



expo**fuego**

CHILE 2023

**CONGRESO INTERNACIONAL**  
DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO



expofuego

CHILE 2023

# Innovación en Llamas. Comportamiento al Fuego de Nuevos Materiales en la Edificación

Edith Pacci Leiva

# Torre Grenfell (UK, 2017)



Fuente: NBC News  
Catholic Herald UK  
UK News

# Torre Grenfell (UK, 2017)

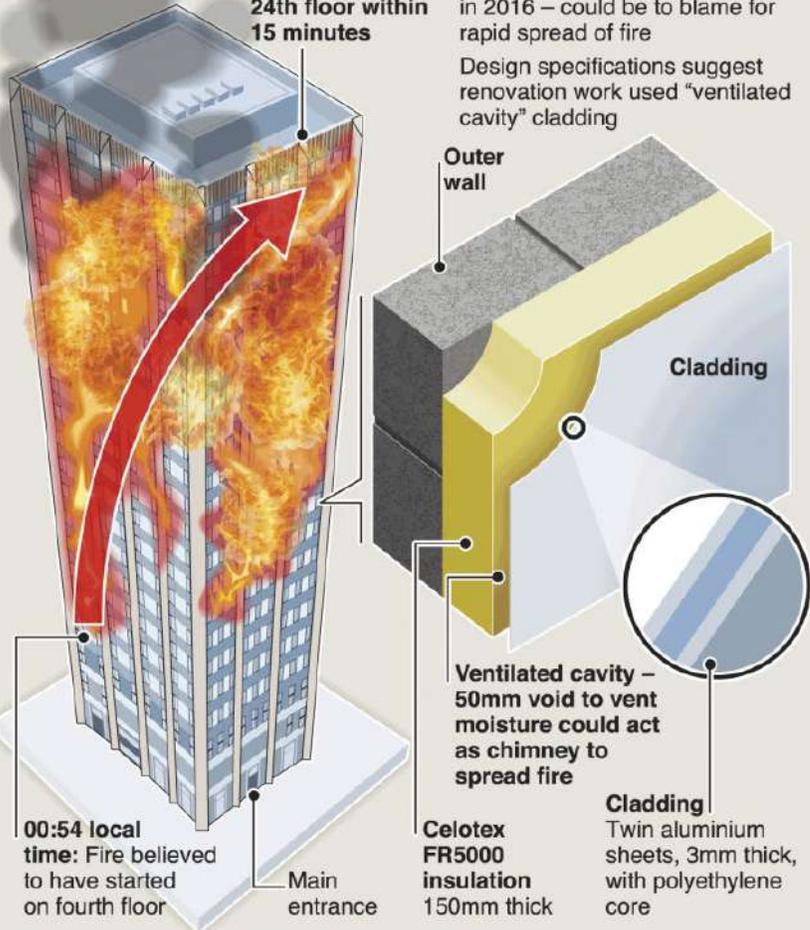
## London fire probe focuses on cladding

With 17 confirmed dead but dozens of people still missing, fire chiefs say no more survivors are expected to be found in London's 120-apartment Grenfell Tower

Fire spreads to 24th floor within 15 minutes

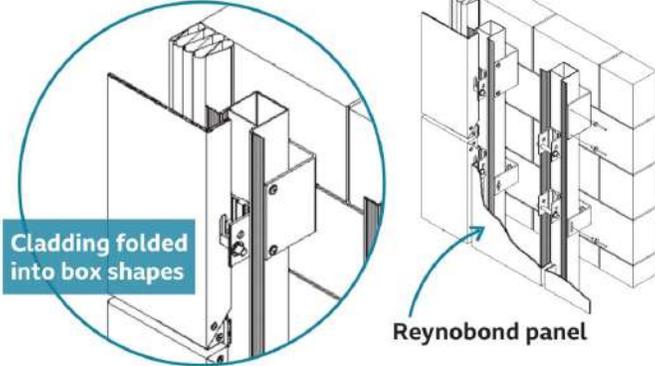
**Cladding:** Added to tower block in 2016 – could be to blame for rapid spread of fire

Design specifications suggest renovation work used “ventilated cavity” cladding



Sources: Press Association, Construction Enquirer, Architects Journal

### Cassette system



Source: British Board of Agrément

BBC

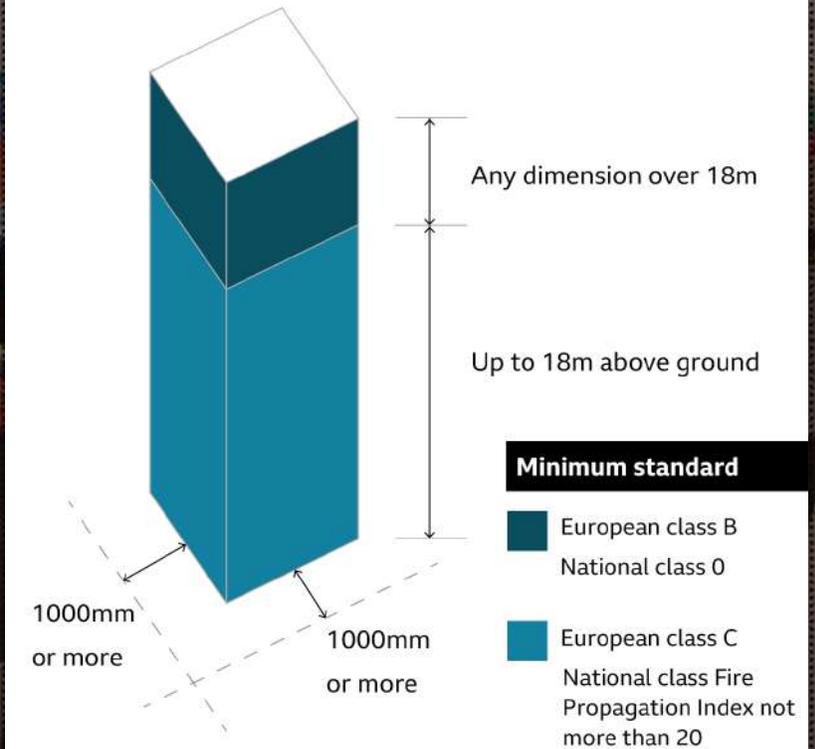
### Fire testing of Reynobond PE

Date	Type	Test fully completed?	Classification
2005	Cassette	✗	E
2005	Rivet	✓	B
2011	Cassette	✗	E
2011	Rivet	✓	B
2014	Cassette	✗	E
2014	Rivet	✓	C
2015	Cassette	✗	E
2015	Rivet	✓	C

