC tiene las mismas exigencias en la mayoría de los elementos.

Como se señala en observaciones, para este edificio en particular los requerimientos de RF de la NFPA corresponden al tipo de construcción II-222, los cuales son iguales a los entregados por la OGUC.

Para este tipo de ocupación ambas normas exigen el uso de rociadores automáticos para controlar el fuego y evitar que se propague fácilmente a través del edificio. Esto es de esperarse, puesto que como se señala en el capítulo 7, en este tipo de edificio lo primordial es proteger a los pacientes en el lugar, sin tener que trasladarlos, puesto que esto puede presentar un riesgo aún mayor para ellos.

Es por todo esto que la superficie edificada toma un rol importante en este tipo de ocupación, la cual se compara a continuación a través de un gráfico.

GRÁFICO 8.9



Observaciones:

- Para hospitales de 4 pisos, para 1000 [m²] edificados o menos, la OGUC es más exigente que la NFPA, para muros interiores.
- A medida que la superficie aumenta ambas normas tienen las mismas exigencias.

Como se puede observar, para este tipo de ocupación ambas normativas son igual de exigentes a medida de que aumenta la superficie edificada.

9. Discusión y Conclusiones

1. POSICIÓN DE CHILE CON RESPECTO A ESTADOS UNIDOS

A partir de todo lo desarrollado en la presente memoria, se puede concluir que Chile es menos exigente que la NFPA en algunos puntos. Uno de estos es la construcción en altura. Como se puede observar en los gráficos 8.1 y 8.7, en Chile se considera que tanto un edificio de 7 pisos como uno de 15 pisos tienen los mismos requerimientos de resistencia al fuego, a diferencia de la NFPA que considera que a partir de los 13 pisos las exigencias deben ser mayores.

Esto es lógico si se considera que el tiempo necesario para evacuar a una persona desde un piso 15, es mucho mayor que el necesario para evacuar a uno en el piso 7. Cada piso extra significa un mayor desgaste para la persona, obligándola a tomar un descanso cada cierta cantidad de pisos recorridos.

Así mismo, si el incendio se origina en un piso intermedio, los ocupantes que se encuentren arriba de este puede que no alcancen a evacuar oportunamente debido a que los accesos a las salidas de emergencia se pueden encontrar bloqueadas o llenas de humo y gases tóxicos. Esto obliga a la gente a tener que buscar refugio en los pisos superiores y esperar a que bomberos controle el fuego y entre a rescatarlos, lo que prolonga el tiempo en el que están expuestos al fuego.

Además que el colapso de una estructura de gran envergadura significa un gran peligro tanto para las personas atrapadas, como para los bomberos que se encuentran combatiendo el fuego, y las estructuras colindantes.

Otro punto que Chile no considera apropiadamente es el uso de rociadores automáticos. Como se analiza durante la tesis, la utilización de sistemas de protección activa como ésta, ayuda a combatir y evitar la propagación del fuego durante una etapa temprana del desarrollo de un incendio. En caso de que éstos no sean suficientes para apagar totalmente el fuego, detienen el crecimiento del mismo otorgando un mayor intervalo de tiempo a las personas para poder escapar y a bomberos a llegar al lugar del incendio y realizar las pertinentes maniobras de extinción y rescate.

Es por esto que la utilización de rociadores complementa la labor realizada por los requerimientos de resistencia al fuego en las protecciones pasivas, y permite en algunos casos que estos requerimientos sean menores.

Del mismo modo, en otros casos la OGUC está a la par en exigencias con la NFPA o incluso son mayores. Como es el caso del número de ocupantes, observados en el gráfico 8.5, los requerimientos de la OGUC son mayores a los presentados por la NFPA para superficies edificadas menores a 1440 [m²], sin embargo para superficies mayores a ésta la NFPA aumenta sus requerimientos, igualando a la OGUC.

En el gráfico 8.8 también se puede apreciar que en edificios con una ocupación más delicada como lo son los hospitales, en Chile se tienen las mismas exigencias de RF que en Estados Unidos, incluyendo la obligatoriedad del uso de rociadores automáticos.

Además como se indica en el capítulo 7, la OGUC no tiene consideraciones especiales en cuanto al uso de subterráneos, el cual es un factor bastante determinante en el desarrollo de un incendio, si éste se origina ahí. Por ejemplo, la NFPA indica que bajo ninguna circunstancia se deben construir subterráneos habitables en un hospital, cosa que en Chile no se considera y de hecho existen hospitales con subterráneos como por ejemplo la Clínica Santa María.

