

**Propuesta de reforma al bloque de incendios del programa de formación para bomberos de  
Colombia adicionando el módulo de comportamiento de los principales materiales de  
construcción al ser sometidos al fuego**

Daniel Andrés Donato Parrado

Jhon Edison Ladino Guerrero

Richard Alexander Ladino Guerrero

Universidad Piloto de Colombia.

Especialización en docencia universitaria.

Sistematización de la experiencia.

2022

**Propuesta de reforma al bloque de incendios del programa de formación para bomberos de Colombia adicionando el módulo de comportamiento de los principales materiales de construcción al ser sometidos al fuego**

Autores:

Daniel Andrés Donato Parrado

Jhon Edison Ladino Guerrero

Richard Alexander Ladino Guerrero

Docente Asesor:

Jaime Alberto García Serna

Universidad Piloto de Colombia.

Especialización en docencia universitaria.

Sistematización de la experiencia.

2022

**Tabla de Contenidos.**

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN. ....	6
OBJETIVO GENERAL. ....	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS. ....	6
ENFOQUE METODOLÓGICO. ....	9
ALCANCE DE INVESTIGACIÓN.....	10
DISEÑO METODOLÓGICO. ....	11
SUJETOS DE INVESTIGACIÓN.....	11
MARCO TEÓRICO.....	13
MATERIAL DE REFERENCIA. ....	21
LISTA DE REFERENCIAS .....	22
ANEXO A .....	23
ANEXO B .....	90

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Colombia es uno de los países latinoamericanos en los cuales se presentan la mayor cantidad de emergencias de diferente índole; según el Centro de Inteligencia y Telemática de los Bomberos de Colombia (CITEL) al año se presentan aproximadamente 44.800 emergencias anuales, de las cuales un promedio del 20% son incendios estructurales, cifras muy preocupantes y que representan un alto riesgo para la vida e integridad de los bomberos de Colombia, condición que aumenta debido al desconocimiento de los bomberos frente al comportamiento de materiales tales como el concreto de 3.000 psi, el acero laminado y la madera flor morado al ser sometido a altas temperaturas. En el mercado actual se pueden encontrar una amplia variedad de elementos para la construcción de una muy buena calidad y que aportan una estética muy deseable a las edificaciones, sin embargo son materiales que generarían una gran carga combustible y que tendrían como resultados una fácil descomposición, una rápida propagación del fuego, y como consecuencia un inminente colapso estructural y por ende posible pérdida de vidas humanas tanto en la consolidación de la emergencia, como en el control de la misma por parte de los grupos de extinción.

Al combatir incendios estructurales presentamos alto riesgo de perder la vida, no solo por los gases, radiación y demás efectos propios de la combustión, sino que la estructura podría generar graves accidentes debido a una mala operación o por falta de conocimiento sobre el comportamiento de estos materiales frente al fuego o sus reacciones al agregar diferentes agentes extintores. El bombero debe poseer la competencia técnica para una oportuna identificación y tomar acciones frente a estos riesgos que garanticen una operación adecuada y segura.

Nuestro proyecto de investigación busca aportar a la profesionalización de los Bomberos de Colombia, ya que es un tema que se viene liderando por la Dirección Nacional de Bomberos de

Colombia, y por medio del cual se han creado diferentes legislaciones desde el año 2012, como por ejemplo la creación de la Ley 1575 de 2012 posteriormente reglamentada en la resolución 0597 del 2021 “por medio de la cual se establece el programa de formación para bomberos en cuanto a su intensidad horaria, contenido temático y metodología”.

## **OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN.**

### **OBJETIVO GENERAL.**

Proponer la reforma al bloque de incendios del programa de formación para bomberos de Colombia adicionando el módulo de comportamiento de los principales materiales de construcción al ser sometidos al fuego

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

1) Crear el plan de curso para el módulo comportamiento de los materiales de construcción frente al fuego.

2) Diseñar el material de referencia para el módulo del comportamiento de los materiales de construcción frente al fuego.

## **JUSTIFICACIÓN.**

Los Bomberos de Colombia son entrenados actualmente bajo el estándar establecido en la resolución 597 de 2021, enfocada a mejorar la competencia técnica para la atención de incendios, principalmente de tipo estructural como las emergencias de mayor afectación en las principales ciudades, que, al mismo tiempo, presentan alto grado de complejidad por la variedad en los tipos de estructuras que presentamos en nuestro país.

La Ley 1575 de 2012 en su artículo 2 establece que la gestión integral del riesgo contra incendios estará a cargo de las instituciones bomberiles, lo cual genera necesidad para los bomberos de identificar todos los factores de riesgo existentes durante una combustión en estructuras. Por esto es necesario que en la formación del bombero se vincule un módulo de comportamiento de los diferentes materiales de construcción frente al fuego, basados en estudios de observación con laboratorios y con referencias que brinden información pertinente desde el ámbito nacional. Normativas como el título J de la NSR-10 (Norma de sismo resistencia) especifica requerimientos de resistencia mínimos de algunos materiales de construcción, NFPA 1001 (Norma para calificación profesional de bomberos) y el manual de la IFSTA (Internacional Fire Service Training Association) introducen temas alusivos al comportamiento de los materiales frente al fuego.

En la atención de los incendios estructurales, los grupos de respuesta se encuentran con una serie de interrogantes que deben definir rápidamente, uno de ellos corresponde al material con el que fue construida la edificación; para dar respuesta a esta y otras dudas, se deben conocer algunas condiciones apropiadas que garanticen la seguridad de los bomberos, tales como; el tipo de construcción, la resistencia que brinda el material, la durabilidad que puede suministrar, la temperatura que puede resistir, entre otras características importantes, pero, en pocas oportunidades nos detenemos a preguntar algunas condiciones que son igualmente valiosas y determinantes tales

como: ¿qué tan combustible es el material?, ¿Cuál generaría una mayor propagación del fuego?, ¿Qué material es más resistente al ser sometido al fuego?, ¿Cuál de los materiales me brindará una mayor protección contra incendio?, ¿Cuál tendrá una mayor condición de recuperación después de un incendio?; estos y otros grandes interrogantes son muy poco conocidos por los grupos de respuesta. Gran parte de dicha problemática es recurrente debido al poco interés de las unidades por los esfuerzos y debilidades que se presentan en los materiales de construcción al momento de estar sometidos al fuego.

El desarrollo del presente proyecto buscará llevar a la mesa técnica creada por la Dirección Nacional de Bomberos de Colombia para que se estudie la posibilidad de la agregar el módulo académico propuesto en el actual proyecto, lo cual permitirá aumentar la competencia técnica del estudiante al momento de manejar la gestión integral del riesgo contra incendios como lo exige la Ley.

## **ENFOQUE METODOLÓGICO.**

El enfoque metodológico en investigación en la didáctica del proyecto en ejecución es la teoría social de la subjetividad y su aplicación en el aula; ya que considero que la perspectiva de la aplicación proviene de una concepción grupal-institucional, y de una concesión subjetiva debido a la situación de afectación y comprensión en el tema con el que disponen los bomberos al momento de asumir las vivencias en su entorno de atención de los incendios estructurales.

Debido a ser parte de un tema que profundiza la experiencia y conocimiento del fuego y su comportamiento frente a ciertos materiales de la construcción, obliga al sector de los bomberos a aumentar esfuerzos en el marco investigativo y su posterior socialización en el aula, ya que esta clase de contenidos curriculares no se encuentra como objeto de estudio en el ámbito general de investigación de los catedráticos, intelectuales, sectores, grupos o instituciones no pertenecientes a la comunidad bomberil.

Los bomberos de Colombia se han formado de manera empírica, basados en experiencias y manejando técnicas del extranjero, que, en su mayoría, no aplican para nosotros por las grandes diferencias que existen entre las estructuras y edificaciones de nuestro país en comparación a las norteamericanas o europeos. Por esto, se debe profundizar en los estudios propios, analizando los estados, comportamientos y resistencias de nuestros materiales de construcción para que, de manera posterior, logremos crear el plan curricular para formar a nuestros bomberos con datos reales y aplicables en nuestra realidad.

## **ALCANCE DE INVESTIGACIÓN.**

El alcance de la investigación indica el resultado que se obtendrá y el método que se utilizará para lograr obtenerlos. Por consiguiente, se elige un estudio exploratorio que nos permita familiarizarnos con fenómenos relativamente desconocidos, obtener información sobre la posibilidad de llevar a cabo una investigación más completa del comportamiento de los materiales en estudio frente al fuego, y establecer lineamientos, afirmaciones y postulados para proyectos futuros.

Dicho proyecto tiene como fin crear herramientas que permitan a los Bomberos de Colombia crear precedentes a procesos investigativos del comportamiento de algunos materiales de construcción al momento de estar sometidos al fuego, y así generar currículos de estudio para utilizarlos como medios de enseñanza en todas las aulas de aprendizaje y que nos permita fomentar sistemas de trabajo aplicados en la seguridad de los bomberos y la extinción de los incendios.

Como resultado de la investigación obtendremos un estudio de afectación hacia el calor o temperatura de los materiales de construcción aplicables en Colombia. Esta información será usada como insumo para la creación de un contenido académico que se vinculará al pensum de la formación de un Bombero para fortalecer la seguridad en las operaciones de incendios estructurales.

## **DISEÑO METODOLÓGICO.**

El actual proyecto está encaminado a crear y adicionar un módulo de comportamiento de los materiales de construcción frente al fuego al bloque académico de incendios que pertenezca al programa de formación de los Bomberos de Colombia, plasmado en la Resolución 597 de 2021; para ello será necesario determinar el comportamiento estructural de algunos materiales como lo son: el acero laminado, el concreto de 3.000 psi y la madera en flor morado, después de estar sometidos a altas temperaturas. Los resultados obtenidos nos servirán como punto de referencia y enseñanza al momento de atender los incendios estructurales.

Una vez poseamos los datos arrojados por las pruebas ya mencionadas procedemos a crear el pensum, el manual del participante, el plan de lección, las presentaciones, definir las prácticas y herramientas para el desarrollo del programa académico.

## **SUJETOS DE INVESTIGACIÓN.**

Los sujetos pertenecientes a nuestro proceso de investigación serán los materiales de construcción y las unidades e instituciones bomberiles de Colombia, conformados de la siguiente manera:

Dentro de los materiales de construcción se escogieron aquellos que dentro de la rama ingenieril y arquitectónica son unos de los más utilizados en Colombia para soportar cargas (los encargados de sostener y distribuir las cargas del peso de las estructuras) y diseñar interiores y exteriores (aquellos que tienen como finalidad mejorar el confort y estética de las estructuras). Dichos elementos son de vital importancia ya que al momento de presentarse un incendio son los que impiden o ayudan a que la estructura siga en pie o colapse antes de permitir la extinción del fuego y/o evacuación de los ocupantes.

Las unidades e instituciones bomberiles completan el sujeto de estudio, ya que se busca aumentar la concientización del problema, el conocimiento del comportamiento de dichos materiales en el desarrollo de los incendios y el aprendizaje de nuevas técnicas de ingreso a las estructuras y la aplicación de estrategias novedosas para la extinción de los incendios

## MARCO TEÓRICO.

La Dirección Nacional de Bomberos de Colombia ha aumentado sus esfuerzos para mejorar y profesionalizar la carrera bomberil, debido a esto se han creado algunas estrategias y parámetros mínimos que ayuden a aumentar el conocimiento y la idoneidad de sus unidades en cuanto a la atención de las emergencias de distinta índole que se presenten en el territorio nacional.