Source: CSTB

BBC

### Cladding standards for tower blocks



Source: HM Government, Building regulations 2010, Approved Document B, 2006 edition

BBC

# Discoteca Teatre de Murcia (España, 2023)



Fuente: El País

# Discoteca Teatre de Murcia (España, 2023)

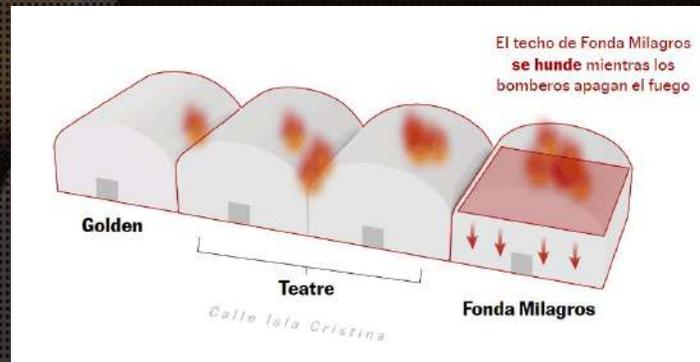
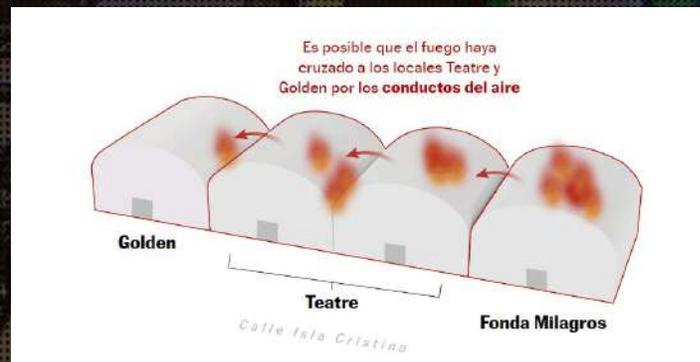
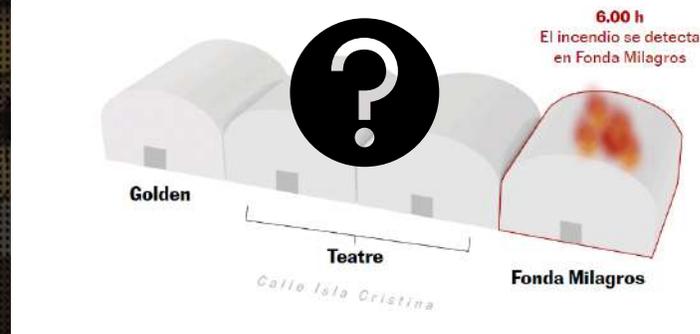
Fuente: El País

## LUGAR DE LA TRAGEDIA



FUENTE: Elaboración propia.  
ISABEL G. | EL MUNDO

## Principal hipótesis sobre cómo se propagó el fuego



Fuente: El Mundo

# Innovación en Llamas

## Comportamiento al fuego de nuevos materiales en la edificación

- **INTRODUCCIÓN**
- **MARCO NORMATIVO**
- **ALGUNOS DESAFÍOS**
- **CONCLUSIONES**

# Resistencia al fuego y Reacción al fuego

## Resistencia al fuego

## Reacción al fuego



Tiempo en que un sistema constructivo resiste un incendio sin daño importante en su funcionalidad

Evalúa como un material contribuye al desarrollo de un incendio y como afecta su propagación