2. ¿CÓMO ESTAMOS EN CHILE? ¿QUÉ DEBEMOS CAMBIAR?

Como se discute en el punto anterior, en Chile estamos más atrasados en ciertos puntos, como lo es en la construcción en altura, el uso de subterráneos, y el uso de rociadores.

Muchos de los siniestros que han ocurrido en la historia de nuestro país dónde han fallecido personas, nos han servido para aprender dónde tenemos falencias y arreglarlas para que no vuelva a ocurrir. Sin embargo, incendios como el de la cárcel San Miguel en 2010 pudo ser evitado si se hubiesen tenido exigencias en cuanto al uso de rociadores, cosa que se empezó a exigir después, influenciados por este evento.

La NFPA y otras normas extranjeras antes del 2010 ya exigían el uso de rociadores en hospitales y cualquier otro edificio en el que sus ocupantes no puedan evacuar como corresponda (cárceles), por lo que el incendio se pudo haber evitado y haber salvado muchas vidas.

En Chile se debe dejar de esperar a que ocurran catástrofes y muera gente para empezar a analizar que falencias tenemos. Nuestra norma fue basada en la NFPA y otras normas extranjeras y aun así tenemos muchas consideraciones y excepciones menos, que se puede traducir en otra gran tragedia a futuro.

3. OBJETIVOS DE LAS EXIGENCIAS DE RESISTENCIA AL FUEGO

El objetivo principal es proteger la salud e integridad de las personas al momento de un incendio. Otro de sus objetivos es mantener la integridad del edificio para evitar pérdidas materiales y de patrimonio, y que no se produzca un colapso de la estructura que pueda dañar a bomberos que se encuentren presentes combatiendo el fuego, y que pueda causar otros daños a las estructuras aledañas.

Al pedir 30, 60, 90, 120 o 180 minutos de RF, se espera que en ese tiempo se puedan llevar a cabo todas las maniobras de evacuación y rescate, y evitar que se siga propagando el incendio y cause más daños a la estructura. En este periodo, bomberos debe ser capaz de llevar a cabo el proceso de extinción del incendio para evitar mayores consecuencias.

En ese tiempo establecido el elemento debe mantener su integridad para que no se vea perjudicada su capacidad de carga y no se produzca el colapso de la estructura; debe resistir la penetración del fuego para que este no se propague fácilmente al resto del edificio; y que no se produzca insolación, debido a que si la transferencia de calor es muy alta puede producirse ignición en otro lugar y tener otro foco de fuego.

Hay que destacar que la resistencia al fuego de los elementos estructurales forma parte de las protecciones pasivas dentro de la estrategia general de incendios. Si bien esta aporta a disminuir los daños y el impacto de un incendio, es sólo una entre varias medidas que se deben adoptar en la prevención de incendios, como se indica en la figura 4.1. Es por esto que para cumplir con todos los objetivos de la resistencia al fuego, las otras medidas deben realizarse satisfactoriamente.

Si bien un muro corta fuego puede aguantar y prevenir la expansión del incendio por el edificio durante 180 minutos, si no hay una oportuna reacción por parte de los ocupantes del edificio para dar aviso a bomberos y colocarse ellos mismos en un lugar a salvo, puede que transcurran estos 180 minutos y el incendio continúe. Esto provocaría que el muro colapse y deje de cumplir con sus funciones de soporte de carga y aislación, permitiendo que el fuego se propague por el edificio, generando nuevos focos y poniendo en riesgo la vida de los ocupantes que aún no escapan.

Así mismo puede ocurrir con otros elementos como muros de carga, vigas y columnas, provocando el colapso de la estructura y poniendo en peligro a la gente que se encuentra cercana al lugar y a las estructuras aledañas.

Por lo tanto para cumplir con los objetivos de la resistencia al fuego, no es suficiente con solamente tener las exigencias de tiempo adecuadas, sino que también hay que contar un plan integral de medidas que cumplan su rol en cuanto al manejo del incendio, a la par con la resistencia al fuego.

Estas medidas son la prevención de la ignición, manejo y supresión del fuego por parte de personas, bomberos o sistemas de protección pasiva, control de la carga combustible, manejo adecuado de la evacuación y aviso oportuno a bomberos.

4. INFLUENCIA DE CADA FACTOR EN LAS EXIGENCIAS DE RF

Como se analiza en el capítulo 7, para determinar los requerimientos de resistencia al fuego se debe tener en consideración varios factores que influyen de distintas maneras en la estrategia general de incendios.