Frente a las condiciones descritas anteriormente se crea la Resolución 0661 de 2014 “Reglamento Administrativo, Operativo, Técnico y Académico de los Bomberos de Colombia” cual se reforma algunos artículos, entre ellos el 30 y 33 en la Resolución 1127 de 2018. En dichas resoluciones se menciona la creación de un programa de formación que contendrá el contenido temático, la intensidad horaria y la metodología, con el objetivo de capacitar gradualmente a los bomberos de Colombia.

Como resultado de las exigencias anteriores nace la Resolución 597 de 2021 “Por medio de la cual se establece el programa de formación para bomberos en cuanto a su intensidad horaria, el contenido temático, y la metodología”. Legislación a la cual pretendemos adicionar al bloque académico de incendios un módulo de comportamiento de materiales frente al fuego.

Dicha adición se propone debido a la necesidad de minimizar los riesgos de colapso estructural y facilitar los procesos de evacuación y extinción en los incendios estructurales, fundamentadas como uno de los principales propósitos y alcances de la NSR 10 en su capítulo J.1.1. Norma que también relaciona la importancia de los materiales de construcción evidenciado en los capítulos J.3.4 y J.3.5. requisitos de resistencia contraincendio en las edificaciones.

Además, se toma como referencias la *National Fire Protection Association* (NFPA) en su norma 1001 “Estándar para las cualificaciones profesionales de los bomberos” y la *International Fire Service Training Association* (IFSTA) en su Sección B: Bombero II: numeral 16. Materiales

de construcción, colapso estructural y efectos de la extinción de incendios. Alusiones de suma importancia que justifican la necesidad de la adhesión de dichos temas en el proceso de formación de los bomberos.

## PROPUESTA PLAN DE CURSO

**PROGRAMA:** Formación bomberil en Colombia

### PRESENTACIÓN DEL MODULO

**Tabla 1. Presentación del módulo**

<b>Nombre.</b>	<b>Comportamiento de los materiales de construcción frente al fuego</b>
<b>Código.</b>	N/A
<b>Área de Formación</b>	Módulo de incendios
<b>Tipo de curso</b>	Teórico __ Teórico-práctico <u>X</u> Práctico __
<b>Intensidad Horaria</b>	9 Horas
<b>Horas de Trabajo Presencial</b>	6 Horas
<b>Horas de Trabajo Independiente</b>	3 Horas
<b>Fecha de actualización</b>	19 de septiembre 2022
<b>Bloque:</b> Control de incendios y Emergencias del curso de formación para bomberos.	
<b>PERFIL DEL EGRESADO</b>	
El bombero el egresado será capaz de realizar actividades enfocadas a la gestión integral del riesgo contraincendios de manera eficiente y garantizando la seguridad durante las operaciones de emergencia.	
<b>PROPÓSITO DE FORMACIÓN CURSO (Redactar como resultado de aprendizaje)</b>	
Gestiona de modo integral del riesgo contraincendios de manera eficiente y garantizando la seguridad durante las operaciones, la realización de actividades propias de rescate en todas sus modalidades y la atención de incidentes con materiales peligrosos, teniendo en cuenta la normatividad.	

## JUSTIFICACIÓN DEL CURSO (Por qué es necesario)

A través de la inclusión del módulo del comportamiento de los principales materiales de construcción al ser sometidos al fuego busca aumentar la seguridad durante las operaciones y ejecutando las labores de extinción de una manera eficiente optimizando los recursos necesarios ya que el bombero comprenderá de una manera dinámica los cambios físicos y químicos del acero laminado, concreto a 3.000 psi, madera en flor morado al ser sometidos al fuego y así tener una percepción mucho más clara de los posibles comportamientos que se puedan presentar durante la atención de un incendio que involucre estos materiales, es importante aclarar que la elección de estos materiales se debe a que son los materiales más utilizados en las construcciones colombianas.

## HABILIDADES POR DESARROLLAR – Sub propósitos de formación redactado en términos de resultado (por unidades o sesiones).

### Habilidades Cognitivas, Técnicas, Procedimentales, Comunicativas, Genéricas y Sociales

- Reconocer las señales de afectación que presenta una estructura incendiada.
- Tomar decisiones acertadas durante la extinción de un incendio estructural.
- Tener la capacidad de analizar los efectos del fuego en cada material de construcción.

## INFORMACIÓN Y CONCEPTOS MÍNIMOS PREVIOS QUE DEBE CONOCER EL ESTUDIANTES PARA EL DESARROLLO DEL ESPACIO ACADÉMICO (Pre-saberes)

Para el desarrollo del módulo, el estudiante deberá tener los siguientes conocimientos mínimos:

- Comportamiento básico del fuego
- Elementos estructurales en una edificación
- Control de incendios estructurales

## ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS DEL SEMANARIO

### Estrategias didácticas

- **Aprendizaje Basado en problemas (ABP):** Metodología centrada en el aprendizaje, en la investigación y reflexión que siguen los alumnos para llegar a una solución ante un problema planteado por el profesor. (Carlos Sola Ayape (Dir. Ed.) México, Trillas, 2005, 221 pp), (Marra, Jonassen, Palmer & Luft, 2014, p.221).
- **Aprendizaje colaborativo (AC):** Método fundamental que se basa en realizar actividades de aprendizaje en conjunto donde los alumnos pueden y deben trabajar en equipo, tanto dentro como fuera del aula, para poder interactuar entre ellos con la meta de conseguir un mismo objetivo común. (Slavin, 1999; Johnson y Johnson, 1999)

**Escenarios de Aprendizaje:**

- Aula de clase
- Aula virtual
- Escenario práctico creados en contenedores adaptados para simulación de incendios estructurales.

**Actividades Iniciales:**

- Clases presenciales, presentando el contenido de la información
- Presentación de los resultados en la investigación sobre los comportamientos que tiene los diferentes materiales de construcción frente al fuego.

**Actividades de desarrollo disciplinar e interdisciplinar:**

- Talleres en clase
- Identificación de fotos y videos, verificando el resultado de los materiales frente al fuego.

**Actividades de aplicación de aprendizajes:**

- Actividad práctica en contenedor donde los materiales se someten al fuego y los estudiantes podrán ver su comportamiento.
- Estudio y análisis de casos con incendios reales.

**FUENTES DE INFORMACIÓN**

- NSR-10, Titulo J y K
- Manual IFSTA (Internacional Fire Service Training Association), guía latinoamericana.
- NFPA 1001 (Norma para calificación profesional de bomberos) Guía americana

No.	Unidad de Aprendizaje (Con desarrollos conceptuales o disciplinares)	Escenario y estrategia didáctica para el trabajo de acompañamiento. (Combinación de técnicas o didácticas como clase magistral, taller, salida de campo, exposición, etc.)	Actividades del estudiante para el trabajo independiente, (incluyendo Virtual y tutorías fuera del aula)	Acciones de acompañamiento por parte del docente.	Forma de evaluación, ponderación y Retroalimentación	Tiempo empleado en el aprendizaje		
						Trabajo presencial	Trabajo práctico	Total Horas
1	Nombre de Unidad 1	Acero laminado						
	Sub-propósitos de formación	SPF1: Verifica el comportamiento del acero laminado al ser expuesto a diferentes temperaturas para conocer el riesgo generado por el material durante un incendio.						
	Desarrollo conceptual 1  ¿Cuáles son las características y propiedades del acero laminado? ¿uso del acero laminado en las construcciones? ¿Cuál es el comportamiento del acero laminado al exponerlo a diferentes temperaturas?	<b>Escenarios:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Salón de clases</li> <li>• Contenedor de prácticas con afectación del fuego al acero laminado en diferentes temperaturas</li> </ul> <b>Didácticas</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Talleres verificando fotos y videos con acero expuesto al fuego (ayudas visuales)</li> <li>• Práctica verificando dentro de un contenedor como se afecta el fuego con diferentes temperaturas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar el material de referencia disponible en plataforma virtual</li> <li>• Trabajo de observación durante los laboratorios en el contenedor (analizar datos)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por medio de las tutorías se aclaran las dudas disponibles con el material.</li> <li>• Orienta a los estudiantes durante los ejercicios del contenedor.</li> </ul>	Se evalúa por medio de listas de chequeo, donde se verifica que el estudiante identifique y analice los riesgos presentados durante los casos prácticos diseñados.	2	1	3

No.	Unidad de Aprendizaje (Con desarrollos conceptuales o disciplinares)	Escenario y estrategia didáctica para el trabajo de acompañamiento. (Combinación de técnicas o didácticas como clase magistral, taller, salida de campo, exposición, etc.)	Actividades del estudiante para el trabajo independiente, (incluyendo Virtual y tutorías fuera del aula)	Acciones de acompañamiento por parte del docente.	Forma de evaluación, ponderación y Retroalimentación	Tiempo empleado en el aprendizaje		
						Trabajo presencial	Trabajo práctico	Total Horas
	<b>Nombre de Unidad 2</b>	<b>Concreto a 3.000 PSI</b>						
	<b>Sub-propósitos de formación</b>	<b>SPF2:</b> Verifica el comportamiento del concreto a 3.000 PSI al ser expuesto a diferentes temperaturas para conocer el riesgo generado por el material durante un incendio.						
	<b>Desarrollo conceptual 1</b>  ¿Cuáles son las características y propiedades del concreto a 3.000 PSI? ¿uso del concreto a 3.000 PSI en las construcciones? ¿Cuál es el comportamiento del concreto a 3.000 PSI al exponerlo a diferentes temperaturas?	<b>Escenarios:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Salón de clases</li> <li>• Contenedor de prácticas con afectación del fuego al concreto a 3.000 PSI en diferentes temperaturas</li> </ul> <b>Didácticas</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Talleres verificando fotos y videos con concreto a 3.000 PSI al fuego (ayudas visuales)</li> <li>• Práctica verificando dentro de un contenedor como se afecta el fuego con diferentes temperaturas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar el material de referencia disponible en plataforma virtual Trabajo de observación durante los laboratorios en el contenedor (analizar datos)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por medio de las tutorías se aclaran las dudas disponibles con el material.</li> <li>• Orienta a los estudiantes durante los ejercicios del contenedor.</li> </ul>	Se evalúa por medio de listas de chequeo, donde se verifica que el estudiante identifique y analice los riesgos presentados durante los casos prácticos diseñados.	2	1	3

No.	Unidad de Aprendizaje (Con desarrollos conceptuales o disciplinares)	Escenario y estrategia didáctica para el trabajo de acompañamiento. (Combinación de técnicas o didácticas como clase magistral, taller, salida de campo, exposición, etc.)	Actividades del estudiante para el trabajo independiente, (incluyendo Virtual y tutorías fuera del aula)	Acciones de acompañamiento por parte del docente.	Forma de evaluación, ponderación y Retroalimentación	Tiempo empleado en el aprendizaje		
						Trabajo presencial	Trabajo práctico	Total Horas
3	Nombre de Unidad 3	<b>Madera en flor morado</b>						
	Sub-propósitos de formación	<b>SPF3:</b> Verifica el comportamiento de la madera en flor morado al ser expuesto a diferentes temperaturas para conocer el riesgo generado por el material durante un incendio.						
	<b>Desarrollo conceptual 1</b>  ¿Cuáles son las características y propiedades de la madera en flor morado? ¿uso de la madera en flor morado en las construcciones? ¿Cuál es el comportamiento de la madera en flor morado al exponerlo a diferentes temperaturas?	<b>Escenarios:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Salón de clases</li> <li>• Contenedor de prácticas con afectación del fuego con la madera en flor morado en diferentes temperaturas</li> </ul> <b>Didácticas</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Talleres verificando fotos y videos con la madera en flor morado al fuego (ayudas visuales)</li> <li>• Práctica verificando dentro de un contenedor como se afecta el fuego con diferentes temperaturas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar el material de referencia disponible en plataforma virtual</li> <li>• Trabajo de observación durante los laboratorios en el contenedor (analizar datos)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por medio de las tutorías se aclaran las dudas disponibles con el material.</li> <li>• Orienta a los estudiantes durante los ejercicios del contenedor.</li> </ul>	Se evalúa por medio de listas de chequeo, donde se verifica que el estudiante identifique y analice los riesgos presentados durante los casos prácticos diseñados.	2	1	3

## **MATERIAL DE REFERENCIA.**

Se crea el material de referencia para el módulo de comportamiento de los materiales de construcción frente al fuego, el cual está compuesto por: el manual de referencia con la información de consulta relacionada al tema (Anexo A) y las diapositivas como herramientas de ayuda para impartir la capacitación (Anexo B)

## LISTA DE REFERENCIAS

República de Colombia – Congreso Nacional. Ley 1575 de 2012. Ley general de bomberos de Colombia. 21 de agosto de 2012.