Se ensayan configuraciones o sistemas constructivos

Se evalúa el material

Ensayos similares a las condiciones de un incendio estándar

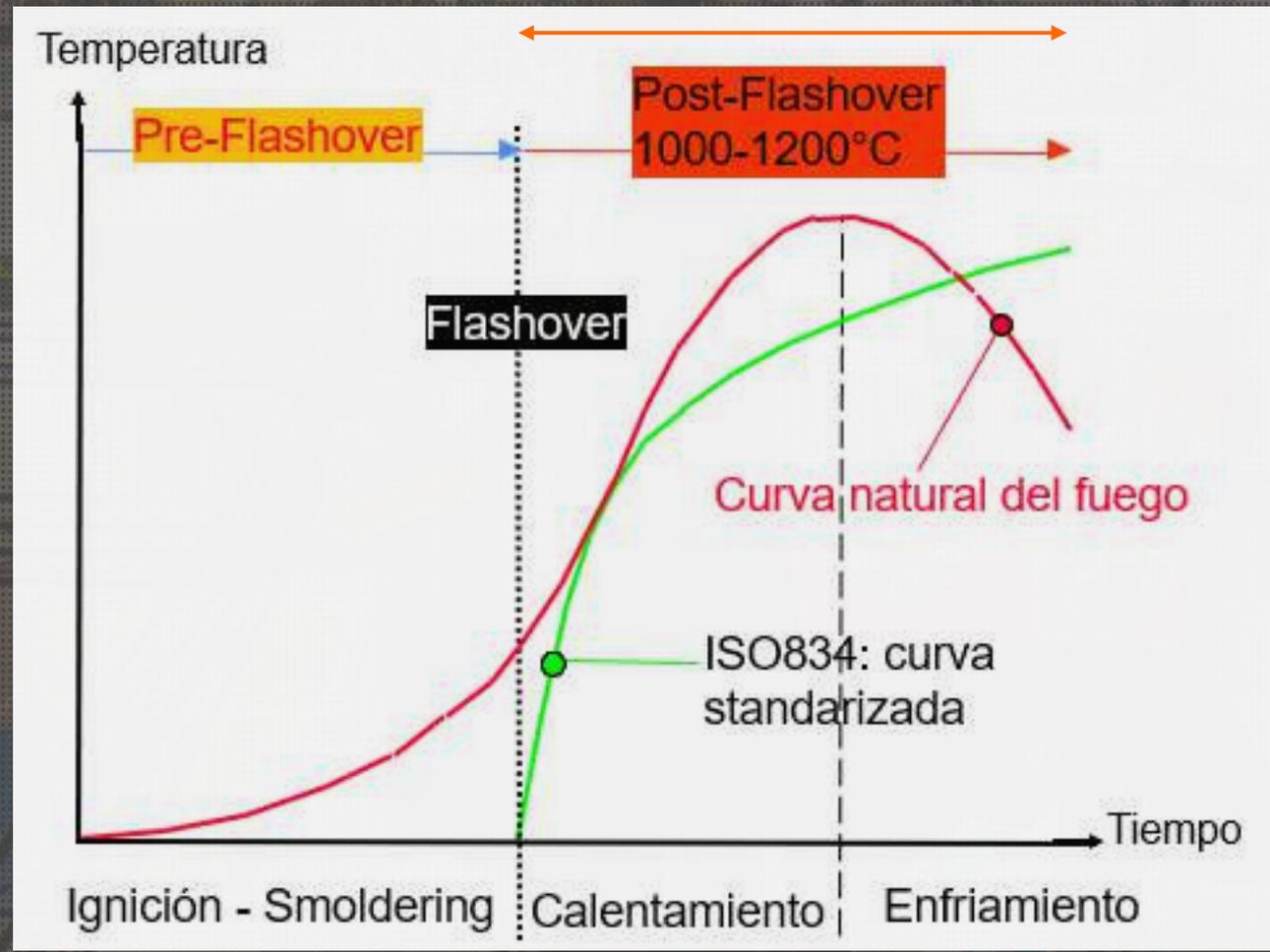
Existen diferentes estándares y normativas específicas en diferentes países

Clasificación F15, F90, F120, etc.

Clasificación: B-s1,d0 (Europea)  
Clasificación: ?? (Chile)

¿ENTONCES?

Ambas son importantes en el diseño de la protección contra incendios de los edificios

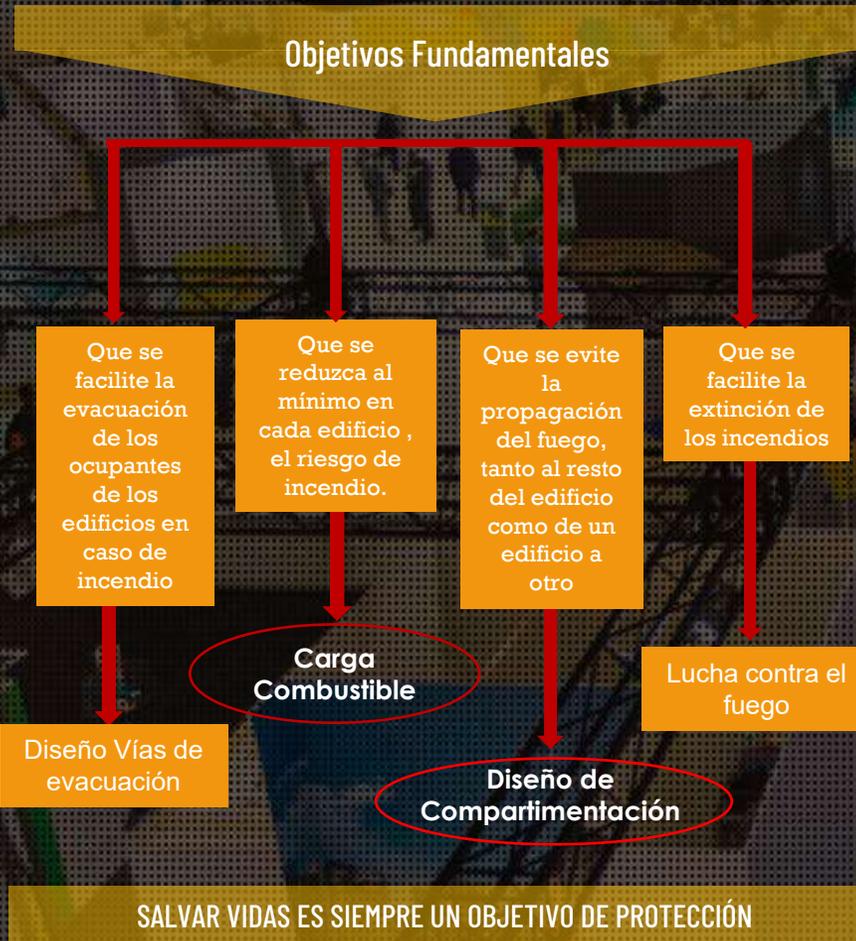


# Innovación en Llamas

## Comportamiento al fuego de nuevos materiales en la edificación

- INTRODUCCIÓN
- **MARCO NORMATIVO**
- ALGUNOS DESAFÍOS
- CONCLUSIONES

# Marco normativo nacional: OGUC



Normas de resistencia al fuego

Norma sobre carga combustible

Normas sobre comportamiento al fuego

Normas sobre señalización de edificios

Normas elementos de protección y combate

Normas rociadores automáticos

**NCh 935/1**  
Ensaye de resistencia al fuego- Parte 1: Elementos de construcción en general

**NCh 935/2**  
Ensaye de resistencia al fuego- Parte 2: Puertas y otros elementos de cierre

**NCh 2209**  
Ensaye del comportamiento al fuego de elementos de construcción vidriado

**NCh 1914/1**  
Ensaye de reacción al fuego-P1: Determinación de la no combustibilidad de materiales de construcción

**NCh 1974**  
Pinturas – Determinación del retardo al fuego

**NCh 1977**  
Determinación del comportamiento de revestimientos textiles a la acción de una llama

**NCh 2121/1**  
Prevención de incendios-P1: Determinación del comportamiento de plásticos auto soportantes a la acción de una llama