Estos factores son el número de pisos, número de ocupantes, carga combustible, superficie edificada, subterráneos y rociadores. Ellos tienen un rol importante en ciertos puntos de la estrategia general de incendios. Por ejemplo, factores como el número de pisos, ocupantes y la superficie edificada aumentan los tiempos de evacuación, ya que entorpecen de cierta manera el proceso de escape, como se analiza en el capítulo 7.

Otros, como la carga combustible, favorecen el desarrollo del incendio y su magnitud. Por lo que cuando se tienen materiales almacenados dentro del edificio que tengan una alta carga de fuego, los requerimientos de resistencia al fuego deben ser mayores para poder contrarrestar estos efectos.

También se tiene que la utilización de rociadores automáticos ayuda al control y extinción temprana del incendio, lo cual favorece en el cumplimiento de la labor de las protecciones pasivas, permitiendo en algunas ocasiones que estas tengan menores exigencias de RF.

Así mismo, cada uno de estos factores tiene un rol diferente en el edificio, dependiendo de la ocupación de este. Edificios que generalmente se construyen de gran altura, como residenciales y de oficinas, se ven influenciados mayormente por el número de pisos y la superficie edificada, por lo que estos son determinantes al momento de definir la resistencia al fuego necesaria para los elementos estructurales utilizados en su construcción.

Otras ocupaciones como cárceles y hospitales, en dónde la mayoría de sus ocupantes tiene la movilidad limitada y no pueden escapar libremente, factores como la utilización de rociadores y la prohibición del uso de subterráneos toman importancia. Como la mejor manera de combatir los incendios es evitando la propagación del fuego, para que sus ocupantes puedan permanecer en el lugar, se vuelve de vital importancia tener cuidado con factores como la superficie edificada y el uso de muros cortafuego para los compartimentos.

Edificios mercantiles e industriales generalmente contienen grandes cantidades de materiales peligrosos o con alta combustibilidad, por lo que se debe tener claro cuál será su densidad de carga combustible, para así poder determinar los requerimientos de RF adecuados para soportar estas grandes cantidades de calor generado.

Finalmente, edificios destinados a usos que congregan grandes cantidades de personas, las cuales no están familiarizadas entre ella ni el lugar, deben tener en consideración el número de personas que estarán presentes en el lugar normalmente. Este factor se vuelve relevante, puesto que al tener que evacuar a grandes cantidades de personas se pueden producir atochamientos y personas que se vean lesionadas por la baja movilidad y presión ejercida por los demás.

5. ALGUNAS COMPARACIONES DE LA OGUC CON LA NFPA

Para la NFPA el uso de rociadores es un factor importante al momento de establecer los requerimientos de RF, todo tipo de edificio sin importar el destino tiene distintas exigencias dependiendo de si se usan o no. La OGUC establece sus requerimientos sin importar si se usan o no rociadores y sólo establece en algunos casos la obligatoriedad de su uso.

La NFPA 220 nos entrega los “fire-resistance ratings” de cada tipo de construcción, la NFPA 5000 entrega las limitaciones en los pisos y la superficie edificada para cada tipo y cada ocupación, mientras que la NFPA 101 entrega otras limitaciones en pisos y número de ocupantes dependiendo de la seguridad de las personas. La OGUC en tres tablas considera todos los factores relevantes dependiendo del tipo de ocupación y nos entrega las resistencias mínimas al fuego de los elementos.

Otros factores considerados por la NFPA que pueden variar las exigencias de resistencia al fuego de los elementos estructurales y que no están presentes en la OGUC son:

- Si los muros son interiores o exteriores.
- Si los muros están soportando un piso, dos o más pisos o solo el techo.
- Si tiene subterráneos o no.
- Separa los muros de las columnas, y no las cataloga simplemente como “elementos soportantes verticales”.
- A los tabiques y otros elementos que no aportan a la estructura no se les exige ninguna resistencia.
- Separa losas de vigas y cerchas, y no las cataloga simplemente como “elementos soportantes horizontales”.
- Existen construcciones a las cuales no se les exige ningún tipo de resistencia.
- Tiene definido claramente qué condiciones debe cumplir la estructura para poder entrar a una clasificación según su ocupación.

La NFPA establece que bajo ninguna circunstancia se deben construir pisos habitables bajo el nivel de evacuación en hospitales, cosa que la ordenanza chilena no considera y que se ha hecho en algunas ocasiones, como en la Clínica Santa María y el Hospital Clínico de la Universidad Católica de San Carlos de Apoquindo.