Unidad Administrativa Especial Dirección Nacional de Bomberos. Resolución 597 de 2021. Por medio de la cual se establece el programa de formación para Bomberos en cuanto a su intensidad horaria, el contenido temático y su metodología, y se modifica la resolución 04 de 2021. República de Colombia. 29 de octubre de 2021.

IFSTA. Fundamentos de lucha contra el fuego. 7 edición. Tomo I y II. 2021.

NFPA 1001. Estándar para la calificación profesional de bomberos. 2019.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Elementos de construcción. Ensayo de resistencia al fuego. Primera actualización. Bogotá. ICONTEC, 1979. Pág. 19.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR 10. Título J y K. Segunda actualización. Bogotá. 2011. Pág. 96.

## ANEXO A

**Comportamiento de los materiales de construcción al ser sometidos al fuego****MATERIAL DE REFERENCIA**

Pertenece a:

---

**Propósito:** Proporcionar al estudiante conocimientos y habilidades necesarias para conocer los principales materiales de construcción y su comportamiento al estar sometidos frente al fuego.



**Objetivos:** Al finalizar la lección el estudiante será capaz de:

- Identificar los materiales de construcción: acero laminado, concreto de 3.000 psi y madera en flor morado.
- Reconocer la resistencia a esfuerzos que presentan los materiales, frente a cargas propias y a cargas adicionales después de estar sometidos al fuego.
- Verificar la tolerancia al fuego y el grado de combustibilidad que presentan los tres materiales puestos en estudio.
- Determinar la capacidad de rehabilitación que poseen los materiales en estudio después de someterlos a temperaturas altas.

**Conceptos y definiciones básicas:**

**AISLANTE TÉRMICO:** Aptitud de un elemento estructural, de evitar una transmisión excesiva de calor.

**CALOR:** Unidad de temperatura alta capaz de actuar como chispa o detonante de un fuego.

**CARGA CALORIFICA:** el material calorífico expresado en unidades SI de la totalidad de los materiales contenidos en un espacio.

**CILINDRO DE GAS:** Recipiente metálico que contiene gas natural, utilizado para contener el material combustible que alimenta la estufa.

**CENIZA:** Residuo mineral pulverizado, resultante de una combustión.

**COMBUSTIBLE:** Todo aquel material o elemento susceptible de arder.

**COMPORTAMIENTO ANTE EL FUEGO:** Todos los cambios físicos y químicos que ocurren cuando un material o elemento es expuesto a la acción del fuego.

**CONDUCCIÓN:** Transferencia de calor por contacto directo de la llama al material, o de un material a otro.

**CONVECCIÓN:** Transferencia de calor por medio de gases calientes emanados del fuego.

**DENSIDAD DE CARGA CALORIFICA:** Carga calorífica por unidad de superficie.

**ESCLEROMETRO:** Es un instrumento de medición empleado, para la determinación de resistencia a compresión.

**ESFUERZOS:** Son aquellas cargas a fuerzas actuantes sobre un elemento y que tienden a deformarlo.

**ESTABILIDAD ANTE EL FUEGO:** Aptitud de un elemento de construcción, portado o no de carga, a resistir el colapso cuando es sometido al fuego.

**ESTUFA:** Sistema constituido por un mechero de tubo metálico conectado a un cilindro de gas por medio de una manguera, el cual será utilizado para el ensayo de las muestras.

**EXTINCIÓN:** Acción destinada a combatir incendios hasta su control o eliminación.

**FISURA:** Son roturas de distintas longitudes, espesores y profundidades, y se manifiestan externamente con un desarrollo lineal.

**FUEGO:** Oxidación rápida de un material combustible generada por una reacción en cadena y que expelle luz, calor y gases calientes.

**GRADO DE DESPRENDIMIENTO DE CALOR:** La cantidad de calor desprendido por un cuerpo ardiendo en la unidad de tiempo.

**HUMO:** Gases calientes emanados de un incendio.

**HOLLÍN:** Residuo pulverulento de carbono amorfo formado durante una combustión incompleta.

**INCENDIO:** Es un fuego fuera de control.

**INCOMBUSTIBLE:** Todo aquel material o elemento no susceptible de arder.

**LLAMA:** Representación visual del fuego. Destello de luz y calor.

**MUESTRA:** Elementos compuestos de acero laminado, madera en flor morado y concreto, cuyas dimensiones son iguales y que serán utilizados para la realización de los ensayos.

**OXIDACIÓN:** Reducción de la capacidad de resistencia de un material combustible frente al fuego.

**OXIGENO:** Gas presente en la atmosfera; actúa como agente oxidante o reductor del material combustible.

**PIRÓLISIS:** Descomposición química de un material combustible, partícula por partícula en forma de cadena, generada por una temperatura alta.

**POTENCIAL CALORÍFICO:** La cantidad de energía que puede desprender la masa unitaria del elemento de construcción sometido a una combustión total.

**POTENCIAL CALORIFICO REAL:** Energía calórica que efectivamente se desprende debido a la combustión, de un material o elemento de construcción durante un incendio.

**PROPAGACIÓN DEL FUEGO:** Transferencia de calor por medio de la conducción, convección o radiación.

**PUNTO DE IGNICIÓN:** Temperatura mínima necesaria para que un material combustible inicie a arder.

**QUEMAR:** Destruir por efecto del fuego o pirolisis.

**RADIACIÓN:** Transferencia de calor por medio de ondas electromagnéticas que viajan horizontalmente. Transferencia de energía calórica liberada por el fuego.

**REACCIÓN EN CADENA:** Interacción del triángulo del fuego generando un cambio fisicoquímico. Partículas y átomos moviéndose libremente en la base del fuego.

**REACCIÓN AL FUEGO:** Comportamiento de un material que, por su propia descomposición, alimenta el fuego al cual está expuesto.

**REGULADOR DE PRESIÓN:** Dispositivo compuesto por un medidor de presión y un semi-racor normalizado que permite fijarlo al cilindro de gas, tiene como fin permitir la salida de gas a una misma presión constante.

**RESISTENCIA AL FUEGO:** Actitud de un elemento a conservar durante un periodo determinado de tiempo la estabilidad requerida, integridad o aislamiento térmico al estar expuesto al fuego.

**SUPERFICIE QUEMADA:** Zona de un material destruida por el fuego, excluyendo las zonas dañadas por contracción del mismo.

**TEMPERATURA:** Es una magnitud física que refleja la energía interior de un cuerpo, objeto o ambiente; que dependiendo del movimiento de sus partículas, la sensación de calor o frío aumenta o disminuye.

**TERMÓGRAFO:** Aparato que sirve para registrar los cambios de temperatura.

**TERMÓMETRO:** Instrumento que sirve para medir la temperatura.

**TERMÓPAR:** Es un transductor formado por la unión de dos metales distintos que producen una diferencia potencial muy pequeña, son usados como sensores de temperatura.

**TETRAEDRO DEL FUEGO:** Representación gráfica del fuego. Combinación del material combustible, calor, oxígeno y reacción en cadena.

**TIEMPO DE EXPOSICIÓN:** Periodo de tiempo mediante el cual un material es sometido a una fuente de calor

TRIANGULO DEL FUEGO: Elementos necesarios para que exista el fuego; luz, calor y oxígeno.

## **La madera en flor morado, el concreto de 3.000 psi y el acero laminado como materiales de construcción**

Descripción de las características que poseen cada uno de los tres materiales en estudio, su composición y comportamiento como elemento usado en la construcción. Además de algunas propiedades importantes como la resistencia, densidad, elasticidad y rigidez entre otras.

Es de vital importancia conocer cada uno de los aspectos mencionados en dichos materiales, con el fin crear un cuadro comparativo de la diferencia que se obtiene de los materiales en estado normal con respecto a materiales sometido a altas temperaturas.

### **Madera en flor morado**

La madera a través de la historia ha acompañado al hombre como uno de los materiales predilectos en la utilización del sistema constructivo o como elemento estructural. A través de los años aparecieron nuevos materiales que relegaron su utilización. Actualmente la evolución de su tecnología ha permite obtener productos estructurales más fiables y económicos, y gracias a una mayor obtención de conocimiento, tanto desde el punto de vista estructural como ecológico y

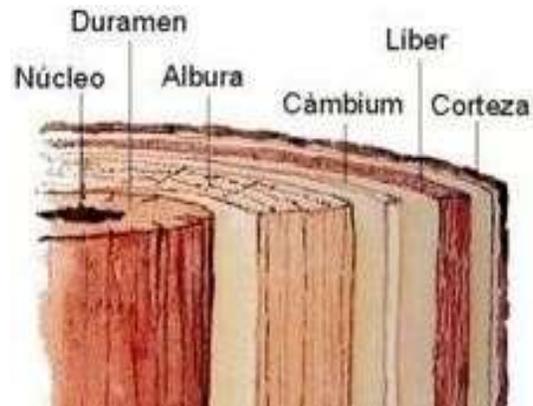
medioambiental, le permite competir con el resto de los materiales estructurales existentes.

La madera es la parte sólida que se obtiene de un árbol justo debajo de su corteza. Es considerada como el conjunto de tejidos, de una dureza específica, constituida la mayor parte por el tronco y las ramas del árbol. Está formada por un material fibroso compuesto de un 50% de celulosa, 30% de lignina, elemento que permite la unión de las fibras y un 20% restante de elementos tales como la resina, el agua y el almidón.

La madera en flor morado se obtiene de un árbol que posee su mismo nombre, proveniente de la familia de especies del género *Quercus*. Se caracteriza por ser una madera muy dura y pesada, de gran densidad. Visualmente se identifica por tener anillos de una coloración parda clara, lo cual la vuelve muy llamativa por dar un estilo decorativo tanto clásico como moderno.

**Partes del tronco de un árbol<sup>1</sup>**. Desde un corte transversal de un árbol del exterior al interior, se obtienen las siguientes partes:

**Figura 1. Partes del tronco de un árbol.**



Fuente. <http://luismibarrrios.blogspot.com.co/p/partes-del-tronco-del-arbol.html>

<sup>1</sup> Tecnología industrial 1. Materiales de uso técnico. La madera. I.E.S. Villalba Hervás, 2015. Recuperado de [https://www.academia.edu/32099059/LA\\_MADERA](https://www.academia.edu/32099059/LA_MADERA).

- **Corteza externa.** Capa externa del tronco, formada por células muertas, las cuales protegen de los factores atmosféricos a las capas del interior.
- **Corteza interna.** También denominada floema o líber, está formada por células que poco a poco se desplazan hasta el exterior convirtiéndose en la capa externa, en ella circula la savia ya elaborada.
- **Cámbium.** Capa delgada formada por células vivas que permiten que el árbol crezca y sea más grueso.
- **Albura.** Capa compuesta por una red de células vivas, las cuales se encargan de transportar agua y nutrientes a las demás partes del árbol, lugar donde se crea la savia.
- **Duramen.** Lugar compuesto por células fisiológicamente inactivas, en ella no circula savia, posee un color más oscuro que la albura y proporciona soporte y fortaleza al árbol.
- **Núcleo.** También denominado médula, zona del tronco que posee escasa resistencia, por lo cual no se utiliza.