**NCh 2208**  
Prevención de incendios-P2: Determinación de la capacidad de ignifugado para materiales textiles frente a la acción de los lavados

**NCh 2529**  
Ensayo de reacción al fuego- Propagación sup. de llama sobre sistemas de recubrimientos para piso - Propagación de llama utilizando fuente de calor radiante

**NCh 1914/2**  
Ensaye de reacción al fuego-P2: Determinación del calor de combustión de materiales en general

**NCh 1979**  
Determinación del comportamiento de telas a la acción de una llama

**NCh 2121/2**  
Prevención de incendios-P2: Determinación del comportamiento de plásticos flexibles a la acción de una llama

# Marco normativo nacional: OGUC

SISTEMAS

Norma Chilena	Citada en la OGUC	Exigencia
NCh 935/1 Resistencia al fuego- elementos de construcción	SI	SI
NCh 935/2 Resistencia al fuego - puertas*	SI	SI
NCh 2209 Resistencia al fuego - vidrios	SI	*
NCh 935/3 Resistencia al fuego - sello de penetraciones	NO	*
NCh 935/4 Resistencia al fuego - conductos de ventilación	NO	*
NCh 935/5 Resistencia al fuego - conductos de extracción de humos	NO	NO

MATERIALES

Norma Chilena	Citada en la OGUC	Exigencia
NCh 1914/1 No combustibilidad	SI	NO
NCh 1974 Pinturas - Retardo al fuego	SI	NO
NCh 1977 Revestimientos textiles	SI	NO
NCh 1979 Telas	SI	NO
NCh 2121/1 Plásticos auto soportantes	NO	NO
NCh 2121/2 Plásticos flexibles	NO	NO

Fuente: Rodrigo Aravena  
CORTAFUEGOS

# Marco normativo: Euroclases

## Estándar EN-13501-1

- Inflamabilidad
- Esquina
- No combustibilidad
- Calor de combustión

Ejemplo de aplicación:  
CTE - España  
Recinto de riesgo especial

a) Revestimiento techos y paredes: B-s1, d0

Euroclases			
Potencial energético	Materiales no combustibles	A1	No contribuyen en ninguna fase de incendio
		A2	Poder calorífico muy limitado.
	Materiales combustibles	B	Difícilmente inflamable
		C	Moderadamente inflamable
		D	Inflamable
		E	Fácilmente inflamable
		F	Extremadamente inflamable (o productos no evaluados). Sin criterio
Humos	S1	Sin Humo	Escasa y lenta opacidad
	S2	Humo limitado	Opacidad media
	S3	Humo ilimitado	Elevada y rápida opacidad
Formación gotas	D0	Sin caída	No se producen gotas inflamadas
	D1	Sin caída por un tiempo determinado	Se producen gotas, pero con duración menor a 10 seg
	D2	Caída ilimitada	Resto de casos

### Clasificación de reacción al fuego: B – s1, d0

- Indicador principal; clasificación de reacc. al fuego. Desde la más alta, A1, pasando por A2, B, C, D y E, hasta F, el nivel más bajo de comportamiento.
- Indicador adicional; producción de humo. Desde la clasificación más alta, s1, pasando por s2, hasta s3, el nivel más bajo de comportamiento.
- Indicador adicional; producción de gotas inflamadas. Desde la clasificación más alta, d0, pasando por d1, hasta d2, el nivel más bajo de comportamiento.

Fuente: Rodrigo Aravena  
CORTAFUEGOS

# Marco normativo: Underwriters Laboratories (USA)

## ASTM E-84 / UL 723

- Ensayo de quemado superficial para materiales de construcción
- Mide el comportamiento relativo al fuego o características de combustión en la superficie de un material.

### Clasificación según ensayo ASTM E-84 / UL 723

Clase A	Clase A: índice dispersión llama 0-25; índice producción de humo 0-450
Clase B	Clase B: índice dispersión llama 26-75; índice producción de humo 0-450
Clase C	Clase C: índice dispersión llama 76-200; índice producción de humo 0-450

Ejemplo de aplicación:  
NFPA 5000 (2012)  
Capítulo 48 Plásticos

a) 48.4.1.4 Para muros exteriores el índice de propagación de llama y de desarrollo de humo corresponderá a Clase A

# Marco normativo: Underwriters Laboratories (USA)

## ASTM E-108 / UL 790

- Ensayo de quemado superficial para revestimiento de cubierta
- Simula una exposición en el exterior y está recomendada para cubiertas de techo en donde se instalan plataformas combustibles o no combustibles

### Clasificación según ensayo ASTM E-108 / UL 790

Clase A	Para exposición severa
Clase B	Para exposición moderada
Clase C	Para exposición leve

## Ejemplo de aplicación:

NFPA 5000 (2012)

Capítulo 38 Conjunto y estructura de techo

Table 38.2.2 Minimum Roof-Covering Classification

Type of Construction	Minimum Roof Covering Classification
Type I (442)	B
Type I (332)	B
Type II (222)	B
Type II (111)	B
Type II (000)	C
Type III (211)	B
Type III (200)	C
Type IV (2HH)	B
Type V (111)	B
Type V (000)	C