La OGUC, al momento de determinar los requerimientos de RF, considera toda construcción habitacional en la categoría de residencial, siendo que normas como la norteamericana, separan las casas para una o dos familias de los que ya vienen a ser edificios o complejos multi-habitacionales.

Del mismo modo no separa colegios e institutos de salas cuna o jardines infantiles, dónde la NFPA remarca que se tienen un trato distinto, puesto que niños de 2 o 3 años no son capaces de darse cuenta de que se encuentran en peligro y que deben evacuar de forma rápida y ordenada antes de que puedan resultar dañados.

Esto también se observa en el caso de asilos de ancianos, los cuales tienen características más parecidas a los edificios residenciales y la OGUC los agrupa junto a hoteles y edificios por el estilo, pero en el que, tal como lo indica la NFPA, es muy probable que por efectos de la edad sus ocupantes no tengan la movilidad ni reflejos adecuados para reaccionar pertinentemente.

6. CASO EJEMPLO: SI SE QUEMA UN EDIFICIO DE OFICINA DE 23 PISOS ¿QUÉ PASARÍA?

Si se quemara un edificio de oficinas de 23 pisos acá en Santiago de Chile, hay dos posibles opciones que pueden ocurrir. Primero, tomando el supuesto de que el edificio cumple con todos los requerimientos entregados por la OGUC y las normas que la complementan, y que estas exigencias son las adecuadas, el edificio deberá tener una resistencia al fuego mínima de 120 minutos en sus elementos soportantes y deberá contar con sistemas de detección de incendios y alarmas, para que se dé un aviso oportuno a sus ocupantes.

Se espera que los ocupantes comiencen a evacuar de manera ordenada hasta el nivel base que los llevará al exterior. Si ocurre en horario de trabajo la gente está activa y atenta, por lo que no debería ocurrir que alguien se demore en darse por enterado; si ocurre en horarios fuera de la hora laboral, es probable que el edificio se encuentre prácticamente vacío, por lo que no significaría un riesgo para mucha gente, y estas podrían evacuar de manera más expedita.

Las personas que se encuentran en pisos superiores demorarían más en llegar hasta abajo, puesto que bajo presión y el estrés de la multitud, muchos deberán parar a tomar un descanso para luego continuar. Durante todo el proceso de evacuación, la caja de escaleras y ascensores deben permanecer libres de fuego, humo y gases tóxicos que puedan entorpecer el egreso de las personas y no ayuden al esparcimiento del fuego. No debería utilizarse ninguno de los ascensores, o no ser que estén diseñados para funcionar en caso de incendio.

La estructura debería aguantar lo suficiente para que lleguen los bomberos, saquen a cualquiera que esté con dificultades de evacuar por sus propios medios, por lo que las escaleras deberían seguir intactas durante este periodo, para luego comenzar las labores de extinción, lográndolo antes de que se alcance el tiempo necesario para que comiencen a fallar los elementos estructurales y se produzca el colapso de la estructura.

El otro supuesto posible es que el edificio no cumpla con los requerimientos establecidos por la OGUC o que las exigencias no sean las adecuadas, lo que puede provocar serias consecuencias.

Puede ocurrir que el fuego penetre en la caja de escaleras y/o ascensores acelerando la propagación del fuego a los pisos superiores. Esto provocaría que las personas que se encuentran en lo más alto del edificio no puedan evacuar, causando el pánico y desesperación, que en algunos casos como el de las Torres Gemelas el 11 de septiembre y la Torre Santa María el 81' lleva a la gente a lanzarse por la ventana para no morir quemados. Los bomberos no podrán subir a rescatarlas y en edificios tan altos se hace imposible la evacuación por el exterior del edificio, ya que las escaleras telescópicas no lo alcanzan.

Si los elementos estructurales soportantes no cumplen con los 120 minutos requeridos o si estos 120 minutos no son suficientes para que bomberos extinga el fuego, la estructura puede comenzar a fallar provocando un colapso inminente, que pone en peligro a todos los voluntarios que se encuentren en sus alrededores y a toda estructura cercana, junto a sus ocupantes.

7. ¿QUÉ PROPONDRÍA HACER PARA MEJORAR LA SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS EN CHILE, EN ESTE TEMA DE LA RESISTENCIA AL FUEGO?

Propondría la creación de un comité conformado con los mejores especialistas en el tema en Chile, para que le hagan una revisión exhaustiva a nuestra normativa y determinen qué tan determinantes son las falencias expuestas previamente.

Después de realizar esta revisión, se puede complementar la ordenanza con todos los puntos estudiados y se tiene que tener un respaldo del estudio que avala dichos cambios. Una vez que todos los factores faltantes se encuentren estudiados y analizados, se debería entrar a revisar las exigencias ya existentes para determinar si están del todo correctas y si siguen las tendencias mundiales en este tema.

Muchos de los estudios a realizar se deben basar en nuestra experiencia como país, y en caso de que no tengamos muchos datos en ciertos puntos, guiarnos por los hechos ocurridos en otros países que tengan una realidad parecida a la nuestra.

Una vez terminados todos los estudios y con todos los datos en mano, se podría proceder a crear un plan de emergencia específico para cada tipo de edificio, puesto que cada uno presenta sus propias realidades que no son comparables como para crear un procedimiento único.

Finalmente propondría la creación de una norma aparte, por parte del Instituto Nacional de Normalización (INN), que contenga todos los estudios nuevos realizados y apoye a la Ordenanza en lo que es ingeniería en prevención de incendios.

10. Bibliografía

- (1) Andrew Furness, M. M. (2007). *Introduction to Fire Safety Management*. Jordan Hill, Oxford: Elsevier.
- (2) Association, N. F. (2000). NFPA 1 Fire Prevention Code. Quincy, Massachusetts: IHS.
- (3) Association, N. F. (2000). NFPA 221 Standard for Fire Walls and Fire Barrier Walls. Quincy, Massachusetts: IHS.
- (4) Association, N. F. (2004). NFPA 921 Guide for Fire and Explosion Investigation. Quincy, Massachusetts: IHS.
- (5) Association, N. F. (2005). NFPA 550 Guide to the Fire Safety Concepts Tree. Quincy, Massachusetts: IHS.
- (6) Association, N. F. (2006). NFPA 5000 Building Construction and Safety Code. Quincy, Massachusetts: IHS.
- (7) Association, N. F. (2009). NFPA 101 Life Safety Code. Quincy, Massachusetts: IHS.
- (8) Association, N. F. (2009). NFPA 220 Standard on Types of Building Construction. Quincy, Massachusetts: IHS.
- (9) Association, N. F. (2009). NFPA 251 Standard Methods of Test of Fire Endurance of Building Construction and Materials. Quincy, Massachusetts: IHS.
- (10) Association, N. F. (2010). NFPA 13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems. Quincy, Massachusetts: IHS.
- (11) Bomberos, A. N. (s.f.). El Incendio.
- (12) Botta, N. (s.f.). Técnico Superior en Higiene y Seguridad en el Trabajo - Prevención y Control de Incendios I.
- (13) Buchanan, A. H. (2003). *Structural Design for Fire Safety*. Canterbury, Nueva Zelanda: Wiley.
- (14) Certificación, A. E. (2004). Eurocode 1: Acciones en estructuras expuestas al fuego. Madrid, España: Aenor.
- (15) CIBSE. (2003). *Fire Engineering*. Londres: The Dorset Press.
- (16) Council, I. C. (2006). *International Fire Code*. Illinois: ICC.

- (17) D. Rasbash, G. R. (2004). *Evaluation of Fire Safety*. Chichester: John Wiley and Sons.
- (18) Drysdale, D. (2011). *An Introduction to Fire Dynamics*. University of Edinburgh, Scotland, UK: John Wiley and Sons.
- (19) Edificación, C. T. (2010). *DB-SI Seguridad en caso de incendio*.
- (20) G. B. Menon, J. N. (s.f.). *Handbook on Building Fire Codes*. India.
- (21) Minister, O. o. (2000). *The Building Regulation, Fire Safety, Approved Document B*. Colegate, Norwich: TSO.
- (22) MINVU. (2014). *Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones*. Santiago, Chile.
- (23) NBE-CPI/96. (1996). *Condiciones de protección contra incendios en los edificios*.
- (24) Normalización, I. N. (1997). *NCh 935/1 Prevención de incendios en edificios - Ensayo de resistencia al fuego - Parte 1*. Diario Oficial N°35.762.
- (25) Vytienis Babrauskas, J. R. (1992). *Upholstered Furniture Heat Release Rates Measured With A Furniture Calorimeter*. Washington, DC: U.S Department of Commerce.
- (26) Wales, F. L. (2004). *Handbook for Construction Professionals*. Londres.
- (27) NIST. (s.f.). *National Institute of Standards and Technology*.
- (28) Pérez, J. M. (2009). *NFPA Handbook Tomo I - Manual de protección contra incendios*. Bogotá, Colombia: Quebecor World.