## Características de la madera<sup>2</sup>.

### Propiedades físicas.

- **Anisotropía.** Casi todas las propiedades de la madera difieren o cambian en las tres direcciones básicas de la anatomía de la misma (axial, radial y tangencial).
- **Higroscopicidad.** La madera posee la capacidad de absorber la humedad atmosférica. Su punto de saturación varía según el tipo de madera. Si la humedad ambiente es menor que este valor de saturación, el material se secará, si la humedad ambiente es mayor, se humedecerá.
- **Densidad.** Varía según la compactación de sus fibras y su humedad, el peso de la madera en flor morado recién cortado es de alrededor de 1.000 kg/m<sup>3</sup> y en estado seco baja hasta los 670 kg/m<sup>3</sup>.
- **Hendibilidad.** Es la capacidad de resistencia que posee la madera frente al esfuerzo de tracción transversal antes de generar un rompimiento por separación de sus fibras.

2 Tecnología de la madera. Recuperado de <https://sites.google.com/site/tecnologiadelamadera/propiedades-fisicas>.

- **Dureza.** Es la capacidad de resistencia de la madera frente al desgaste, al corte, entre otras. La dureza depende de la densidad debido a la compactación de sus fibras.
- **Flexibilidad.** Es la capacidad que posee el elemento de doblarse sin llegar a la ruptura y volver a su forma original.

**Tabla 1. Propiedades físicas de la madera en flor morado.**

<b>Propiedades físicas de la madera en flor morado</b>	
Saturación	12%
Densidad	710 kg/m <sup>3</sup> madera pesada
Dureza	4,8 semi-dura
Contracción tangencial	8,2%
contracción radial	3,9%
contracción volumétrica	12,3%

Fuente. Propia.

**Propiedades mecánicas.**

- **Tracción.** Dos fuerzas que actúan en dos direcciones distintas. Es la resistencia que mejor actúa en la madera y en dirección paralela a las fibras.
- **Compresión.** Dos fuerzas que actúan hacia una misma dirección. La resistencia aumenta al disminuir la humedad y actúa de mejor forma si la fuerza es ejercida en la dirección de las fibras.
- **Flexión.** Una fuerza ejercida en una dirección y dos fuerzas opuestas actuando en dirección contrarias y diferente sentido.
- **Pandeo.** Se produce cuando se supera la resistencia de las piezas sometidas al esfuerzo de compresión en sentido de las fibras generando una fuerza perpendicular a esta, produciendo que se doble en la zona de menor resistencia.
- **Cizallamiento.** Es la capacidad de resistir fuerzas que tienden a que una parte del material se deslice sobre su parte adyacente, este corte se da paralelamente a las fibras, esto es debido a que en la madera si las fuerzas se ejercen en dirección perpendicular a las fibras, esta se rompería antes otro efecto.

**Tabla 2. Propiedades mecánicas de la madera en flor morado.**

<b>Propiedades mecánicas de la madera en flor morado</b>	
Resistencia a la flexión	960 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la compresión	450 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la tracción	1,600 kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad	113,000 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente. Propia

### **Uso de la madera en flor morado.**

La madera se ha utilizado tradicionalmente en la construcción de columnas y vigas, aunque en la actualidad ha sido sustituida por el hormigón y el acero. Sigue utilizándose en: Construcciones livianas, pisos carpintería, revestimiento de interiores, puertas, ventanas y muebles, entre otras aplicaciones.

### **Concreto de 3.000 psi**

El concreto es una mezcla de cemento, agregados finos y gruesos, agua y aditivos. Maleable en su forma líquida y de gran resistencia después del fraguado en su estado sólido.

El concreto reforzado de 3.000 PSI es aquel que soporta cargas de 3.000 libras de presión por pulgada cuadrada, cumple con especificaciones de la ACI 211.1.

El concreto ofrece, como las piedras naturales, una gran resistencia a las fuerzas de compresión, pero igual que esta una resistencia moderada a la flexión y tracción, es decir a doblarse o estirarse. Para mejorar la resistencia de estas dos últimas, el concreto generalmente se combina con un material más dúctil y resistente como lo es el acero, la integración del concreto y el acero es lo que se llama concreto reforzado, concreto armado u hormigón armado.

### **Componentes del concreto.**

- **Cemento.** Es un conglomerado formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinada, y posteriormente molida, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua. El cemento es el encargado de aglutinar todos los áridos o agregados.
- **Agregados.** Son cualquier combinación de arena, grava o roca triturada en su estado natural o procesado. Son minerales comunes resultado de las fuerzas geológicas erosivas del agua y del viento. De acuerdo a su tamaño

se pueden clasificar en agregados gruesos o gravas, de partículas de diámetros mayores a los 4,76 mm; y agregados finos o arenas, de partículas de diámetro menores a los 4,76 mm y mayores a los 0,074 mm de diámetro.

- **Agua.** Es una sustancia cuyas moléculas están formadas por dos átomos de hidrogeno y uno de oxígeno. El papel del agua en la elaboración de un concreto es de suma importancia, ya que la cantidad utilizada en relación con la cantidad de cemento (relación A/C) depende de la manejabilidad y las resistencias finales de este.
- **Aditivos.** Son componentes de naturaleza orgánica o inorgánica, cuya inclusión tiene como objeto modificar las propiedades físicas de los materiales conglomerados en estado fresco. Se suele presentar en forma de polvo o líquido, como emulsiones.

#### **Tipos de concreto.**

- **Concreto simple.** Es la mezcla entre el cemento, agregados gruesos, agregados finos, agua y aditivos.
- **Concreto reforzado.** Es la mezcla de concreto simple (cemento, agregados gruesos, agregados finos, agua, aditivos) y acero de refuerzo.

- **Concreto ciclópeo.** Es la combinación de concreto simple (cemento, agregados gruesos, agregados finos, agua, aditivos) y piedras de diámetros no menores a los 2.0 cm y no mayores a los 20.0 cm.
- **Mortero.** Mezcla del cemento, los agregados finos, agua y aditivos.

#### **Diseño de mezcla concreto 3.000 PSI, según ACI 211.1.**

- **Selección del asentamiento.** De acuerdo a la tabla 3, se escoge un:

asentamiento = 10 cm.

**Tabla 3. Selección de asentamiento.**

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO mm.	EJEMPLO DE TIPO DE CONSTRUCCIÓN	SISTEMA DE COLOCACIÓN	SISTEMA DE COMPACTACIÓN
MUY SECA	0,0 – 20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantalla de cimentación.	Con vibradores de formaleta, concretos de proyección neumática (lanzados).	Secciones sujetas a vibración externa, puede requerirse presión.
SECA	20-35	Pavimentos.	Pavimentos con máquina terminadora vibratoria.	Secciones sujetas a vibración intensa.
SEMISECA	35-50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple, losas poco reforzadas.	Colocación con máquinas operadas manualmente.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
MEDIA (PLÁSTICA)	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas, columnas, cimentaciones.	Colocación manual.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
HUMEDA	100-150	Elementos estructurales esbeltos o muy reforzados.	Bombeo.	Secciones bastante reforzadas con vibración.
MUY HUMEDA	150-200	Elementos esbeltos, pilotes fundidos "in situ".	Tubo-embudo-tremie.	Secciones altamente reforzadas con vibración.
SUPER FLUIDA	más de 200	Elementos muy esbeltos.	Autonivelante, autocompactante.	Secciones altamente reforzadas sin vibración y normalmente no adecuados para vibrarse.

Fuente. SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. Tecnología del concreto y el mortero.

Bogotá (Colombia): Pontificia Universidad Javeriana. 1987.

- **Elección del tamaño máximo nominal del agregado.** Por regla general, el tamaño máximo de agregado debe ser el mayor disponible económicamente y guardar relación con las dimensiones de la estructura. En ningún caso el tamaño máximo debe exceder de:

1/5 de la menor dimensión entre los costados de los moldes.

1/3 del espesor de las losas.

3/4 del espacio libre mínimo entre varillas de refuerzo individuales, paquetes de varillas o torones de pretensado.

Se asume  $TMN = \frac{3}{4}'' = 19 \text{ mm}$ .

- **Cálculo del agua de mezclado y contenido de aire.** Según la tabla 4, con un asentamiento = 10 cm y un TMN = 19 mm; se obtiene una estimación de agua por m<sup>3</sup> de concreto sin aire incluido: **A = 200 kg/m<sup>3</sup> de concreto.**

**Tabla 4. Cantidad de agua recomendada, en kg por m<sup>3</sup>.**

ASENTAMIENTO (cm)	CONCRETOS SIN AIRE INCLUIDO						
	TAMAÑOS MÁXIMOS NOMINALES (mm)						
	10	13	19	25	38	50	75
0,0 – 2,5	185	180	165	160	140	135	125
3,0 – 5,0	205	200	185	180	160	155	145
5,5 – 7,5	215	210	190	185	170	165	155
8,0 – 10,0	225	215	200	195	175	170	165
10,5 – 15,0	235	225	205	200	180	175	170
15,5 – 18,0	240	230	210	205	185	180	175
% CONTENIDO DE AIRE	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3

ASENTAMIENTO (cm)	CONCRETOS CON AIRE INCLUIDO						
	TAMAÑOS MÁXIMOS NOMINALES (mm)						
	10	13	19	25	38	50	75
0,0 – 2,5	175	170	155	150	135	130	120
3,0 – 5,0	180	175	165	160	145	140	135
5,5 – 7,5	190	185	175	170	155	150	145
8,0 – 10,0	200	190	180	175	165	155	150
10,5 – 15,0	210	195	185	180	170	160	155
15,5 – 18,0	215	205	190	185	175	165	160
% CONTENIDO DE AIRE	8,0	7,0	6,0	5,0	4,5	4,0	3,5

Fuente. NEVILLE, A. M. Tecnología del concreto tomo I y II. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. Primera edición, tercera impresión. 1980.

- **Selección relación agua/cemento.** Se conoce como relación agua/cemento (A/C) a la razón existente entre el peso del agua con respecto al peso de cemento, es decir:  $A/C = \text{Peso de agua} / \text{Peso de cemento}$ .

La ACI 318-02 recomienda 3 casos para estimar el valor de  $f'_{cr}$  en función de la disponibilidad de registros de ensayos previos y toman en cuenta el valor de la desviación estándar obtenida. A continuación, se resumen las 3 situaciones descritas:

Se disponen de una cantidad de 30 o más registros.

Se dispone de 15 a 29 registros.

Se cuenta con menos de 15 registros.

Se escoge la tabla 7, con un  $f'_c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ , lo cual estima un  $f'_{cr} = 210 \text{ kgf/cm}^2 + 84 = 294 \text{ kgf/cm}^2$ .

La relación agua/cemento según la tabla 8, es correspondiente a: Relación **A/C = 0.57**.

**Tabla 5. Esfuerzo promedio requerido a compresión cuando existen más de 30 datos registrados.**

<b>Esfuerzo a compresión especificado <math>f'_c</math></b>	<b>Esfuerzo promedio requerido a compresión <math>f'_{cr}</math>, <math>\text{kgf/cm}^2</math></b>
$f'_c \leq 350 \text{ kgf/cm}^2$	$f'_{cr} = f'_c + 1.34s$ $f'_{cr} = f'_c + 2.33s - 35$ Usar el mayor valor que se obtenga.
$f'_c > 350 \text{ kgf/cm}^2$	$f'_{cr} = f'_c + 1.34s$ $f'_{cr} = 0.90f'_c + 2.33s$ Usar el mayor valor que se obtenga.

Fuente. Código Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Decreto 1400 de 1984. Capítulos C.4 y C.5. Bogotá (Colombia). 1984.

**Tabla 6. Esfuerzo promedio requerido a compresión cuando existen de 15 a 29 datos registrados.**

<b>No. de pruebas*</b>	<b>Factor de modificación para la desviación estándar**</b>
$\leq 15$	Usar tabla 5.3.2.2 de ACI 318-

	02
15	1.16
20	1.08
25	1.03
□30	1.00

\* Interpolar para números intermedios de pruebas

\*\* Desviación estándar modificada a ser usada para determinar el esfuerzo promedio requerido  $f'_{cr}$  a partir de 5.3.2.1.

Fuente. Código Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Decreto 1400 de 1984. Capítulos C.4 y C.5. Bogotá (Colombia). 1984.

**Tabla 7. Esfuerzo promedio requerido a compresión cuando existen menos de 15 datos registrados.**

<b>Esfuerzo a compresión especificado <math>f'c</math>, kgf/cm<sup>2</sup></b>	<b>Esfuerzo promedio requerido a compresión <math>f'cr</math>, kgf/cm<sup>2</sup></b>
□ 210	<b><math>f'c+70</math></b>
210-350	<b><math>f'c+84</math></b>
>350	<b><math>1.10f'c+49</math></b>

Fuente. Código Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Decreto 1400 de 1984. Capítulos C.4 y C.5. Bogotá (Colombia). 1984.

**Tabla 8. Relación agua/cemento.**

<b>Esfuerzo a compresión a 28 días, kgf/cm<sup>2*</sup></b>	<b>Relación agua/cemento, por peso</b>	
	<b>Concreto sin aire incluido</b>	<b>Concreto con aire incluido</b>
420	0.41	---
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

\* Los valores son resistencias promedio estimadas para concreto que no tiene más del porcentaje de aire que se indica en la tabla 5.3.3. Para una relación agua/cemento constante se reduce la resistencia del concreto conforme se incrementa el contenido de aire.

Fuente. Código Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Decreto 1400 de 1984. Capítulos C.4 y C.5. Bogotá (Colombia). 1984.

- **Cálculo de la cantidad de cemento.** Se obtiene de la división de la cantidad de agua y la relación agua cemento.

$$C = A / (A/C) = 200 \text{ kg/m}^3 / 0.57C = 351 \text{ kg/m}^3 \text{ de concreto.}$$

- **Estimación de los agregados.** Para la determinación de los agregados se cuentan con los siguientes datos de los materiales.

Agregado grueso:

Densidad aparente seca (Gg) = 2.57 kg/dm<sup>3</sup>.

Tamaño máximo (TM) = 1".

Tamaño máximo nominal (TMN) =  $\frac{3}{4}$ ".

Humedad (%Wg) = 3.00%.

Porcentaje de absorción (%ABSg) = 1.50%.

Masa unitaria suelta (MUSf) = 1.52 kg/dm<sup>3</sup>.

Agregado fino:

Densidad aparente seca (Gg) = 2.51 kg/dm<sup>3</sup>.

Módulo de finura (TM) = 2.97.

Humedad (%Wf) = 5.00%

Porcentaje de absorción (%ABSg) = 3.70%.

Masa unitaria suelta (MUSf) = 1.47 kg/dm<sup>3</sup>.

Del respectivo ajuste granulométrico tratando de reproducir una gradación ideal (Fuller o Weymouth) o ajustado a uno de los rangos granulométricos (según TM) recomendados por ASOCRETO se obtuvo:

Agregado fino = 45%. Agregado grueso = 55%.

Cemento:

Densidad (Gc) = 3.01 kg/dm<sup>3</sup>.

Masa unitaria suelta (MUSf) = 1.13 kg/dm<sup>3</sup>.

Agua:

Densidad (Gc) = 1.0 kg/dm<sup>3</sup>.

Masa unitaria suelta (MUSf) = 1.0 kg/dm<sup>3</sup>.

Volumen absoluto agregados + volumen absoluto agua + volumen absoluto cemento = 1000 dm<sup>3</sup>.

Volumen absoluto agregados = 1000 dm<sup>3</sup> - (200 / 1) - (351 / 3.01).

Volumen absoluto agregados = 683.39 dm<sup>3</sup>.

G promedio = 100 /  $\sum$  (%i / Gi).

G promedio = 100 / ( (45 / 2.51) + (55 / 2.57) ) = 2.54 kg/dm<sup>3</sup>.

Masa de los agregados = 683.39 \* 2.54 = 1735.81 kg/dm<sup>3</sup>.

Masa del agregado fino = 1735.81 \* 0.45 = 781.11 kg/dm<sup>3</sup>.

Masa del agregado grueso = 1735.81 \* 0.55 = 954.69 kg/dm<sup>3</sup>.

Volumen absoluto material = Masa / Densidad.

Volumen abs. agregado fino = 781.11 / 2.51 = 311.20 kg/m<sup>3</sup>.

Volumen abs. agregado grueso = 954.69 / 2.57 = 371.47 kg/m<sup>3</sup>.

- **Ajuste por humedad del agregado.** El contenido de agua añadida para formar pasta será afectado por el contenido de humedad de los agregados. Si ellos están secos el aire absorberá agua y disminuirán la relación a/c y la trabajabilidad. Por otro lado, si ellos tienen humedad libre en su superficie (agregados mojados) aportarán algo de esta agua a la pasta aumentando la relación a/c, la trabajabilidad y disminuyendo la resistencia a la compresión. Por lo tanto, estos efectos deben ser tomados en cuenta y la mezcla debe de ser ajustada tomándolas en cuenta.

Peso agregado fino húmedo = Agregado fino seco \* (1 + humedad).

Peso agregado fino húmedo = 781.11 \* 1.05 = **820.16 kg/m<sup>3</sup>**.

Peso agregado grueso húmedo = Agregado grueso seco \* (1 + humedad).

Peso agreg. grueso húmedo = 954.69 \* 1.03 = **983.33 kg/m<sup>3</sup>**.

Agua en agregado fino = Agregado fino seco \* (humedad – porcentaje de absorción).

Agua en agregado fino = 820.16 \* 0.013 = 10.66 kg/m<sup>3</sup>.

Agua en agregado grueso = Agregado grueso seco \* (humedad – porcentaje de absorción).

Agua en agregado grueso = 983.33 \* 0.015 = 14.75 kg/m<sup>3</sup>.

Agua efectiva = Agua de diseño – (Agua en agregado fino + Agua en agregado grueso).

Agua efectiva =  $200.00 (10.66 + 14.75) = 174.59 \text{ kg/m}^3$ .

Por lo tanto, para la mezcla de  $\text{m}^3$  de concreto de 3.000 PSI, se necesitan los siguientes materiales:

**Agua =  $174.59 \text{ kg/m}^3 = 174.59 \text{ lt/m}^3$ . Cemento =  $351.00 \text{ kg/m}^3$ .**

**Agregado fino =  $820.16 / (2.51 * 1000) = 0.33 \text{ m}^3 = 528 \text{ kg/m}^3$ .**

**Agregado grueso =  $983.33 / (2.57 * 1000) = 0.39 \text{ m}^3 = 604.5 \text{ kg/m}^3$ .**

**Características del concreto.**

**Propiedades físicas.**

- **Trabajabilidad y manejabilidad:** Es una propiedad del concreto fresco que se define como la capacidad de ser mezclado, colocado, transportado, compactado y moldeado de forma fácil, ya sea manual o mecánica, durante cada una de las etapas del proceso de fraguado.
- **Segregación:** Es la separación de las partículas de los materiales del concreto. La segregación se da por mezclas muy fluidas o mezclas muy secas y poco plásticas, lo que lleva a que las partículas gruesas se separen de las otras por acción de la gravedad.

- **Exudación:** También conocido como sangrado; consiste en que una parte del agua de mezcla se separa y sube hacia la superficie del concreto.
- **Contracción:** Ocurre por la reducción de la pasta debido a la pérdida de agua durante el fraguado o secado del concreto; es la responsable de la mayor parte de la fisuración tanto en el estado plástico como en el endurecido.
- **Resistencia:** Es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión si se compara con la tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento.

**Tabla 9. Propiedades físicas del concreto.**

<b>Propiedades físicas del concreto</b>	
Densidad	2350 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico	1.800 kg/m <sup>3</sup> a 2.000 kg/m <sup>3</sup>

Fuente. Propia.

### **Propiedades mecánicas.**

**Tabla 10. Propiedades mecánicas del concreto.**

<b>Propiedades mecánicas del concreto</b>	
Resistencia a la compresión	150 kg/cm <sup>2</sup> a 500 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la tracción	15 kg/cm <sup>2</sup> a 50 kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad a la compresión	55.560 kg/cm <sup>2</sup> a 105.090kg/cm <sup>2</sup>

Fuente. Propia.

### **Uso del concreto reforzado.**

El concreto se usa en vigas, columnas, pavimentos, cimentaciones, muros pantalla, muros de contención, muros de carga, puentes, represas, reproducción de tuberías, postes, adoquines, bloques estructurales para mampostería, entre otras variedades de usos a los cuales se destina.

El mortero es usado para la pega de piezas de mampostería, ladrillos y bloques estructurales, también se utiliza para revoques y resanes, también se usa para la prefabricación de algunos elementos como las tejas y las baldosas para piso.

## Acero laminado

El acero laminado se utiliza en muchas industrias de la construcción, como parte de la estructura de una edificación con el fin de resistir y soportar las cargas de los materiales.

En el proceso de fabricación el acero sale del alto horno de colada de la siderurgia, es convertido en acero bruto fundido en lingotes de gran peso y tamaño que posteriormente hay que laminar para poder convertir el acero en los múltiples tipos de perfiles comerciales que existen de acuerdo al uso que vaya a darse del mismo.

El proceso de laminación consiste en calentar previamente los lingotes de acero fundido a una temperatura que permita la deformación del lingote por un proceso de estiramiento y desbaste que se produce en una cadena de cilindros a presión denominados tren de laminación.

Esos cilindros van conformando el perfil deseado hasta conseguir la medida adecuada.

Las dimensiones resultantes no poseen las condiciones adecuadas, por lo cual se someten a fases de mecanizado hasta ajustar la tolerancia necesaria.

### Clasificación del acero<sup>3</sup>.

- **Aceros al carbono.** Estos aceros contienen diversas cantidades de carbono y menos de 1.65% de manganeso, el 0.6% de silicio y el 0.6% de cobre. Entre los productos fabricados con acero al carbono figuran máquinas, carrocerías de automóviles, la mayor parte de construcciones de acero, cascos de buques, somieres y horquillas.
- **Aceros aleados.** Estos aceros contienen una proporción determinada de vanadio, molibdeno, y otros elementos, además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre que los aceros al carbono normales. Estos aceros se emplean en la fabricación de engranajes y ejes de motores, patines o cuchillos de corte.
- **Aceros de baja aleación ultrarresistentes.** Son más baratos que los aceros aleados convencionales ya que contienen cantidades menores de los costosos elementos de aleación. Sin embargo reciben un tratamiento especial que les otorga una mayor resistencia que los aceros de carbono. En la actualidad se construyen muchos edificios con estructuras de baja aleación. Las vigas pueden ser más delgadas sin disminuir su resistencia, logrando menor peso y un mayor espacio interior en los edificios.



- **Radiación.** El acero tiene la capacidad de emitir calor por medio de ondas electromagnéticas (energía calórica).

4 Propiedades mecánicas y físicas del acero. Lifeder.com.

Recuperado de <https://www.lifeder.com/propiedades-mecanicas-fisicas-acero/>

- **Conductor de electricidad.** Facilidad de transportar corriente eléctrica.
- **Factor óptico.** Capacidad de absorber color y brillo.
- **Magnetismo.** Facilidad de inducir o ser inducido por un campo electromagnético, es decir actúa como imán o es atraído por él.

**Tabla 11. Propiedades físicas del acero.**

<b>Propiedades físicas del concreto</b>	
Punto de fusión	1.510 °C
Punto de ebullición	2.500 °C
Peso	0.008 kg/cm <sup>3</sup>
Densidad	7.850 kg/m <sup>3</sup>

Fuente. Propia.

## Propiedades mecánicas del acero.

- **Plasticidad.** Es la capacidad que tiene el acero de conservar su forma después de ser sometido a un esfuerzo. Los aceros que son aleados con pequeños porcentajes de carbón, son más plásticos.
- **Fragilidad.** Es la facilidad con la que el acero puede ser roto al ser sometido a un esfuerzo. Cuando el acero es aleado, con un porcentaje alto de carbón, tiende a ser más frágil.
- **Maleabilidad.** Es la facilidad que posee el acero para ser laminado. De esta manera, algunas aleaciones de acero inoxidable tienden a ser más maleables que otras.
- **Dureza.** Es la resistencia que opone un metal ante agentes abrasivos. Mientras más carbón se añade a una aleación de acero, más duro será.
- **Tenacidad.** Es la capacidad que tiene el acero de resistir la aplicación de una fuerza externa sin romperse.

- **Ductilidad.** Capacidad de sufrir deformaciones a tracción alta, hasta llegar a la ruptura

**Tabla 12. Propiedades mecánicas del acero.**

<b>Propiedades físicas del concreto</b>	
Resistencia a la tracción	5.600 kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad	2.100.000 kg/cm <sup>2</sup>
Límite de fluencia	4.200 kg/m <sup>2</sup>
Módulo de rigidez cortante	840.000 kg/cm <sup>2</sup>
Alargamiento a la ruptura	De 12% a 14% según el diámetro

Fuente. Propia.

### **Usos del acero laminado.**

El acero en sus distintas clases está presente de forma abrumadora en nuestra vida cotidiana en forma de herramientas, utensilios, equipos metálicos y formando parte de electrodomésticos y maquinaria en general, así como en estructuras y edificios. En este contexto existe la versión moderna de perfiles de acero denominada Metalcon.

En la aplicación y uso de la ingeniería y arquitectura son utilizados para la fabricación de ángulos estructurales en L, vigas en H, canales en U, perfiles en T, barras redondas lisas y pulidas, pletinas, barras cuadradas, barras hexagonales, perfiles generados por soldadura o unión de sus elementos, chapas y acero corrugado para hormigón o concreto armado.

## **Comportamiento de los materiales de construcción frente al fuego.**

### **Comportamiento de la madera frente al fuego<sup>5</sup>**

Cuando la madera es sometida a un foco de calor, su contenido de humedad disminuye en la zona directamente afectada al alcanzarse el punto de ebullición del agua. Este hecho es detectable por la sudoración que aparece en su superficie. Si el aporte de calor se mantiene hasta una temperatura aproximada de 270°C, comienza el desprendimiento de vapores que, en caso de seguir aumentando la temperatura, son susceptibles de arder.

Este proceso, llamado pirolisis de la madera, produce su descomposición en gases según lastemperaturas alcanzadas.

La madera y sus productos derivados están formados, principalmente, por celulosa y lignina, que, al ser compuestos de carbono, hidrogeno y oxígeno, hacen de ella un material combustible. A pesar de su combustibilidad, si la madera no se somete a llama directa, esta no alcanzara a arder hasta que no alcance aproximadamente los 400°C. Aun siendo expuesta a llama directa, no se producirá la ignición hasta que no llegue a temperaturas entorno a los 300°C.

**Figura 2. Comportamiento de la madera expuesta a una fuente de ignición.**

**$T^a / 270^{\circ} C$**

Comienzan el desprendimiento de vapores de la madera

**$T^a / 300^{\circ} C + \text{con llama directa}$**

Temperatura a la que empieza a arder con llama directa

**$T^a / 400^{\circ} C + \text{sin llama directa}$**

Temperatura a la que puede empezar a arder aunque no exista llama directa

Fuente. Madera y fuego. Los productos de la construcción de madera y su

comportamiento frente al fuego. Clúster de la Madera de Galicia. p. 4.

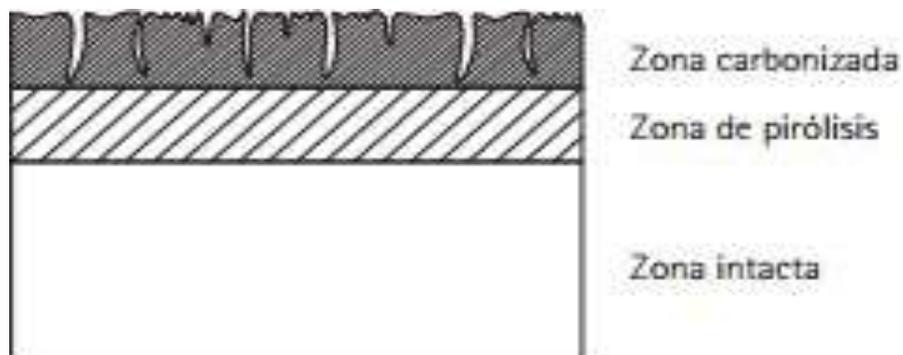
Puede considerarse que la madera presenta un buen comportamiento sometida a incendios en fase de pleno desarrollo debido a que su conductividad térmica es baja.

Esto lleva a que la combustión, alimentada por el oxígeno, se desarrolle únicamente en la superficie de la pieza.

Tras la combustión de la superficie se origina una capa exterior carbonizada, que protege a otra capa interior contigua en la que se produce la pirolisis. Por último, en el interior de la pieza, queda la madera sin afectar por el fuego (figura 13).

<sup>5</sup> Fuente. Guía para construir con madera. Comportamiento frente al fuego. Confederación Española de Empresarios de Madera (CONFEMADERA). Documento de aplicación del CTE. 2010.p. 10 - 11.

**Figura 3. Cambios de la madera por acción del fuego.**



Fuente. Guía para construir con madera. Comportamiento frente al fuego. Confederación Española de Empresarios de Madera (CONFEMADERA).

Documento de aplicación del CTE. 2010. Figura 2.4. p. 11.

La alta capacidad aislante de la capa carbonizada, del orden de unas seis veces superior a la de la madera a temperatura ambiente, permite que el interior de la pieza se mantenga a una temperatura mucho menor y con sus propiedades físico-mecánicas constantes. Así la pérdida de la capacidad portante del elemento se debe, principalmente, a la reducción de su sección y no tanto al deterioro de las propiedades del material.

## Factores que influyen en la combustión de la madera.

- **Especie de madera.** Las maderas coníferas suelen tener tiempos de ignición inferiores a las frondosas, debido a que contienen resinas y aceites naturales que se inflaman fácil y rápidamente. Las maderas frondosas de poros dispersos (haya) arden más rápidamente que las de poros en anillo (flor morado) debido a que poseen más aire en su interior que facilita su propagación.
- **Escuadría, superficie y forma.** En las piezas gruesas se retrasa el punto de inflamación porque la superficie a calentar es mayor para una misma fuente calorífica. Las superficies rugosas y angulosas favorecen la inflamación, debido a que el fuego encuentra puntos de entrada singulares que arden con más facilidad. En las superficies lisas las llamas lamen las caras y tardan más en penetrar hacia el interior.
- **La relación entre la superficie y el volumen de la pieza.** Las secciones estrechas y con aristas vivas aumentan esta relación, conduciendo a un comportamiento frente al fuego menos favorable. Por ejemplo, en piezas de pequeña escuadría resulta más fácil la ignición y la propagación de la llama.

- **La existencia de fendas.** Las hendiduras en el sentido de las fibras de la madera incrementan los efectos del fuego. La madera laminada, que apenas contiene fendas, presenta una velocidad de carbonización menor que la madera maciza.
- **La densidad de la madera.** Las diferentes especies de a madera se comportan frente al fuego de forma diferente en función de su densidad. Se la densidad es alta, comienza a arder con menos facilidad y la combustión es más lenta.
- **El contenido de humedad.** En edificación, la mayoría de estructuras de madera presenta un contenido de humedad que varía entre el 8% y el 15% aproximadamente, lo que implica que por cada tonelada de maderadebe evaporarse entre 80 y 150 kgs de agua antes de que entre en combustión. No obstante, este factor no se considera en la velocidad de carbonización debido a la poca variación de contenido de humedad que se da en la práctica.

## **Reacción de la madera frente al fuego<sup>6</sup>.**

- **Temperaturas menores a 100 °C.** En la primera fase endotérmica, hasta los 100 °C, la madera absorbe calor que solo emplea en evaporación del agua y secado.

**Figura 4. Madera expuesta a temperatura menor a 100 °C.**



Fuente. <https://sp.depositphotos.com/10107024/stock-photo-old-wooden-desk-as-abstract.html>

- **Temperaturas de 100 a 270 °C.** Continúa absorbiendo calor y desprende gases alcohólicos y ácidos formados por un 30% de CO (combustible) y un 70% de CO<sub>2</sub> (incombustible). La madera, presenta en esta fase un color marrón.

---

<sup>6</sup> Fuente. Respuesta de la madera ante el fuego en la construcción. Dr. Luis Miguel Elvira Martín. Jefe del Laboratorio del Fuego. Departamento de Maderas I.N.I.A. Informes de la Construcción. Vol. 35. No. 358. Marzo, 1984. p. 65.

**Figura 5. Madera expuesta a temperatura de 100 a 270 °C.**



Fuente. <http://www.anunciosoterico.com/blog/el-palo-santo-madera-sagrada/>

**Figura 6. Madera expuesta a temperatura de 270 a 350 °C.**



Fuente. <http://fotorecurso.com/image/1G>

- **Temperaturas mayores de 350 °C.** Todos los gases desprendidos son combustibles, aunque escasos y abundan los hidrocarburos.

**Figura 7. Madera expuesta a temperatura mayor a 350 °C.**



Fuente. <https://pxhere.com/es/photo/1172628>

- **Temperaturas mayores de 450 °C.** El hidrógeno y los carburos constituyen la mayor parte de los gases desprendidos, siendo el residuo sólido carbón de madera, susceptible de quemarse con desprendimiento de gases combustibles.

**Figura 8. Madera expuesta a temperatura mayor a 450 °C.**



Fuente. <http://www.vancouversun.com/opinion/columnists/pete+mcmartin+more+death+campfire/11291310/story.html>

### **Comportamiento del concreto frente al fuego<sup>7</sup>**

Hay dos componentes clave para explicar el comportamiento satisfactorio del concreto frente al fuego: en primer lugar, sus propiedades básicas como material de construcción y, en segundo, su funcionalidad en una estructura. El concreto es incombustible (no arde) y tiene una baja velocidad de transmisión del calor (protege frente al fuego), lo que significa que en la mayoría de las estructuras el hormigón puede utilizarse sin ninguna protección adicional frente a incendios. Muchas de las propiedades de resistencia al fuego del hormigón no se alteran, independientemente de que se trate de uno normal para estructuras o ligero, o

bien fabricado como bloques o como hormigón aireado en autoclave. En esencia, ningún otro material es un ejemplo tan completo de seguridad en su comportamiento en caso de incendio.

Al contrario que otros materiales de construcción, sencillamente no es posible prender fuego al concreto. Es resistente a los materiales ardiendo, que pueden alcanzar temperaturas muy elevadas, iniciando o incluso reiniciando un incendio, y las llamas producidas por las sustancias en combustión no pueden inflamarlo. En consecuencia, y dado que no arde, el hormigón no desprende ningún tipo de humo, gases o vapores tóxicos al verse afectado por el fuego. No hay posibilidad de que el hormigón contribuya a iniciar o propagar un incendio o de que aumente la carga de fuego.

---

<sup>7</sup> Fuente. Seguridad y protección completa frente al fuego con hormigón. Plataforma Europea del Hormigón. Publicación No. 916. Julio, 2008. p. 28-56.

Dadas las características de su composición, el hormigón estructural no sufre generalmente colapsos ante un incendio; aunque es factible experimentar desvíos de posición tanto en la carga como en el suelo. La mayor parte de las estructuras suelen ser, después de haber sufrido la acción del fuego, lo suficientemente seguras como para restablecer sus funciones normales.

En relación a la tracción y la flexión, las resistencias del hormigón ante el fuego, son las más afectadas. En cambio, esta acción es mucho menor en la resistencia a la compresión, estableciendo en términos generales una reducción en la resistencia de un 80 % a unos 800° C.

Ante un incendio, incluso aquellos materiales considerados tradicionalmente como incombustibles (concreto) no son lo suficientemente seguros contra el fuego. Si consideramos que en un incendio se alcanzan fácilmente 600° C a los 10 minutos de su inicio, y los 1.200° C a los 20 minutos, se comprende que incluso el concreto no es absolutamente seguro. El tiempo de exposición al fuego es un factor determinante en el deterioro del material. Un recubrimiento mayor de los aceros eleva la resistencia del concreto en los incendios.

El concreto presenta un elevado grado de resistencia al fuego y, en la mayoría de las aplicaciones, puede ser descrito como a prueba de incendios si se diseña adecuadamente. El concreto es una protección muy eficaz frente al fuego. Ello se

debe a que sus componentes minerales tienen una gran capacidad calorífica y su estructura porosa se traduce en una baja conductividad térmica. Es esta baja velocidad de transmisión del calor la que permite al hormigón actuar como una protección eficaz no sólo entre espacios adyacentes, sino también para protegerse a sí mismo de los daños provocados por el fuego.

Una de las mayores ventajas de una estructura de hormigón es que normalmente puede ser reparada después de un incendio, minimizando con ello cualquier inconveniente, así como los costes. Las reducidas cargas de los forjados y las temperaturas relativamente bajas que se producen en la mayoría de los incendios en los edificios se traducen en que la capacidad portante del hormigón se conserva en una proporción muy importante, tanto durante como después de un incendio. Por estas razones, a menudo lo único que se requiere es una simple limpieza. La rapidez de reparación y de rehabilitación es un factor importante para minimizar cualquier pérdida de actividad económica después de un incendio importante; obviamente ello es preferible a una demolición y posterior reconstrucción.

### **Reacción del concreto frente al fuego<sup>8</sup>.**

- **Temperaturas de 200 a 300 °C.** inicia la pérdida del agua capilar, no aparecen modificaciones estructurales ni disminuye la resistencia del concreto.

---

8 Ingeniero de la crisis. Tensiones y deformaciones profesionales.  
<https://ingenierodelacrisis.wordpress.com/2012/05/02/el-fuego-vs-las-estructuras-de-hormigon-enemigos/>

**Figura 9. Concreto expuesto a temperaturas de 200 a 300 °C.**



Fuente. [http://www.chacao.gob.ve/eduriesgo/vulnerabilidad\\_archivos/01\\_definicion\\_de\\_terminos\\_basicos.pdf](http://www.chacao.gob.ve/eduriesgo/vulnerabilidad_archivos/01_definicion_de_terminos_basicos.pdf)

- **Temperaturas de 300 a 400 °C.** Pérdida del agua del cemento. Aparecen fisuras superficiales y el concreto reforzado tiende a unacoloración rosácea debido a los cambios que sufren los compuestos de hierro.

**Figura 10. Concreto expuesto a temperaturas de 300 a 400 °C.**



Fuente. [http://www.chacao.gob.ve/eduriesgo/vulnerabilidad\\_archivos/01\\_definicion\\_de\\_terminos\\_basicos.pdf](http://www.chacao.gob.ve/eduriesgo/vulnerabilidad_archivos/01_definicion_de_terminos_basicos.pdf)

- **Temperaturas de 400 a 600 °C.** Desprendimiento de cal viva a partir del hidróxido cálcico de hidratación de silicatos. Cuando se enfría el concreto sus propiedades mecánicas pueden disminuir en función del método de extinción del incendio y de las tensiones estructurales a las que esté sometido. Color rojizo.

**Figura 11. Concreto expuesto a temperaturas de 400 a 600 °C.**



Fuente. <http://www.imcyc.com/revistacyt/ago11/arttecnologia.html>

- **Temperaturas de 600 a 950 °C.** Los áridos se expanden y debido a sus diferentes coeficientes de dilatación, aparece la disgregación. El hormigón adquiere tonalidades grisáceas, pierde agua intersticial y se vuelve poroso. En estas situaciones se produce una pérdida de resistencia que puede oscilar entre el 60% y el 90%, siendo necesaria su total sustitución para garantizar la estabilidad estructural del edificio.

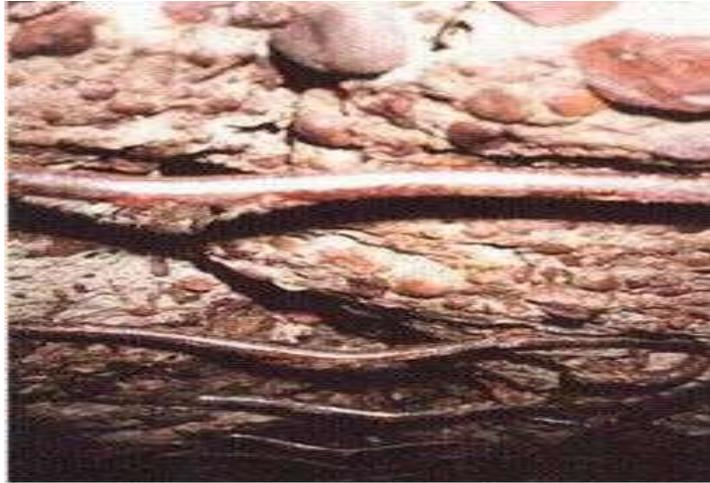
**Figura 12. Concreto expuesto a temperaturas de 600 a 950 °C.**



Fuente: [http://www.mda.cinvestav.mx/alconpat/internacional/contenido/re\\_ebook\\_ai/DEMO\\_R/HTML/Capitulo1/Capitulo.htm](http://www.mda.cinvestav.mx/alconpat/internacional/contenido/re_ebook_ai/DEMO_R/HTML/Capitulo1/Capitulo.htm)

- **Temperaturas de 950 a 1200 °C.** Destrucción del conglomerado, adquiriendo un tono amarillento el concreto carece de resistencia residual alguna.

**Figura 13. Concreto expuesto a temperaturas de 950 a 1200 °C.**



Fuente: [http://www.mda.cinvestav.mx/alconpat/internacional/contenido/re\\_ebook\\_ai/DEMO\\_R/HTML/Capitulo1/Capitulo.htm](http://www.mda.cinvestav.mx/alconpat/internacional/contenido/re_ebook_ai/DEMO_R/HTML/Capitulo1/Capitulo.htm)

### **Propiedades protectoras y de seguridad del concreto.**

El concreto no es combustible, por lo tanto no se suma a la carga de fuego ni contribuye a que el incendio se extienda.

El concreto ofrece una elevada resistencia al fuego. Las estructuras de concreto soportan incendios severos sin colapsar.

El concreto protege a los usuarios del edificio y a los bomberos. Permite la evacuación del edificio y los trabajos de control y extinción del incendio en condiciones de estabilidad estructural.

El concreto no produce humo ni gases tóxicos, reduciendo el riesgo de las personas y de contaminación medio ambiental y contribuyendo a una construcción más sostenible.

Después del incendio el concreto es fácilmente reparable y facilita la vuelta a la actividad del edificio, reduciendo las consecuencias de éste.

El concreto no necesita de otro material para reducir el riesgo frente a un incendio. Contribuye a la reducción de costos en la construcción.

El concreto no se degrada por efecto del agua utilizada durante la extinción del incendio.

### **Comportamiento del acero frente al fuego**

El acero es un material incombustible pero buen conductor del calor. Cuando un elemento de la estructura de acero está sometido a un incendio, su temperatura aumenta, y sus propiedades mecánicas se reducen como en cualquier otro material. La capacidad portante del elemento disminuye por consiguiente y su deformación aumenta. Si la deformación es demasiado importante, puede colapsar.

La estabilidad al fuego de un elemento no puede asegurarse más cuándo, bajo el efecto de la elevación de temperatura, su resistencia mecánica disminuye hasta un cierto nivel. Alcanzamos en ese instante la temperatura crítica, comprendida entre 450°C y 800°C, que depende de varios parámetros: calidad del acero, el grado de coacción, tipo de perfil, condiciones de sustentación y de carga, y factor de masividad (relación de la superficie expuesta al calor y el volumen por unidad de longitud). Cuanto más elevado sea este factor más rápido es el calentamiento.

El acero es un buen conductor del calor, recordemos una de las formas clásicas de la transmisión del calor “conducción”, debido a que el hierro (elemento mayoritario en la composición del acero) como metal que posee electrones libres, lo que puede propagar el calor fácilmente a través de elementos construidos con este material (vigas, columnas, paneles, etc.) originando a continuación nuevos focos térmicos que expanden el área de calor a una nueva combustión.

Aun cuando el acero funde entre 1.300 ° C y 1.400° C, mucho antes de llegar a este punto, pierde su resistencia, reduciéndose a la mitad al llegar a los 500 ° C, el calor lo dilata con gran facilidad, el acero estructural pierde dos tercios de su resistencia inicial y en proporción al aumento y dirección de la carga a la cual es sujeta, comenzando por pandear y ceder, con el consiguiente arrastre del resto de los elementos portantes de la construcción.

Este comportamiento del acero en estructuras de contenido, no presupone la presencia de altas temperaturas o anormales condiciones, sino que son suficientes de pequeños a moderados incendios para que se produzca la deformación del material. En general, todos los metales bajo la acción del calor presentan un riesgo máximo a la distorsión y colapso.

### **Reacción del acero frente al fuego.**

- **Temperaturas de 400 a 500 °C.** Pérdida de un 15% de resistencia, disminución del módulo de elasticidad del 30%.

**Figura 14. Acero expuesto a temperaturas de 400 a 500 °C.**



Fuente. <http://www.arquitecturaenacero.org/editorial/presentacion-editorial-enero->

- **Temperaturas de 500 a 600 °C.** Pérdida de un 30% de resistencia, disminución del módulo de elasticidad del 40%.

**Figura 15. Acero expuesto a temperaturas de 500 a 600 °C.**



Fuente. <https://e-struc.com/2015/06/19/rehabilitacion-o-demolicion-iv-un-caso-concreto-de-rehabilitacion-estructural/>

**Temperaturas de 600 a 700 °C.** Pérdida de un 60% de resistencia, disminución del módulo de elasticidad del 70%.

**Figura 16. Acero expuesto a temperaturas de 600 a 700 °C.**



Fuente. <http://www.construccionenacero.com/blog/ndeg-37-ingenieria-de-seguridad-contra-incendio>

**Temperaturas de 700 a 1200 °C.** Pérdida de un 85% de resistencia, disminución del módulo de elasticidad del 87%.

**Figura 17. Acero expuesto a temperaturas de 700 a 1200 °C.**



Fuente. <http://www.construccionenacero.com/blog/ndeg-37-ingenieria-de-seguridad-contra-incendio>

**Temperaturas > 1200 °C.** Alcanza su punto de ignición, el elemento comienza a arder e inicia la transformación del material de sólido a líquido.

**Figura 18. Acero expuesto a temperaturas mayores a 1200 °C.**



Fuente. <https://mundo.sputniknews.com/economia/201803091076883367-guerra-comercial-eeuu-china-acero/>

## **Bibliografía**

Causas, identificación y posibles soluciones para las fisuras. Ariana Astorga. Pedro Rivero. Centro de Investigación en Gestión Integral de Riesgos. Modulo 3. Sección 5. 2009.

Clasificación de productos de fuego. Colegio Oficial de Apajadores y Arquitectos Técnicos de Madrid. Gabinete técnico. Newsletter No. 785. Marzo. 2017.

Comportamiento de elementos estructurales de acero frente a incendio. Análisis de la normativa. Xavier Virgili Grau. Tecnología de las estructuras. Análisis de proyecto de estructuras. Noviembre. 2007.

Comportamiento del fuego según tipología de forjado. Galán Esmeralda. Launes Pino. Fransecs-Xavier. Universidad Politécnica de Cataluña. Arquitectura Técnica. Junio. 2011.

Comportamiento de los materiales de construcción ante la incidencia del fuego. Ing. Javier Roscardi. Universidad de los Andes. Facultad de arquitectura diseño y urbanismo.

Comportamiento frente al fuego. Guía de construcción de madera. Luis Vega Catalan. Mariana Linares Cervera. Documento de aplicación del CTE. Capítulo 3. Confemadera. Edición construir con madera. 2010.

Comportamiento frente al fuego de materiales y elementos de construcción. José L. Torero. School of Engineering and Electronics. The University of Edinburgh. Agosto. 2007.

Criterios para determinar los requerimientos de resistencia al fuego de elementos estructurales. Rodrigo Ignacio José Macari Lagos. Memoria para optar al título de ingeniero. Universidad de Chile. Facultad de ciencias físicas matemáticas. Agosto. 2015.

Fenómenos patológicos en el concreto por causas térmicas. Ing. Carlos Arcila López. Noticiero 120. Septiembre/octubre. 2013.

Fisuras en el hormigón. M. Sc. Fernando Cabrizo Torrico. Journal Boliviano de Ciencias. Universidad del Valle. Facultad de informática y electrónica – tecnología y arquitectura.

Guía de patología constructivas, estructurales y no estructurales. Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá – FOPAE. Ana Campos García.

Guía técnica para inspección de edificación después de un sismo. Tercera edición. 2011.

Madera y Fuego. Los productos de la construcción de madera y su comportamiento frente al fuego. Arq. Alberto Mozó. Edición BIP Computers.

NFPA 921. Guía para la investigación de incendios y explosiones. National Fire Protection Association. Asociación de investigación para la seguridad de vías y bienes Sagasta. Madrid. Edición 2001.

Resistencia al Fuego. Seguridad y protección completa frente al fuego con hormigón. Plataforma tecnológica Europea Y Española del hormigón. No. 916. Julio. 2018.

Respuesta de la madera ante el fuego en la construcción. Ing. Luis Miguel Elvira Martín. Departamento de maderas. INIA. Informe 660-3.

Seguridad frente al fuego de las estructuras de hormigón. Arq. Luis Vega Catalán. Ing. Manuel Burón Maestro. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones. No. 899. Marzo. 2007.



## ANEXO B



# COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN FRENTE AL FUEGO

## OBJETIVOS

- Identificar los materiales de construcción: acero laminado, concreto de 3.000 psi y madera en flor morado.
- Reconocer la resistencia a esfuerzos que presentan los materiales, frente a cargas propias y a cargas adicionales después de estar sometidos al fuego.
- Verificar la tolerancia al fuego y el grado de combustibilidad que presentan los tres materiales puestos en estudio.
- Determinar la capacidad de rehabilitación que poseen los materiales en estudio después de someterlos a temperaturas altas.



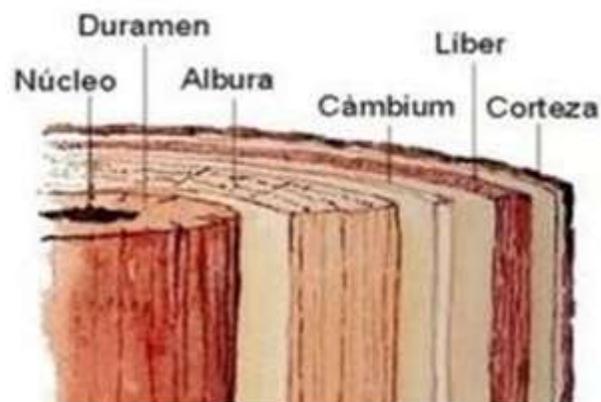


## MADERA EN FLOR MORADO

- ▶ La madera en flor morado se obtiene de un árbol que posee su mismo nombre, proveniente de la familia de especies del género *Quercus*. Se caracteriza por ser una madera muy dura y pesada, de gran densidad. Visualmente se identifica por tener anillos de una coloración parda clara, lo cual la vuelve muy llamativa por dar un estilo decorativo tanto clásico como moderno.



## PARTES DE LA MADERA





## PROPIEDADES FISICAS

### Propiedades físicas de la madera en flor morado

Saturación	12%
Densidad	710 kg/m <sup>3</sup> madera pesada
Dureza	4,8 semi-dura
Contracción tangencial	8,2%
contracción radial	3,9%
contracción volumétrica	12,3%



## PROPIEDADES MECÁNICAS

### Propiedades mecánicas de la madera en flor morado

Resistencia a la flexión	960 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la compresión	450 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la tracción	1,600 kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad	113,000 kg/cm <sup>2</sup>



## CONCRETO 3.000 PSI

- ▶ El concreto es una mezcla de cemento, agregados finos y gruesos, agua y aditivos. Maleable en su forma líquida y de gran resistencia después del fraguado en su estado sólido.
- ▶ El concreto reforzado de 3.000 PSI es aquel que soporta cargas de 3.000 libras de presión por pulgada cuadrada, cumple con especificaciones de la ACI 211.1.



## COMPONENTES DEL CONCRETO



MATERIALES: ARENA - GRAVA - CEMENTO - AGUA



## PROPIEDADES FÍSICAS

### Propiedades físicas del concreto

Densidad	2350 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico	1.800 kg/m <sup>3</sup> a 2.000 kg/m <sup>3</sup>



## PROPIEDADES MECÁNICAS

### Propiedades mecánicas del concreto

Resistencia a la compresión	150 kg/cm <sup>2</sup> a 500 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la tracción	15 kg/cm <sup>2</sup> a 50 kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad a la compresión	55.560 kg/cm <sup>2</sup> a 105.090kg/cm <sup>2</sup>



## ACERO LAMINADO

- ▶ El acero laminado se utiliza en muchas industrias de la construcción, como parte de la estructura de una edificación con el fin de resistir y soportar las cargas de los materiales.



## PROPIEDADES FÍSICAS

Propiedades físicas del concreto	
Punto de fusión	1.510 °C
Punto de ebullición	2.500 °C
Peso	0.008 kg/cm <sup>3</sup>
Densidad	7.850 kg/m <sup>3</sup>

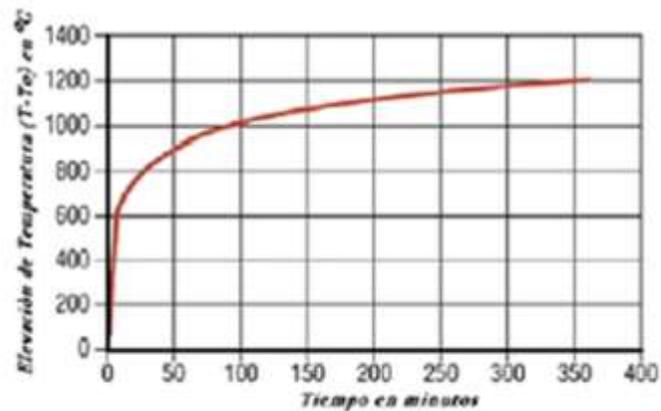


## PROPIEDADES MECÁNICAS

Propiedades físicas del concreto	
Resistencia a la tracción	5.600 kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad	2.100.000 kg/cm <sup>2</sup>
Límite de fluencia	4.200 kg/m <sup>2</sup>
Módulo de rigidez cortante	840.000 kg/cm <sup>2</sup>
Alargamiento a la ruptura	De 12% a 14% según el diámetro



## CURVA TEMPERATURA INCENDIO NORMALIZADO





## ACERO FRENTE AL FUEGO

El acero pierde gradualmente su resistencia a partir de los 300°C hasta alcanzar aproximadamente el 60% de su resistencia inicial a los 550°C.

Según ensayos realizados en base a la Norma NFPA 251 el acero estructural colapsa al alcanzar los 538 °C.



## ACERO FRENTE AL FUEGO





## ACERO FRENTE AL FUEGO



## CONCRETO FRENTE AL FUEGO

- $200\text{ }^{\circ}\text{C} < T^{\circ} < 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ : pérdida del agua capilar, no parecen modificaciones estructurales ni disminuye la resistencia.
- $300\text{ }^{\circ}\text{C} < T^{\circ} < 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ : pérdida del agua del cemento. Aparecen fisuras superficiales y el hormigón armado tiende a una coloración rosácea debido a los cambios que sufren los compuestos de hierro.
- $400\text{ }^{\circ}\text{C} < T^{\circ} < 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ : desprendimiento de cal viva a partir del hidróxido cálcico de hidratación de silicatos. Cuando se enfría el hormigón sus propiedades mecánicas pueden disminuir en función del método de extinción del incendio y de las tensiones estructurales a las que esté sometido. Color rojizo.



## CONCRETO FRENTE AL FUEGO

- $600\text{ }^{\circ}\text{C} < T^{\circ} < 950\text{ }^{\circ}\text{C}$ : los áridos se expanden y debido a sus diferentes coeficientes de dilatación, aparece la disgregación. El hormigón adquiere tonalidades grisáceas, pierde agua intersticial y se vuelve poroso. En estas
- situaciones se produce una pérdida de resistencia que puede oscilar entre el 60% y el 90%, siendo necesaria su total sustitución para garantizar la estabilidad estructural del edificio.
- $950\text{ }^{\circ}\text{C} < T^{\circ} < 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ : destrucción del conglomerado, adquiriendo un tono amarillento. El hormigón carece de resistencia residual alguna.



## CONCRETO FRENTE AL FUEGO

Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Pérdida de resistencia (%)	
	Acero armadura	Hormigón
20	0	0
400	15	15
500	30	30
600	60	40
700	85	60

Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Disminución del módulo de elasticidad (%)	
	Acero armadura	Hormigón
20	0	0
400	30	75
500	40	83
600	70	90
700	87	90



## CONCRETO FRENTE AL FUEGO

Tiempo t (minutos)	Temperatura alcanzada (° C)			
	En el incendio	En el acero estructural sin protección	En la armadura con un recubrimiento r (mm)	
			r = 30	r = 45
30	815	815	205	140
60	925	925	370	270
90	990	990	490	350
120	1030	1030	570	425
150	1070	1070	620	490
180	1100	1100	660	510



## CONCRETO FRENTE AL FUEGO





## CONCRETO FRENTE AL FUEGO



## MADERA FRENTE AL FUEGO

Comportamiento de la madera expuesta a una fuente de ignición

MADERA

+



**T° / 270° C**

Comienzan el desprendimiento de vapores de la madera

**T° / 300° C + con llama directa**

Temperatura a la que empieza a arder con llama directa

**T° / 400° C + sin llama directa**

Temperatura a la que puede empezar a arder aunque no exista llama directa