# Marco normativo: Factory Mutual (USA)

## FM 4880

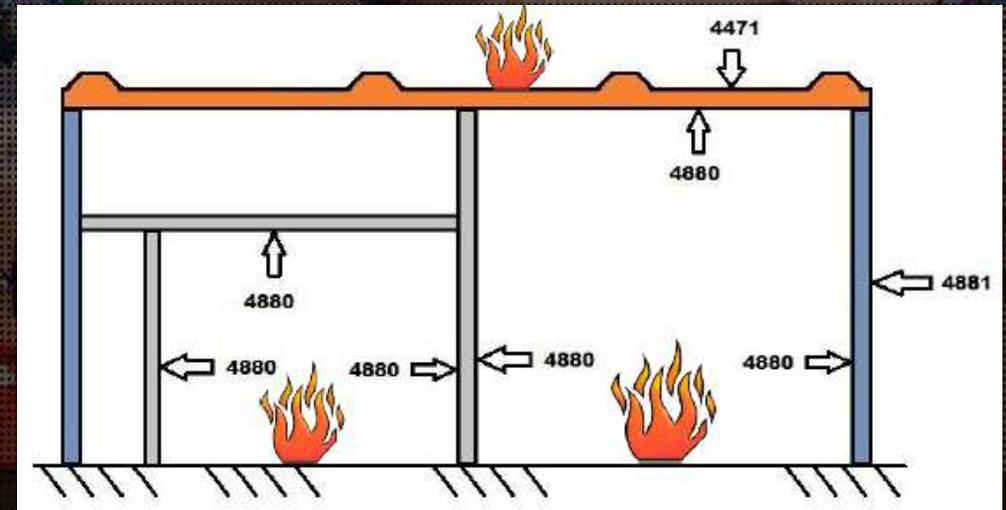
Establece requisitos de aprobación para paneles de construcción o materiales de acabado interior para un uso Clase 1 de combustibilidad en paredes o cubierta

## FM 4881

Establece requisitos de aprobación para sistemas de muros exteriores que están sujetos a riesgos naturales y a condiciones climáticas. Necesita aprobación FM 4880

## FM 4471

Establece requisitos de aprobación para sistemas de paneles en cubierta que previamente dispongan Clase 1. Estos sistemas disponen de criterios de reacción al fuego, viento, tráfico de personas y granizo



### Clasificación según ensayo ASTM E-84 / UL 723

Factory Mutual	NFPA 101 Sección 6-5.2.1 o Estándar Building Code Sección 704
Clase 1	Clase A: índice dispersión llama 0-25; índice producción de humo 0-450
Clase 2	Clase B: índice dispersión llama 26-75; índice producción de humo 0-450
Clase 3	Clase C: índice dispersión llama 76-200; índice producción de humo 0-450

A diferencia de los casos extranjeros expuestos, en Chile no disponemos de requisitos para materiales

Ingresa al mercado local un sin número de materiales con/sin ensayos. Entonces, ¿los aceptamos?, ¿se pueden considerar de buen desempeño?, ¿Cómo los podemos comparar?



Tan importante es disponer de ensayos (conocimiento de los materiales) como de requisitos para definir en donde deben ser utilizados

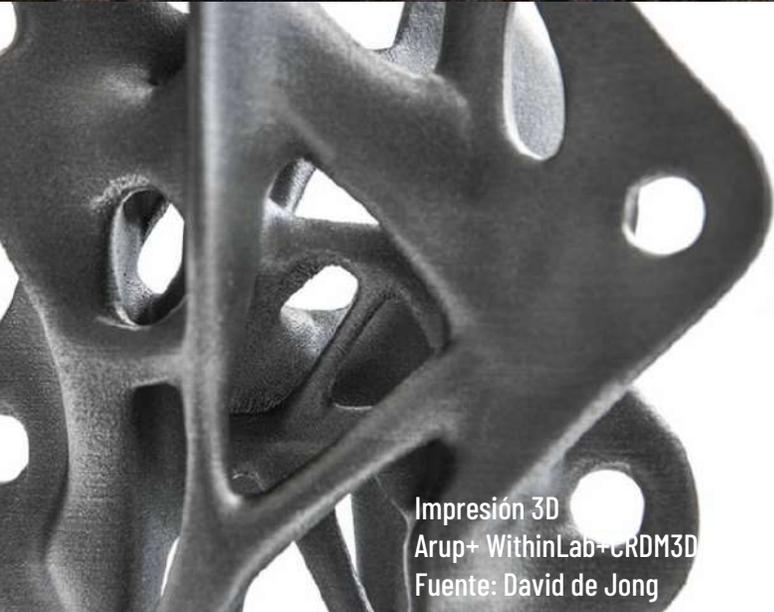
Innovar debe ser compatibles con el diseño de edificios de buen desempeño desde el punto de vista de la seguridad humana

# Innovación en Llamas

## Comportamiento al fuego de nuevos materiales en la edificación

- INTRODUCCIÓN
- MARCO NORMATIVO
- **ALGUNOS DESAFÍOS**
- REVISIÓN E INSPECCIÓN

# Nuevos Desafíos...



Impresión 3D  
Arup+ WithinLab+CRDM3D  
Fuente: David de Jong



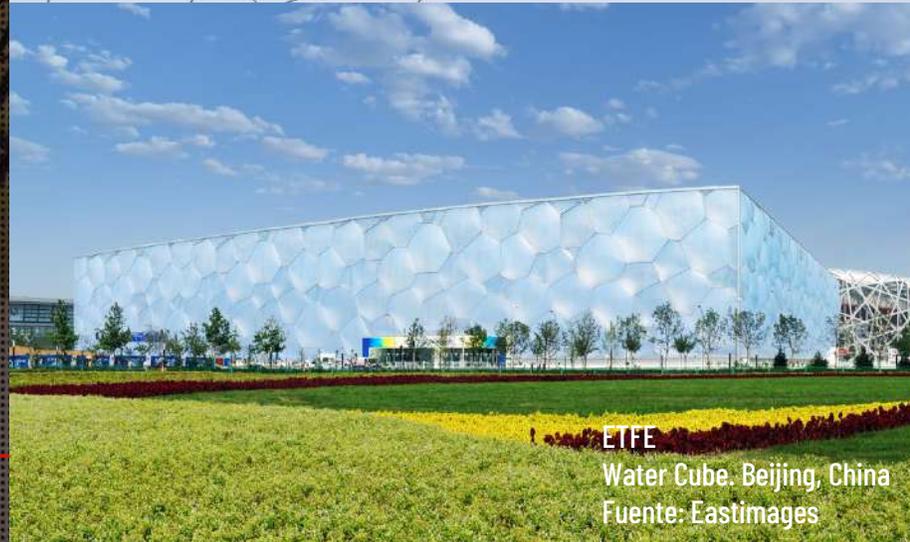
Fachada Ventilada  
Edificio Le Crysto, Francia  
Fuente: Porcenalosa



Construcción con fardos de paja  
Casa Rural. Los Alpes, Italia  
Fuente: Atelier Werner Schmidt



Paneles compuestos  
Fuente: Mundopanelisip



ETFE  
Water Cube. Beijing, China  
Fuente: Eastimages



Pabellón modular textil  
Comedor de Atletas. Santiago  
Fuente: Santiago 2023

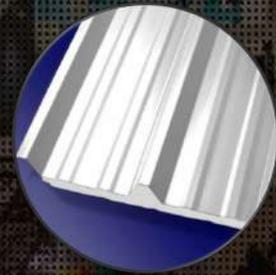
# Materiales con núcleo compuesto

## Panel tipo "sándwich"



**Panel SIP**

Panel de OSB con núcleo de poliestireno expandido



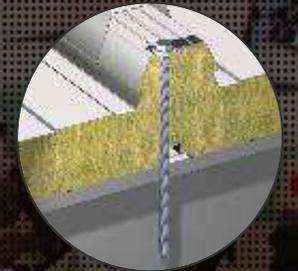
**Panel POL**

Panel metálico con núcleo de poliestireno expandido



**Panel PUR**

Panel metálico con núcleo de poliuretano



**Panel Rockwool\*\***

Panel metálico con núcleo de lana de roca

¿Existen aprobaciones para sellado de pasadas?

¿Disponen de ensayos de resistencia al fuego?

¿Disponen de ensayos de reacción al fuego?

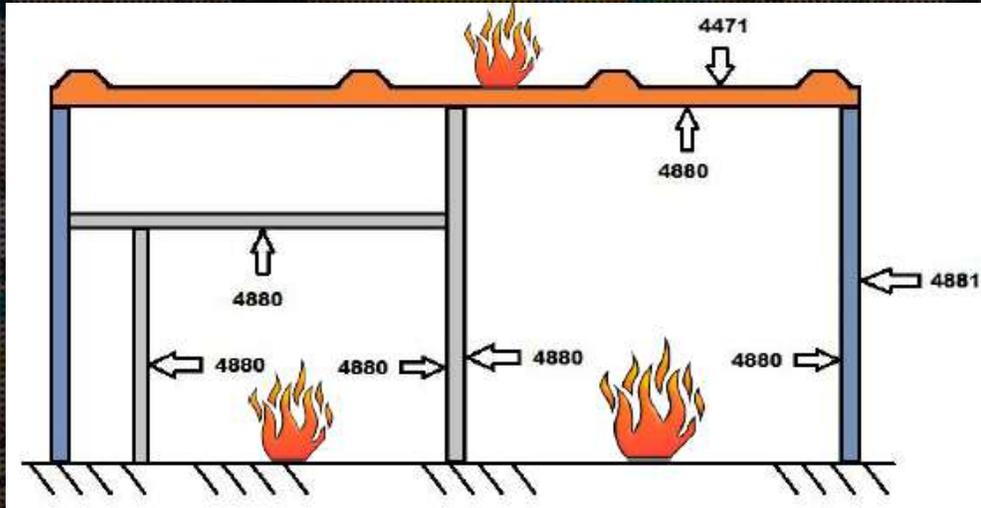
\*

\*

\*

# Materiales con núcleo compuesto

Panel tipo "sándwich"



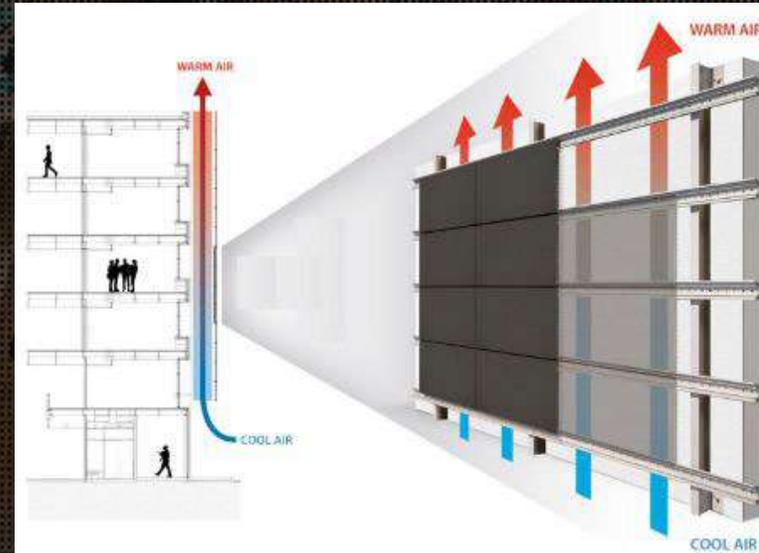
¿Existen aprobaciones para sellado de pasadas?

¿Disponen de ensayos de resistencia al fuego?

¿Disponen de ensayos de reacción al fuego?

# Materiales con núcleo compuesto

## Fachada ventilada



¿Se dispone de criterios de compartimentación?

¿Disponen de ensayos de reacción al fuego

¿Existen criterios de aprobaciones para este tipo de sistemas?



Fuente: Hilti

# Materiales con núcleo compuesto

## Fachada ventilada

Contribución energética al fuego A-B-C-D-E-F	Opacidad del humo s1, s2, s3	Gotas de fuego d0 - d1 - d2
<b>A1</b> Incombustible	No necesita ensayo	No necesita ensayo
<b>A2</b> Incombustible Resiste un ataque prolongado de llamas pequeñas y de un objeto individual ardiendo ambos con limitación de la propagación de llama	<b>s1</b> Poca Opacidad	<b>d0</b> No hay gotas en 10 min.
<b>B</b> Resiste un ataque breve de llamas pequeñas y de un objeto individual ardiendo ambos con limitación de la propagación de llama	<b>s2</b> Ligera Opacidad	<b>d1</b> Gotas inflamadas en menos de 10 seg.
<b>C</b> Resiste un ataque breve de llamas pequeñas con limitación de la propagación de llama y de un objeto individual ardiendo.	<b>s3</b> Opacidad	<b>d2</b> Ni d0, ni d1
<b>D</b> Resiste un ataque breve de llamas pequeñas con limitación de la propagación de llama.	No ensayado	sin indicación o d2
<b>E</b>		
<b>F</b>	Sin determinar características o se incumplen los criterios anteriores	

¿Se dispone de criterios de compartimentación?

¿Disponen de ensayos de reacción al fuego

¿Existen criterios de aprobaciones para este tipo de sistemas?



# Materiales textiles

## Textiles membrana PVC

PVC (PoliCloruro de Vinilo)

\* Ignífuga (ASTM E84: Clase C)

NFPA 701: Standard Methods of Fire Tests for  
Flame Propagation of Textiles and Films

ASTM E108 /UL 790



## Textiles membrana PTFE

PTFE (PoliTetraFluoroEtileno)

Fibra de vidrio tejida recubierta de teflón.

Temperaturas entre  $-73^{\circ}\text{C}$  a  $+232^{\circ}\text{C}$

Ignífuga (ASTM E84: Clase A)

NFPA 701: Standard Methods of Fire Tests  
for Flame Propagation of Textiles and  
Films

ASTM E108 /UL 790



## Textiles membrana ETFE

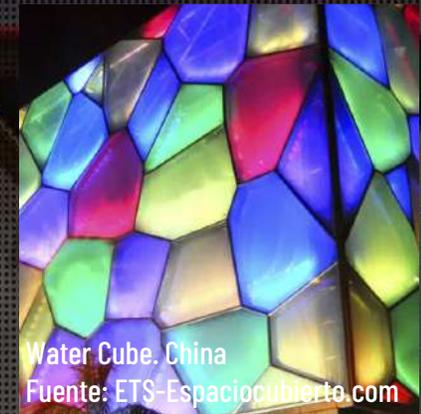
ETFE (EtilenoTetraFluoroEtileno)

Copolímero. Se extruye creando un cojín  
neumático y se tensan entre ellas.

Ignífuga (ASTM E84: Clase A)

NFPA 701: Standard Methods of Fire  
Tests for Flame Propagation of Textiles  
and Films

ASTM E108 /UL 790



## Edificios modulares

### Ejemplo:

- Estructuras de aluminio que garantizan una excelente terminación
- Cerramientos laterales en membrana de PVC (black out, traslúcida o transparente) y panelería de cristal rígido (vidriado)
- Sistema de construcción modular adaptable a diferentes configuraciones
- No requiere fundaciones, se puede montar, reubicar y modificar su tamaño
- Reducido volumen de transporte
- Estructuras de aluminio con resistencia al fuego F-30 y F-90 (certificación DICTUC)
- Edificios emplazados según NCh de construcción
- Membranas de PVC auto extingüibles, black out y con filtro UV
- Modalidad de venta o arriendo



¿Es suficiente que sea "autoextinguible"?

¿Se dispone de criterios de compartimentación?



# Impresión 3D

## ¿Normas?, ¿Son construcciones seguras?

- La impresión 3D o Fabricación aditiva es una de las maneras de construir más innovadoras.
- NFPA, ICC y UL han publicado documentos para criterios de evaluación y aprobación de edificios 3D
- La mayoría de la comunidad técnica no tiene el conocimiento suficiente para evaluar este tipo de edificios
- Los fabricantes van mejorando rápidamente las combinaciones de materiales...



## Referencias:

### UL 3401, Descripción de la Investigación para la Construcción de Edificios Impresos en 3D

- Evalúa la impresora, el proceso y los materiales utilizados para verificar la continuidad.
- Que debe cumplirse con UL 263 Norma para prueba de Incendio de Construcción de Edificios y Materiales
- Que debe cumplirse con NFPA 275, Método normalizado de pruebas de incendio para la evaluación de barreras térmicas
- APIS COR y MIGHTY BUILDINGS ensaya adicionalmente UL 723



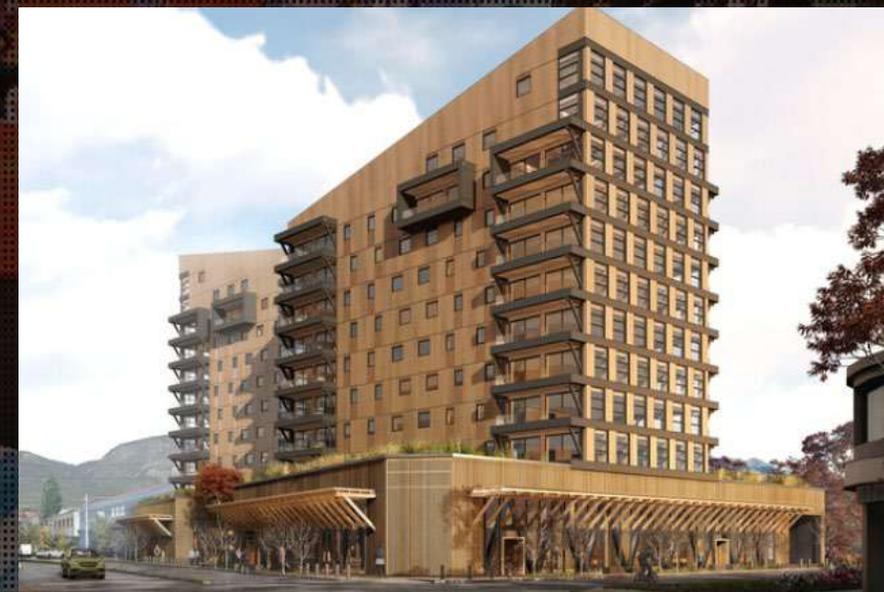
## Cross Laminated Timber

- Respuesta a la crisis de sostenibilidad y a la crisis habitacional
- Es un recurso renovable que proviene de la reforestación y no requiere de combustibles fósiles durante su producción.
- Uso en: infraestructura, moldajes, viviendas en altura
- No existe una normativa de diseño estructural en CLT (en proceso)

### Referencias:

- TAMANGO
- Paneles compuestos por capas prensadas de tableros de madera secados en horno y en direcciones alternas y Unidos con adhesivos estructurales

## MLE (madera laminada encolada -Glulam)



## Cross Laminated Timber

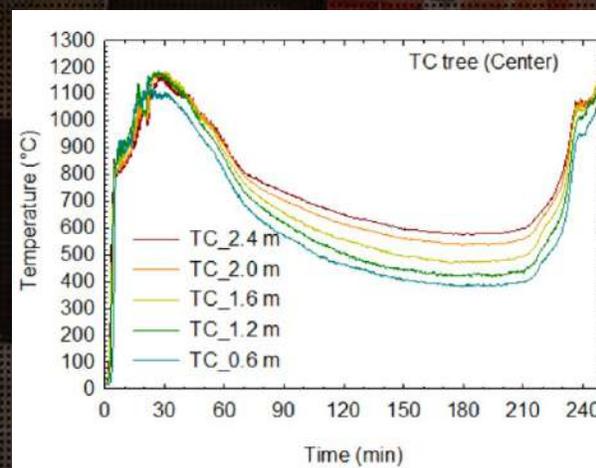
### Características de la construcción en Madera

- Combustible
- Secciones en masa
- ¿Es uniforme?
- Se carboniza

- Se utiliza el encapsulado con una capa protectora
- Tratamiento con retardantes para mejorar su comportamiento

### Referencias:

- 5 Ensayos full-scale en 2018 del Consejo Canadiense de la Madera (CWC)
- Paneles compuestos por capas prensadas de tableros de madera secados en horno y en direcciones alternas y con adhesivos estructurales
- Durante 3 horas, en algunas uniones persistió la combustión lenta y la  $t^{\circ}$  tuvo tendencia ascendente...



Fuente: Rodrigo Aravena CORTAFUEGOS

Fuente: Firetest CWC. Canadá

## Cross Laminated Timber

Al creciente impulso en construcciones en CLT y en altura:

- Se hace necesario disponer de una normativa unificada
- Si próximamente se lanzará el manual de diseño estructural, este ¿Ya considera aspectos relacionados con incendios?:
  - Resistencia al fuego y la propagación
  - Diseño de encapsulados para aumentar el desempeño del CLT
  - Diseño de conexiones resistentes al fuego y evitar el compromiso
  - Comportamiento térmico: Como la madera, experimenta cambios en sus propiedades mecánicas por la exposición a grandes temperaturas. Es necesario comprender mejor este fenómeno
  - Evaluación de riesgos de un proyecto CLT
  - Educación y conciencia para mejorar las prácticas de diseño contra incendios



Fuente: forestalmaderero.com

# Otros desafíos...

## Materiales circulares

### Desarrollan morteros con materiales reciclados y resistentes al fuego

[Agregar a Favoritos](#)

El Grupo de Investigación de Tecnología Edificatoria y Medioambiente (TEMA) de la Escuela Técnica Superior de Edificación (ETSEM) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) en España, lleva años ensayando morteros ecoeficientes que buscan disminuir el impacto ambiental de los materiales empleados en el sector de la construcción. Este grupo desarrolló el primer mortero sostenible que incorporó residuos de fibras como subproducto para su fabricación. Además, en otro estudio, demostraron que los morteros con fibras recicladas ofrecerían valores de resistencia, absorción y permeabilidad muy similares a los que tienen los morteros con las fibras comerciales; valores que superan los mínimos exigidos por la normativa actual.



### Procitex: desechos textiles convertidos en aislamiento térmico y acústico

Era 2016, cuando el ingeniero comercial **Franklin Zepeda** decidió trabajar en una salida para las toneladas de residuos textiles que se desechaban sin un destino claro, luego de viajar a Alemania a conocer el reciclaje textil, creó **Ecofibra**, empresa ubicada en Alto Hospicio, en la región de Tarapacá, para reciclar y transformar los desechos textiles en paneles de aislamiento térmico y acústico.

empresa que transforma desechos textiles en paneles de aislamiento térmico y acústico. Este 2023, abrió en Renca, Procitex, planta que realiza el mismo trabajo en la región Metropolitana.



## Micomateriales

### Las posibilidades del micelio en la arquitectura

El estudio **The Living** en Nueva York trabajó en cooperación con **Ecovative Design** en el **Proyecto Hy-Fi**, un pabellón que fue construido en el patio del MoMA PS1, después de ganar el Programa de Jóvenes Arquitectos del MoMA en 2014. Con la asesoría estructural de **ARUP**, se desarrollaron ladrillos de micelio, que crecieron en menos de una semana en moldes prismáticos a partir de residuos de tallos de maíz picados. Al sumarse, los ladrillos pudieron estructurar una torre de unos 12 metros de altura. Al final de la exposición de dos meses, se desmontó la torre y los ladrillos fueron llevados a compostadores, siguiendo su curso orgánico.



# Innovación en Llamas

## Comportamiento al fuego de nuevos materiales en la edificación

- INTRODUCCIÓN
- MARCO NORMATIVO
- ALGUNOS DESAFÍOS
- **CONCLUSIONES**



- Los requerimientos en cuanto a reacción al fuego son inexistentes en nuestro marco normativo local
- Diseñar, construir, revisar y mantener requieren de competencia técnica
- Las condiciones de seguridad y habitabilidad se constituyen en requisitos indispensables en los tiempos actuales
- Faltan mecanismos para abordar materiales que no están convenientemente clasificados y aquellos que están por venir...

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

Competencia técnica

Responsabilidades

Cuerpo normativo armónico

Proyecto PCI seguro e integral

## Agradecimientos...

Rodrigo Aravena | CORTAFUEGOS peritaje & ingeniería

Francisca Muñoz & Sebastián Maltrana | Promat Chile

María de los Ángeles Arce | Hilti Chile

Paloma Carralón | Synixtor Chile

# ¡Gracias!

Edith Pacci Leiva  
Arquitecta

BP | Especialistas en Diseño contra Incendios

✉ [contacto@bpfire.cl](mailto:contacto@bpfire.cl)

+569 7338 6327





expo**fuego**

CHILE 2023

**CONGRESO INTERNACIONAL**  
DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO