

**Guía De Procedimiento para la Protección Contra Incendio de Vigas Metálicas Basado
en el Título J de la NSR-10**

Presentado por:

Oscar José Figuera Serna

Auxiliar de Investigación

Asesor:

Ing. Adán Silvestre Gutiérrez

Investigador Principal

Universidad Libre Seccional Pereira

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil

Pereira

2020

1. Tabla de contenido

1. Tabla de contenido.....	II
2. Listado de tablas	V
3. Listado de fotos	VI
4. Listado de gráficos.....	VII
5. Descripción del problema	VIII
5.1. Antecedentes	VIII
5.2. Descripción del problema.....	VIII
6. Justificación.....	X
7. Objetivos	XI
7.1. Objetivo general.....	XI
7.2. Objetivos específicos.....	XI
8. Delimitación del proyecto.....	XII
9. Hipótesis.....	XIII
10. Marco referencial.....	XIV
10.1. Marco teórico	XIV
10.2. Marco conceptual	XV
10.3. Marco legal y normativo.....	XVIII
11. Marco metodológico	XX

11.1. Tipo de investigación	XX
11.2. Método de investigación.....	XX
11.3. Técnicas para la recolección de información.....	XXI
11.3.1. Información primaria.....	XXI
11.3.2. Información secundaria.	XXI
12. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente.....	22
12.1. Elementos de acero estructural	33
13. Materiales utilizados en la protección contra fuego	35
13.1. El yeso	35
13.2. Paneles de lana mineral	36
13.3. Mampostería	37
13.4. Concreto.....	37
13.5. Materiales aplicados por pulverización.....	38
13.6. Recubrimientos intumescentes.....	38
14. Prueba estándar de fuego	39
15. El acero y el fuego	42
16. Protección contra fuego	44
16.1. Factor de forma	48
17. Protección para vigas	49
17.1. Protección en conjunto mediante cielorraso	49

17.2. Protección individual de vigas	50
17.2.1. Productos más utilizados.	51
18. Recubrimientos intumescentes	56
18.1. Estructura de un sistema de protección intumescente	58
18.2. Cálculo del espesor del revestimiento	60
18.3. Aplicación de la pintura intumescente	61
18.3.1. Preliminares.	61
18.3.2. Preparación de superficie a proteger.	62
18.3.3. Primera capa: imprimante.....	62
18.3.4. Segunda capa: pintura intumescente.	63
18.3.5. Tercera capa: sellador.....	64
19. Conclusiones	65
20. Bibliografía.....	67
21. Anexos	70
21.1. Fichas técnicas de pinturas intumescentes.....	70
21.1.1. Nullifire SC 801-120.....	70
21.1.2. Promapaint – SC4	71
21.1.3. Sika Unitherm 38091.....	73

2. Listado de tablas

Tabla 1.J.1.1-1 Grupos y subgrupos de ocupación, NSR-10.	26
Tabla 2. J.3.3-1 Categorización de las edificaciones para efectos de resistencia contra el fuego de acuerdo con su uso, área construida y número de pisos, NSR-10.....	27
Tabla 3. J.3.3-2 Categorización de las edificaciones para efectos de resistencia contra el fuego de acuerdo con su uso, densidad de carga combustible y el número de pisos, NSR-10.....	28
Tabla 4. J.3.4-3 Resistencia requerida al fuego normalizado NTC 1480 (ISO 834), J.3.3.1 ...	31
Tabla 5. Propiedades térmicas del concreto.....	52

3. Listado de fotos

Ilustración 1. Curvas de calentamiento para el incendio estándar. Fuente: (GERDAU CORSA, 2006)	40
Ilustración 2. Triángulo de la combustión. Fuente: (GERDAU CORSA, 2006)	44
Ilustración 3. Secuencia de eventos en un incendio. Fuente: (GERDAU CORSA, 2006).....	45
Ilustración 4. Ventilación durante el incendio. Fuente: (GERDAU CORSA, 2006).....	46
Ilustración 5. Resistencia relativa de diferentes materiales en función de temperatura. Fuente: (GERDAU CORSA, 2006)	47
Ilustración 6. Factores de forma para un perfil W460*52 . Fuente: (GERDAU CORSA, 2006)	48
Ilustración 7. Esquema de perforaciones de las secciones de acero huecas con relleno de concreto. Fuente: (COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, 2010).....	53
Ilustración 8. Esquema explicativo de la pintura intumescente. Fuente: (PAILLALEF, 2005)	57
Ilustración 9. Estructura intumescente. Fuente: (PAILLALEF, 2005).....	59
Ilustración 10. Ficha técnica NULLIFIRE SC 801-120. Fuente: (TOXEMENT, 2016)	70
Ilustración 11. Ficha técnica 20.1.2. PROMAPAIN – SC4. Fuente: (PROMAT)	72
Ilustración 12. Ficha técnica SIKA UNITHERM 38091. Fuente: (SIKA, 2011)	73

4. Listado de gráficos

5. Descripción del problema

5.1. Antecedentes

Desde hace algún tiempo se vienen desarrollando en el mundo, importantes y significativos avances en lo que respecta al diseño de estructuras de acero bajo el efecto de un incendio, logrando establecer las dimensiones apropiadas de estos elementos por medio de análisis térmicos y estructurales (Corporación Instituto Chileno del Acero, 2009)

Colombia no es ajeno al desarrollo en la materia respecto al resto de países. Cada vez son más comunes las edificaciones con estructuras en acero. Por tal motivo, se deben tomar en cuenta las medidas pertinentes para evitar los daños estructurales, provocados por el fuego a pesar de que el acero sea considerado como un material incombustible.

Actualmente en el país se cuenta con diferentes regulaciones que velan de una u otra manera con el adecuado diseño frente a conflagraciones en estructuras, tales como la NSR-10, RETIE, NTC entre otras. La normatividad internacional ha servido como base para la creación de la local, especialmente la NFPA (National Fire Protection Association), aportando los requisitos mínimos para la prevención contra incendios. El acompañamiento de las compañías de seguros cumple una labor importante, puesto que incentiva el cumplimiento de las normas y favorece la calidad de las construcciones. Finalmente, los acontecimientos previos han servido de ayuda para detectar falencias y así mejorar las técnicas y/o procesos en pro de la prevención desastres y el bienestar de las personas.

5.2. Descripción del problema

Actualmente, en Colombia se viene acrecentando el auge de las construcciones cuyo sistema estructural está basado en perfiles de acero, debido a sus bondades desde el punto de vista mecánico teniendo en cuenta su capacidad para resistir esfuerzos y su ductilidad en comparación

con otros materiales como por ejemplo el concreto; facilitando en muchas ocasiones la consecución de diferentes proyectos constructivos.

A pesar de sus bondades como material constructivo, sus características se ven notablemente reducidas bajo la acción del fuego gracias a su alta conductividad térmica, haciendo que su resistencia disminuya de manera significativa, generando un deterioro en la estructura dependiendo de variables como la severidad y duración de la conflagración.

La preservación de la vida de los ocupantes de las edificaciones obliga a la ingeniería a crear o mejorar alternativas de protección frente a dichos acontecimientos. Sin importar el material con el cual se hayan construido, toda edificación debe cumplir con los requisitos de seguridad establecidos en la norma NSR-10 para tal efecto. Teniendo en cuenta esto, se hace necesaria la protección de los miembros estructurales con materiales o elementos con alta resistencia al fuego, retardando de esta manera la tasa de aumento de temperatura de la estructura, lo cual se refleja en mayores tiempos de evacuación y rescate de sus ocupantes.

6. Justificación

En la actualidad se ven cada vez más construcciones cuyo sistema estructural está basado en perfiles de acero, los cuales cumplen las veces de columnas o vigas, convirtiéndose en elementos portantes para la estructura. Las propiedades físicas del acero cambian considerablemente debido a alteraciones en el medio que la contiene, como por ejemplo al cambio de temperatura, especialmente al aumentarse la misma, llevando rápidamente la estructura a un posible colapso. Por lo anterior y pensando principalmente en preservar la vida de los ocupantes de las edificaciones, las construcciones cuya estructura portante esté constituida por elementos de acero, deben acogerse a los lineamientos estipulados en el Título J del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Es pertinente entonces, generar un documento de carácter académico que pueda servir de guía para futuras construcciones de estructura metálica en Colombia, teniendo en cuenta que ha sido un tema poco documentado para la normatividad del país.

7. Objetivos

7.1. Objetivo general

Crear una guía de procedimiento para la protección contra incendio de vigas metálicas basado en el título J de la NSR-10

7.2. Objetivos específicos

- Analizar los lineamientos del Título J del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente enfocados a la protección de incendios para estructuras metálicas.
- Reconocer los diferentes materiales y alternativas de protección pasiva contra incendio aceptadas por la Comisión Asesora.
- Analizar el comportamiento del acero ante la acción de un incendio y las alternativas más comunes utilizadas para la protección de vigas en acero
- Sugerir una de las alternativas de protección y su debido procedimiento de aplicación en vigas de vigas de acero
- Proponer un documento académico que sirva como guía para la protección pasiva de vigas contra incendios

8. Delimitación del proyecto

El presente documento se redacta con el objetivo de generar una propuesta de procedimiento para garantizar la debida escogencia del método, diseño y ejecución de la protección contra incendio de vigas portantes en estructuras metálicas.

9. Hipótesis

Es posible proteger los elementos estructurales de acero de una edificación frente a la acción del fuego en una conflagración, conservando por un tiempo adicional las características y bondades de este material desde el punto de vista mecánico, tal y como es su capacidad para resistir esfuerzos y su ductilidad; mediante el uso de la protección pasiva, por medio de materiales u objetos adicionales que finalmente reducen la conductividad térmica del elemento a proteger y así poder salvaguardar vidas; cumpliendo de esta manera con uno de los objetivos principales del Reglamento NSR-10.

10. Marco referencial

10.1. Marco teórico

En la actualidad, las edificaciones poseen diversos materiales y procedimientos constructivos que son generalmente comunes, pero que particularmente terminan presentando características totalmente diferentes; por tal razón, las edificaciones no necesariamente poseen el mismo nivel de riesgo ante un incendio o posibilidad de pérdida de vidas. Es necesario determinar el nivel de resistencia requerido contra el fuego dependiendo del tipo de proyecto en cuestión, por lo que en Colombia el Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-10 enuncia los requisitos mínimos de protección contra incendios en edificaciones.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, la norma NSR-10 en su título J dicta los requisitos de protección contra incendios en edificaciones y puntualmente en su capítulo 3 expone los requisitos de resistencia contra incendios en las edificaciones, tal y como lo expone su alcance “A continuación se presentan los requisitos de protección contra el fuego de edificaciones y las especificaciones mínimas que deben cumplir los elementos estructurales y los materiales utilizados con el propósito de proteger contra el fuego los elementos estructurales, los acabados y las vías de evacuación”, tema del cual se centra el presente documento. (COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, 2010)

Teniendo en cuenta los efectos de seguridad requeridos en cada caso, la norma presenta una clasificación de tres categorías dependiendo el riesgo. la clasificación en una u otra categoría de riesgo depende básicamente de cuatro variables principalmente inmersas en cada construcción las cuales son el grupo de ocupación de la edificación, su área construida, el número de pisos y en determinadas ocasiones el potencial combustible.

Luego de clasificarse el proyecto en una de las categorías anteriormente mencionadas, el paso a seguir es determinar la resistencia al fuego que dicha edificación requiere en cada uno de los elementos que la componen; siendo de interés para este documento las vigas metálicas del sistema estructural.

De ser necesario proteger un elemento contra el fuego, la alternativa de recubrimiento para cumplir con la especificación debe tener como mínimo la resistencia requerida para el elemento a proteger.

En Colombia, la Comisión Asesora solamente tiene avaladas tres alternativas de protección pasiva, las cuales son, los recubrimientos intumescentes, los recubrimientos con morteros especiales y las placas o tableros de yeso o lana mineral. La elección de la protección pasiva a utilizar depende principalmente de los costos y el nivel de acabado que se desee tener en la edificación; primando en la actualidad la elección de las pinturas intumescentes, gracias a la facilidad del procedimiento de aplicación y los niveles de acabado que pueden tener las superficies.

10.2. Marco conceptual

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 en su título J, capítulo 3, contiene las siguientes definiciones:

Barrera contra el fuego — Ensamblaje horizontal o vertical (muro, viga, losa, columna, etc.), con una resistencia al fuego determinada y cuyos materiales están diseñados para restringir la propagación del fuego y en la cual las aberturas existentes están protegidas (COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, 2010).

Carga de fuego o potencial combustible — Se refiere al efecto ocasionado por un material combustible, debido a la energía calorífica que puede liberar, en función de su calidad y de su volumen. La energía disponible se mide en MJ ($1 \text{ MJ} = 0,28 \text{ kW/h} = 0,239 \text{ Mcal}$), expresada como la suma del poder calorífico de todos los materiales contenidos en un recinto, dividida por el área del piso. Es usual expresarla en función de su equivalencia en masa de madera por unidad de área, sabiendo que 1 kg tiene una energía calorífica equivalente a 18 MJ (COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, 2010).

Distancia de separación al fuego — Distancia medida desde la fachada del edificio hasta el eje de la calle, vía pública o a una línea imaginaria entre dos edificios. La distancia debe ser medida perpendicularmente a la fachada y al eje de la vía (COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, 2010).

Fuego patrón — Fuego con variación de temperatura controlada con el tiempo, utilizado durante pruebas normalizadas (COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, 2010).

Junta resistente al fuego — Ensamblaje de productos diseñados para sello de juntas, ensayados y clasificados según su resistencia al fuego, de acuerdo con UL 2079, para resistir un determinado período de tiempo el paso de calor, humo y fuego. (COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, 2010).

Material no combustible — Material que no arde indefinidamente hasta consumirse, ya sea porque deja de arder al apartársele de la fuente de calor, caso en el cual puede clasificarse como difícilmente combustible, o porque no arde al ser expuesto a la llama, caso en el cual el material

se clasifica como incombustible (COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, 2010).

Muro cortafuego — Muro sólido, o con vanos protegidos, con un determinado tiempo de protección contra el fuego, que restringe la propagación del fuego y que además es continuo desde la cimentación hasta el techo, con suficiente estabilidad estructural tal que, bajo exposición al fuego, no colapse (COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, 2010).

Protección pasiva — Es el proceso mediante el cual un elemento se protege contra el fuego recubriéndolo con un material que le provea un mayor aislamiento térmico (COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, 2010).

Protección activa — Tipo de protección contra el fuego consistente en la instalación de mecanismos automáticos de detección y de extinción de fuego. Algunos de ellos son: detectores de humo con alarmas sonoras, sistemas de extinción con productos químicos y rociadores de agua entre otros (COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, 2010).

Potencial combustible — Energía calorífica disponible por unidad de área de piso. También llamada carga de fuego (COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, 2010).

Prueba normalizada de incendio — Procedimiento estipulado en normas como las NTC 1480 e ISO 834, entre otras, en el cual la temperatura se eleva en forma controlada, siguiendo una ecuación definida en función del tiempo del fuego patrón (COMISIÓN ASESORA

PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, 2010).

Resistencia al fuego — Período de tiempo en que un edificio o los componentes de este mantienen su función estructural o dan la posibilidad de confinar el fuego, medido como el tiempo que resiste un material expuesto directamente al fuego, sin producir llamas, gases tóxicos ni deformaciones excesivas (COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, 2010).

Resistencia requerida al fuego — Tiempo mínimo de resistencia al fuego, exigido por la autoridad competente, que debe resistir un miembro estructural u otro elemento de una edificación, en una prueba normalizada de incendio (COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, 2010).

Tiempo equivalente — Tiempo que tarda un elemento determinado en alcanzar, en la prueba normalizada de incendio, el máximo calentamiento que experimentaría en un incendio real (COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, 2010).

10.3. Marco legal y normativo

Los proyectos de obras civiles independientemente del campo de la ingeniería poseen regulaciones que pretenden garantizar el correcto diseño y el debido desarrollo de los proyectos, desde su etapa de diseño, pasando por la ejecución, supervisión, entrega y posterior operación si así lo requiere.

En Colombia, las construcciones de edificaciones sin importar el tipo deben responder a la normatividad vigente. La Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, creada por la Ley 400 de 1997, publica el REGLAMENTO COLOMBIANO

DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR-10; el cual contiene desde generalidades hasta capítulos enfocados a cargas, concreto estructural, mampostería estructural, casas de uno y dos pisos; estructuras de madera y guadua; estudios geotécnicos, supervisión técnica, estructuras metálicas, requisitos complementarios y de mayor relevancia para este documento el título J, el cual dicta los requisitos de protección contra incendios en edificaciones.

Internacionalmente y relacionado con la temática en cuestión está la norma NFPA de la National Fire Protection Association y su Handbook of Fire Protection Engineering, de Massachusetts. Adicionalmente, está Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials de la American Society For Testing And Materials ASTM.

11. Marco metodológico

11.1. Tipo de investigación

Para la realización del presente documento se utilizará una investigación del tipo descriptiva, puesto que se desea establecer una descripción completa, pero de fácil comprensión para el lector, enfocado a las alternativas de protección para vigas de estructuras de edificaciones metálicas, mediante el análisis de los requerimientos exigidos por la normatividad colombiana. Se desea mostrar claridad en el contenido del capítulo 3 del título J de la NSR-10 y describir las alternativas de protección pasiva para estructuras metálicas, avaladas por la Comisión Asesora.

11.2. Método de investigación

Inicialmente, se analiza el contenido consignado en la NSR-10 referente a la protección contra incendios en edificaciones, siendo de nuestro interés la protección pasiva, dando principal importancia a lo consignado en el título J.

Se prosigue con el análisis de las edificaciones en función del riesgo de pérdida de vidas humanas o en función de la amenaza por combustión dependiendo de las categorías sugeridas por la norma para luego clasificarlas en una de las categorías de riesgo dependiendo y sea del área construida y el número de pisos o del potencial combustible.

Posteriormente se estudia la determinación de la resistencia requerida contra el fuego, teniendo en cuenta el potencial combustible de cada material usado o contenido en la edificación; estableciendo así el tiempo de resistencia requerida al fuego de los elementos de una edificación ya sean muros, columnas, vigas, columnetas, cubiertas o escaleras. Los elementos de la edificación son construidos de diferentes alternativas como concreto, mampostería o acero; siendo lógico afirmar que cada alternativa posee diferentes características físicas y mecánicas; por lo cual, cada elemento de cada alternativa tendrá una exigencia de tiempo diferente.

Teniendo en cuenta lo anterior, se explora las diferentes opciones de recubrimiento para vigas metálicas usadas en estructuras y se estudia un poco más a fondo la alternativa de protección pasiva más comúnmente usada en nuestro país.

11.3. Técnicas para la recolección de información

11.3.1. Información primaria.

Al ser de entero cumplimiento para la construcción de edificaciones en Colombia, la información sobre los requisitos de protección pasiva contra incendio es investigados en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

11.3.2. Información secundaria.

Como complemento a la información primaria contenida en la norma, se opta por tener en cuenta lo contenido en normatividad internacional, artículos científicos, revistas indexadas, investigaciones realizadas en otros países, manuales y fichas técnicas de productos.

12. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente

La NSR-10 es el código de construcción por medio del cual se define a nivel nacional las especificaciones técnicas a las cuales se le debe dar cumplimiento a la hora de construir, además se define un nivel de riesgo aceptable, estableciendo así lo que está permitido y lo que no. La primera norma de sismo resistencia en el país se creó gracias al decreto de ley 1400 de 1984, con un enfoque estructural. Años después se expide bajo la Ley 400 de 1997 la norma de sismo resistencia NSR-98 en el año 1998. Actualmente la norma en vigencia es la NSR-10, pero próximamente se publicará una nueva actualización.

Bajo la Ley 400 de 1997 también fue creada la Comisión Asesora Permanente, con el fin de facilitar la interpretación y aplicación de las normas referentes a la construcción sismo resistente. Dentro de las funciones de la Comisión Asesora está el dar atención y resolución a las consultas que se envíen sobre la normatividad, también tiene la función de dirigir y vigilar las investigaciones que se realice sobre todo lo relacionado con la Ley 400 de 1997. Finalmente, la Comisión Asesora también tiene la facultad de convocar y coordinar seminarios cuya temática sea sobre las actualizaciones de las normas de sismo resistencia entre otras.

La Comisión Asesora Permanente del Régimen de Construcciones Sismo Resistentes se encuentra adscrita al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial cómo se publica en la norma NSR-10 y está compuesta por delegados y representantes del Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo Territorial, Presidente de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, representante del Ministerio de Transporte, delegado del representante legal de INGEOMINAS, delegado del presidente de la Sociedad Colombiana de Ingenieros SCI, delegado del presidente de la Sociedad Colombiana de Arquitectos - SCA, delegado del

presidente de la Asociación Colombiana de Ingeniería Estructural - ACIES y delegado del presidente de la Cámara Colombiana de la Construcción - CAMACOL.

Los aspectos técnicos y científicos del Reglamento NSR-10 fueron dirigidos por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, en cabeza de su junta directiva y asistido por los miembros del consejo directivo del comité, miembros del comité y demás profesionales e instituciones que trabajan con el comité de la AIS.

Las temáticas por tratar en la norma NSR-10 son básicamente los requisitos de carácter técnico y científico; los cuales están divididos en Títulos de la siguiente manera:

TÍTULO A.- Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente.

TÍTULO B.- Cargas.

TÍTULO C.- Concreto estructural.

TÍTULO D.- Mampostería estructural.

TÍTULO L.- Casas de uno y dos pisos.

TÍTULO F.- Estructuras metálicas.

TÍTULO G.- Estructuras de madera.

TÍTULO H.- Estudios geotécnicos.

TÍTULO I.- Supervisión técnica.

TÍTULO J.- Requisitos de protección contra el fuego en edificaciones.

TÍTULO K.- Otros requisitos complementarios.

Para el presente estudio es de total interés el contenido del Título J titulado “Requisitos de protección contra incendios en edificaciones”, el cual fue desarrollado por el Subcomité J del Comité AIS 100 de la Asociación de Ingeniería Sísmica del año 1997.

En un principio esta temática no se había incluido en el Reglamento de 1984, por tal razón su primera publicación se dio en el Reglamento NSR-98. Su primera versión estuvo inspirada en el anteproyecto de Código de Bogotá, el cual fue desarrollado para el Departamento Administrativo de Planeación del Distrito Especial de la ciudad de Bogotá, por la Universidad de los Andes, teniendo como bases algunos documentos nacionales y extranjeros.

El pasar de los años, dejó una experiencia que fue evolucionando en tal medida que terminó enriqueciendo el contenido del título, sumado a las reglamentaciones de la NFPA y el International Building Code IBC-2009; hasta llegar a la versión del Reglamento NSR-10.

El título J debe contener los requisitos mínimos de protección contra el fuego de edificaciones como se decreta en el ARTÍCULO 48 de la ley 400 socializado en la norma y este debe incluir, como mínimo, los siguientes temas:

1. Alcance y aplicabilidad de los requisitos de protección contra el fuego.
2. Las definiciones de los términos técnicos, científicos y matemáticas empleados en el Título.
3. Definición de las categorías de las edificaciones con respecto a su riesgo de combustión y mayor peligrosidad para la vida como consecuencia de un incendio.
4. Definición del procedimiento para la determinación del potencial combustible.
5. Procedimientos para establecer la resistencia requerida al fuego.
6. Todos los demás temas técnicos y científicos necesarios para cumplir el propósito de esta Ley con respecto a la protección contra el fuego en edificaciones cubiertas por el alcance de la presente Ley y sus reglamentos.

Para tal efecto se encuentra dividido de la siguiente manera:

Capítulo J.1 — Generalidades

Capítulo J.2 — Requisitos generales para protección contra incendios en las edificaciones

Capítulo J.3 — Requisitos de resistencia contra incendios en las edificaciones

Capítulo J.4 — Detección y extinción de incendios

Buscando finalmente la seguridad contra incendios, la norma en su capítulo J3 dicta la clasificación de las edificaciones en tres categorías de riesgo. La categoría en la cual se encasille la edificación depende de cuatro variables propias de cada proyecto como lo son el grupo de uso de ocupación de la edificación, el área construida, el número de pisos construidos y el potencial combustible de los materiales en ciertos casos.

- Siguiendo lo estipulado en la tabla J.1.1-1 de la NSR-10, en la cual las edificaciones se clasifican según los grupos de ocupación en una de las tres categorías de riesgo, estas se pueden categorizar de la siguiente manera:
- Categoría I: En esta categoría se encuentran las edificaciones que, por su uso, pueden tener el mayor riesgo de pérdida de vidas humanas o una alta probabilidad de combustión. Dentro de las edificaciones de esta categoría se tienen las edificaciones de almacenamiento con riesgo moderado (A-1), fabril e industrial de riesgo moderado (F-1), las institucionales de salud o incapacidad (I-2), las institucionales de seguridad pública (I-4) y las de alta peligrosidad (P). También se encuentran las bodegas, depósitos e industrias de cualquier magnitud que utilicen madera, pinturas, plásticos, algodón, combustible o explosivos de cualquier tipo. Finalmente se encuentran los edificios de más de 10 pisos que no den cumplimiento con lo establecido en la categoría 2 para edificios de más de 10 pisos.
- Categoría II: Las edificaciones clasificadas en esta categoría poseen un riesgo de nivel intermedio como lo son los edificios sin importar la ocupación que posean más de 10 pisos, que a su vez dispongan de sistemas de alarma contra incendios, visuales y

sonoros y que funcionen de manera independiente los sistemas cumpliendo con pruebas máximo cada 60 días y que también cuenten con rociadores de agua automáticos como lo exija la autoridad competente. En esta categoría también se encuentran incluidos las edificaciones institucionales de reclusión (I-1), de educación (I-3), de servicio al público (I-5), comerciales enfocados a servicios o bienes (c-1) y (C-2) respectivamente, especiales (E), lugares de reunión (L), mixtos (M), residencias multifamiliares (R-2) y hoteles (R-3). Adicionalmente, se encuentran incluidos ancianatos, bares, restaurantes, cárceles, oficinas, centros comerciales, guarderías, colegios, universidades, museos, teatros, salas de cine y salones de reunión.

- Categoría III: En esta categoría se incluyen las edificaciones con amenaza de combustión baja como lo pueden llegar a ser las residencias unifamiliares y bifamiliares (R-1); edificios para viviendas de 10 pisos o menos, los almacenamientos con riesgo bajo (A-2), las edificaciones fabriles e industriales de riesgo bajo (F-2) y en general bodegas y edificios industriales no comprendidos en la categoría I.

Tabla 1.J.1.1-1 Grupos y subgrupos de ocupación, NSR-10.

GRUPOS Y SUBGRUPOS DE OCUPACIÓN	CLASIFICACIÓN	SECCIÓN DEL REGLAMENTO
A	ALMACENAMIENTO	K.2.2
A-1	Riesgo moderado	
A-2	Riesgo bajo	
C	COMERCIAL	K.2.3
C-1	Servicios	
C-2	Bienes	
E	ESPECIALES	K.2.4
F	FABRIL E INDUSTRIAL	K.2.5

F-1	Riesgo moderado	
F-2	Riesgo bajo	
I	INSTITUCIONAL	K.2.6
I-1	Reclusión	
I-2	Salud o incapacidad	
I-3	Educación	
I-4	Seguridad pública	
I-5	Servicio público	
L	LUGARES DE REUNIÓN	K.2.7
L-1	Deportivos	
L-2	Culturales y teatros	
L-3	Sociales y recreativos	
L-4	Religiosos	
L-5	De transporte	
M	MIXTO Y OTROS	K.2.8
P	ALTA PELIGROSIDAD	K.2.9
R	RESIDENCIAL	K.2.10
R-1	Unifamiliar y bifamiliar	
R-2	Multifamiliar	
R-3	Hoteles	
T	TEMPORAL	K.2.11

Fuente: Título J, NSR-10 (COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, 2010)

Como se expresó anteriormente, teniendo en cuenta el grupo de uso, la edificación también debe clasificarse en función del área total construida, el número de pisos y el potencial combustible; por lo cual el reglamento NSR-10 presenta las siguientes tablas de clasificación.

Tabla 2. *J.3.3-1 Categorización de las edificaciones para efectos de resistencia contra el fuego de acuerdo con su uso, área construida y número de pisos, NSR-10.*

GRUPOS Y SUBGRUPOS DE OCUPACIÓN	ÁREA TOTAL CONSTRUIDA, A_T, m^2	NÚMERO DE PISOS						
		1	2	3	4	5	6	≥ 7
C-1	$A_T > 1500$	III	III	II	II	II	I	I
	$A_T < 1500$	III	III	III	II	II	II	I

C-2	$A_T > 500$	II	I	I	I	I	I	I
	$A_T < 500$			II	I	I	I	I
E	Sin límite	III	III	III	II	II	II	I
I-2, I-4	$A_T > 1000$	III	II	II	I	I	I	I
	$500 < A_T < 1000$	III	III	II	II	I	I	I
I-3	$A_T < 500$	III	III	III	II	II	II	I
	$A_T > 1000$	II	II	I	I	I	I	I
L-1, L-2, L-3, L-4	$A_T < 1000$		III	II	II	I	I	I
	$A_T > 1000$	II	I	I	I	I	I	I
L-5, I-1, I-5	$500 < A_T < 1000$	II	II	I	I	I	I	I
	$A_T < 500$	III	III	II	II	I	I	I
R-1, R-2	Unidades > 140 m^2				II	I	I	I
	Unidades ≤ 140 m^2				III	II	II	I
R-3	$A_T > 5000$	III	II	I	I	I	I	I
	$A_T < 5000$	III	II	II	II	I	I	I

Fuente: Título J, NSR-10 (COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, 2010)

Tabla 3. J.3.3-2 Categorización de las edificaciones para efectos de resistencia contra el fuego de acuerdo con su uso, densidad de carga combustible y el número de pisos, NSR-10

GRUPOS DE OCUPACIÓN DE LAS EDIFICACIONES	POTENCIAL COMBUSTIBLE C_c (MJ/m ²)	REQUIEREN PROTECCIÓN				
		NÚMERO DE PISOS				
		1	2	3	4	≥ 5
A-1 , A-2	$C_c > 8000$	II	II	I	I	I
	$4000 < C_c < 8000$	III	II	II	I	I
	$C_c < 4000$	III	III	III	II	I
F-1 , F-2	$C_c > 8000$	I	I	I	I	I
	$4000 < C_c < 8000$	II	II	I	I	I
	$2000 < C_c < 4000$	III	II	II	I	I
	$C_c < 2000$	III	III	II	II	I
P	$C_c > 8000$	I	I	I	I	I
	$4000 < C_c < 8000$	II	I	I	I	I
	$C_c < 4000$	III	II	II	I	I

Fuente: Título J, NSR-10 (COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, 2010)

No obstante, existen edificaciones que, gracias a sus características, no requieren una cuantificación de la resistencia contra el fuego. Cabe resaltar que, el hecho de no requerir una cuantificación de resistencia al fuego, no los exime de darle cumplimiento a lo establecido en el reglamento, relacionado con detección y extinción de incendios, Capítulo J4.

Con el fin de proporcionar mayor claridad sobre las edificaciones que no necesitan cuantificar su resistencia, se cita a continuación y de manera textual las exenciones establecidas por la Comisión Asesora:

“J.3.3.3.1 — Edificaciones clasificadas en el grupo de ocupación C (Comercial), de acuerdo con J.1.1.2, que no tengan más de dos (2) pisos y cuya área construida no exceda 500 m² por piso.”

“J.3.3.3.2 — Edificaciones clasificadas en el subgrupo de ocupación I-3 (Educación), que tengan un solo piso y cuya área construida no exceda 1 200 m². NSR-10 – Capítulo J.3 – Requisitos de resistencia contra incendios en las edificaciones J-14”

“J.3.3.3.3 — Edificaciones clasificadas en los subgrupos de ocupación R-1 y R-2 (Residencial), que no tengan más de tres (3) pisos, independientemente de la magnitud del área construida.”

“J.3.3.3.4 — Edificaciones clasificadas en el grupo de ocupación E (Especial), que no tengan más de dos (2) pisos”

“J.3.3.3.5 — Edificios para estacionamiento que no tengan cerramiento en por lo menos el 40 % de: a) Dos (2) de sus fachadas, para edificios con menos de 3 000 m² de área construida. b) Tres (3) de sus fachadas para edificios con área construida entre 3 000 m² y 3 750 m².”

“J.3.3.3.6 — Edificaciones clasificadas en el grupo de ocupación F (Fabril e industrial), que no contengan materiales explosivos o inflamables, que no tengan más de dos (2) pisos y cuya área construida no exceda 1000 m² por piso.”

“J.3.3.3.7 — Edificaciones clasificadas en el grupo de ocupación F (Fabril e industrial), que tengan un solo piso y con espacios vacíos de más de 10 metros a todo su alrededor, independientemente de la magnitud del área construida.”

“J.3.3.3.8 — Edificaciones con estructuras de material incombustible y que tienen una densidad de carga combustible de 250 MJ/m² o menos, independientemente de su uso y altura.”

“J.3.3.3.9 — Edificaciones clasificadas en el grupo de ocupación T (Temporal y misceláneo), cuando su uso sea estrictamente temporal.”

“J.3.3.3.10 — Las áreas máximas construidas para clasificar las edificaciones que no requieren cuantificación de la resistencia contra el fuego según los numerales J.3.3.3.1 a J.3.3.3.6, podrán aumentarse para edificios adyacentes a calles o espacios libres de más de 6.0 m de ancho, en los porcentajes del área construida presentados en la tabla J.3.3-3 por cada metro en exceso de 6. La consideración de espacios libres no incluye lotes vacantes que puedan alojar construcciones futuras.”

“J.3.3.3.11 — Los recintos de edificios con aberturas en por lo menos dos de sus muros, que representen más del 50% del área total de dichos muros no requieren protección especial contra el fuego.”

“J.3.3.3.12 — Las estructuras de cubierta de material incombustible que estén a una altura sobre el piso de 7.5m o más.”

“J.3.3.3.13 — Cuando se trate de edificios de uso mixto, se debe considerar siempre la altura total del edificio analizado y no solamente la altura destinada a un uso particular.”

Una vez dada la debida clasificación de la edificación en una de las categorías de riesgo según sus variables, se procede a determinar la resistencia al fuego requerida para cada uno de los elementos que componen la edificación. La tabla mostrada a continuación, proporciona la resistencia requerida al fuego en horas los elementos de la estructura según la NSR-10. Cabe resaltar que algunas edificaciones se encuentran clasificadas por este reglamento, como edificaciones que no requieren que sus elementos cumplan con una especificada resistencia al fuego.

Tabla 4. *J.3.4-3 Resistencia requerida al fuego normalizado NTC 1480 (ISO 834), J.3.3.1*

ELEMENTOS DE LA CONSTRUCCIÓN	CATEGORÍA SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DADA EN J.3.3.1		
	I	II	III
Muros Cortafuego	3	2 1/2	2
Muros de cerramiento de escaleras, ascensores, buitrones, ductos para basuras y corredores de evacuación	2	2	1 1/2
Muros divisorios entre unidades	2	1 1/2	1
Muros interiores no portantes	1/2	1/4	-
Columnas, vigas, viguetas, losas, y muros portantes de cualquier material, y estructuras metálicas en celosía	2	1 1/2	1
Cubiertas	1	1	1/2
Escaleras interiores no encerradas con muros	2	1 1/2	1

Fuente: Título J, NSR-10 (COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, 2010)

Cada material posee un determinado potencial combustible asociado a sus propiedades físicas y composición química; por tal razón no reaccionan de la misma manera ante una conflagración. Por ejemplo, si se analizan por unidad de área los materiales contenidos en la tabla J.3.4-1 del reglamento, se puede notar que los aceites poseen un potencial combustible demasiado elevado frente a materiales como nitratos, abonos o flores. Si el análisis se realiza por unidad masa, se

tiene por ejemplo que las bobinas de cable por metro poseen un potencial combustible notablemente elevado respecto al resto del listado.

Luego de llevado el análisis de cada uno de los elementos según la categoría de riesgo, si se evidencia que alguno de los elementos no cumple con el número de horas de resistencia ante la presencia de fuego; dicho elemento deberá ser redimensionado o protegido dependiendo el caso, con el fin de alcanzar la especificación de resistencia solicitada por el reglamento. La alternativa de protección del elemento debe cumplir como mínimo con el número de horas de resistencia requerida para dicho elemento a proteger o en su defecto y bajo análisis; el conjunto de elemento más protección debe estar calificado para tal resistencia al fuego.

Acto seguido, se debe realizar la evaluación de la provisión de resistencia contra fuego en elementos de edificaciones. La evaluación se realiza en función del tiempo equivalente, tiempo que tarda un elemento en una prueba normalizada de incendio, en alcanzar la máxima temperatura bajo un incendio real y esta evaluación se puede llevar a cabo de manera experimental o analíticamente. Si se desea determinar de manera experimental, el ensayo debe hacerse bajo lo estipulado en la norma ASTM E119. Si por el contrario la determinación se realizará de manera analítica, debe avalarse por la Comisión Asesora y esta se hará incluyendo factores como el potencial combustible, el área de piso, la superficie total expuesta, el área de ventilación, la altura de los muros, sus propiedades conductoras y demás factores que se encuentren relacionados.

El reglamento NSR-10 propone de manera alternativa, tiempos equivalentes para elementos según sea el material usado para su construcción. Los materiales contemplados para este procedimiento alternativa son el concreto, la mampostería y el acero estructural. Existen elementos que se pueden catalogar como restringidos a la expansión térmica, pero esta

restricción la deben especificar en sus diseños los respectivos diseñadores y debe estar aprobada la demostración por la Comisión Asesora Permanente. Cabe resaltar que, para que un elemento no estructural sea catalogado como una barrera cortafuego, debe cumplir con los requerimientos de la norma en su numeral J.3.4.3 y sus dilataciones con la estructura deben ser selladas debidamente con materiales resistentes al fuego.

Los elementos en concreto de una edificación que se deseen catalogar como resistentes al fuego normalizado, pueden seguir especificaciones de entidades reconocidas como por ejemplo el Comité 216 de la American Concrete Institute. Las columnas, muros, losas y vigas deberán cumplir con ciertas dimensiones, espesores o recubrimientos para resistencias iguales o superiores a una hora, dependiendo del tipo de agregado.

Los elementos de mampostería de la edificación ya sean de concreto o arcilla que se deseen catalogar como resistentes al fuego normalizado, deben cumplir con los espesores mínimos dependiendo del tipo de agregado utilizado en su fabricación.

12.1. Elementos de acero estructural

El reglamento NSR-10 es enfático en con lo relacionado al nivel de resistencia de los elementos de acero de la edificación, resaltando que “Elementos de acero estructural sin ninguna protección no poseen resistencia contra fuego de más de 15 minutos y sólo son apropiados para uso en edificaciones o recintos que no requieren de protección contra el fuego, de acuerdo con el numeral J.3.3.3. Para resistencias mayores el acero debe proveerse con productos adheridos para protección contra el fuego”. (COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, 2010)

Se debe tener en cuenta que los productos que se deseen utilizar para el cumplimiento de la protección contra fuego deben encontrarse avalados por instituciones reconocidas a nivel

internacional. Los procedimientos usados en la aplicación o utilización de los productos deben corresponder a los suministrados por los fabricantes en sus fichas técnicas o fichas de procedimientos.

13. Materiales utilizados en la protección contra fuego

Teóricamente es posible demostrar que algunos diseños estructurales pueden cumplir con los tiempos requeridos a la hora de una conflagración, puesto que muchos materiales pueden poseer un comportamiento adecuado bajo dicha circunstancia. No obstante, dependiendo del tipo de uso que tenga la edificación, las exigencias se incrementan por norma cada vez más, haciendo que los tiempos requeridos se vean notablemente elevados y es por esta razón que los diseñadores deben contemplar el uso de protecciones adicionales con el fin de aumentar la vida útil de sus elementos, brindándoles la posibilidad de soportar altas temperaturas, con una afectación mínima y de esta manera poder dar cumplimiento al reglamento. Los materiales o alternativas comúnmente usadas para tal fin suelen ser el yeso, los paneles de lana mineral, la mampostería, el concreto, los materiales aplicados por pulverización y los recubrimientos intumescentes. Estos productos suelen ser de bajo costo y presentan buen aislamiento térmico a altas temperaturas, manteniendo de esta manera la integridad de la estructura durante el tiempo que dure el incendio.

Estos materiales trabajan en protección de dos modos diferentes. El primero de éstos es proporcionado por el efecto de refrigeración otorgado a la estructura, porque el agua se retira de la estructura (física o químicamente) y se evapora tan pronto como el fuego avanza. Una vez que el agua que tiene ha sido convertida en vapor, el producto empieza a actuar, entonces, como un aislante térmico. Minerales de baja densidad y agregados sintéticos son utilizados en estos productos, permitiendo la liberación de vapor con facilidad, mientras que el uso de materiales más densos podría impedir el escape de vapor (GERDAU CORSA, 2006)

13.1. El yeso

El yeso es un material compuesto por un sulfato de calcio combinado con agua, que se extrae naturalmente de algunas rocas y es muy usado en el mundo de la construcción. El yeso al ser

expuesto al fuego sufre un proceso conocido como calcinación, en el cual el agua del material es liberada en forma de vapor, pero el yeso actúa como una barrera térmica para sí mismo, impidiendo que se alcancen temperaturas no muy superiores al del punto de ebullición del agua, haciendo que los cristales de yeso posteriormente actúen como barrera física ante el fuego.

Las presentaciones más comunes de yeso en el mercado a la hora de ser utilizado como barrera protectora del fuego son las placas rígidas prefabricadas y la pasta de yeso. Las láminas de yeso al ser fabricadas deben estar avaladas por el fabricante como láminas del tipo X o RF y deben ser certificados por una prueba independiente a través de una agencia certificadora para satisfacer los requisitos de rendimiento de incendios prescritos en la especificación estándar ASTM C 1396 para yeso y productos de cartón.

La pasta a base de yeso consiste en yeso calcinado combinado con vermiculita liviana y agregados de perlita. La vermiculita y la perlita son materiales que experimentan grandes expansiones volumétricas en presencia de altas temperaturas generando. Este aislamiento, combinado con la habilidad natural del yeso para crear una barrera de vapor, hace que las pastas a base de yeso sean materiales de protección contra incendios muy eficientes. (INSTITUTO AMERICANO DE CONSTRUCCIÓN EN ACERO (AISC), 2003)

13.2. Paneles de lana mineral

A partir de la roca volcánica mediante un proceso de hilado y compresión junto con resinas y fibras adicionales; son creados los tableros de lana mineral o lana de roca. Las láminas de lana natural poseen una notable resistencia al fuego, por esta razón se vienen utilizando como un excelente aislante térmico, y como aislante frente al fuego y a su vez como aislante acústico. Por su estructura interna de tipo fibroso y multidireccional, apenas contiene aire en su interior. Son usadas en el sector residencial pero también en la construcción de naves industriales gracias a la

variedad de tamaños y acabados superficiales que se encuentran disponibles por parte de los fabricantes. La ASTM C612 especifica los límites máximos de temperatura de uso, la densidad y las características térmicas y físicas relevantes de los tipos de placa estándar. (INSTITUTO AMERICANO DE CONSTRUCCIÓN EN ACERO (AISC), 2003).

13.3. Mampostería

Los bloques de ladrillos ya sean de arcilla o bloques estructurales han sido utilizados como barrera para proteger columnas de acero ante los efectos de un incendio, gracias a su gran capacidad de disipación de energía térmica. Su efectividad como aislante térmico, no depende necesariamente del tipo de ladrillo o bloque a usar, puesto que pueden ser usados bloques de arcilla, concreto, con perforaciones o macizos; su efectividad está más ligada a su densidad, su tipo de agregado, el espesor, el mortero con que fue pegado o el contenido de humedad de la mampostería. Sus resultados ante una conflagración pueden ser conocidos mediante pruebas de laboratorio.

13.4. Concreto

Gracias a su baja conductividad térmica, el concreto es un material empleado comúnmente como barrera contra incendio, ya que retarda notablemente la transferencia de calor entre el medio y el elemento que se desea proteger; esto se logra al emplearlo como recubrimiento. No obstante, su efectividad no está únicamente ligada al utilizarse como recubrimiento, el concreto también puede ser empleado como relleno de elementos con secciones tubulares de acero, actuando como disipador de energía al interior de la sección.

Un factor determinante de su efectividad como material de protección, es el tipo de agregado utilizado al momento de su elaboración. El contenido de humedad que posea el concreto, al igual que sucede con el yeso, actúa contra el aumento de la temperatura al emitir vapor. La variable de

mayor importancia para determinar el efecto de aislante térmico es el espesor de la barrera de concreto usado (SCHULTZ, 1985)

13.5. Materiales aplicados por pulverización

Los materiales aplicados por pulverización, mejor conocidos como SFRM (Spray-applied Fire-Resistive Materials), poseen dos categorías las cuales son cementosos o fibrosos. Los materiales cementosos contienen mineral de yeso que aporta protección al fuego y normalmente es combinado con agregados de vermiculita o agregados de perlita, dicha mezcla se dispone en una tolva y se aplica por pulverización, sin embargo, también puede ser aplicado con espátula. Los materiales fibrosos están compuestos por fibras de lana mineral y un material aglutinante; logrando un comportamiento incombustible y ligero. Sin importar el tipo de material SFRM, adicionalmente se utiliza un cemento de tipo Portland o una base de yeso que sirven para brindarle mayor cohesión al material aislante.

13.6. Recubrimientos intumescentes

Los recubrimientos intumescentes están compuestos por capas delgadas aplicadas a la estructura que reaccionan en presencia de altas temperaturas. Como su nombre lo indica, al reaccionar a las altas temperaturas, se genera una hinchazón, en forma de espuma aislante y adherente con una muy baja conductividad térmica que se ve reflejado en el retardo del aumento de la temperatura en el material, en este caso acero.

Los revestimientos se colocan de manera similar a la pintura y se pueden aplicar con rodillos, brochas o equipos de pulverización. Gracias a su modo de aplicación, es la única manera de reflejar las verdaderas formas de la estructura metálica y permite mejor considerablemente el acabado de la estructura de acero sin que se vea afectada su belleza y su nivel requerido de resistencia al fuego.

14. Prueba estándar de fuego

Como es sabido, el término de “resistencia al fuego” está asociado a la habilidad de un elemento contractivo en continuar a desempeñar su función como barrera o el componente estructural durante el evento de un incendio.

La resistencia al fuego normalizado es el resultado del ensayo denominado prueba estándar de fuego. La prueba estándar de fuego fue creada bajo la necesidad de un método estandarizado que permitiera evaluar de manera veraz y cuantitativa, la resistencia al fuego de los elementos usados en el mundo de la construcción. Este concepto fue inicialmente introducido en 1916 y fue basado en observaciones de temperaturas de incendios en madera usados en los primeros ensayos. Mediante la prueba estándar de fuego, bajo temperaturas y tiempos controlados, se logra comparar el comportamiento y diferentes resultados entre elementos y materiales en uso o bajo investigación y desarrollo.

Actualmente las pruebas ASTM E119, ANSI/UL 263 e ISO 834 (en Colombia NTC 1480) son los procedimientos más conocidos para la determinación de la resistencia al fuego de los materiales y elementos de construcción, tales como: paredes y particiones, columnas, vigas, ensambles de techo y piso, entre otros. Estos procedimientos están basados en una curva temperatura vs tiempo previamente establecida, las curvas pruebas ISO 834 y ASTM E119 son bastante parecidas, en la figura se muestran la variación de la temperatura en función del tiempo para estas dos pruebas.

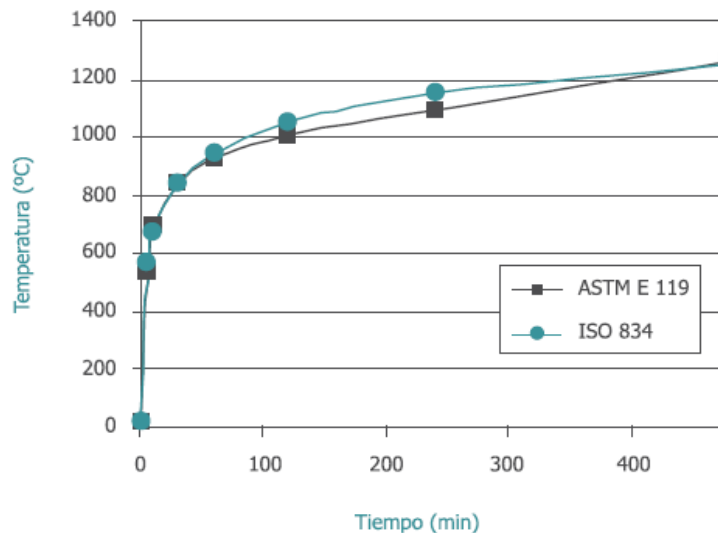


Ilustración 1. Curvas de calentamiento para el incendio estándar. Fuente: (GERDAU CORSA, 2006)

La curva de incendio predeterminada descrita por la norma ISO 834 es dada por la ecuación:

$$T = 345 \log \log (8t + 1) + T_0 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde T es la temperatura de los gases ($^{\circ}\text{C}$) t es el tiempo (min) y T_0 es la temperatura inicial en el instante donde T_0 , generalmente admitida como 20°C .

En el ensayo estandarizado, la curva tiempo-temperatura es afectada a través de la programación de la temperatura del horno de ensayo por medio del control de la velocidad del suministro de combustible (aceite o gas). no existen dos hornos capaces de proporcionar la misma condición de exposición ya que la temperatura medida se refiere a los gases dentro del horno, la exposición a este incendio es sensible a las propiedades físicas de las paredes de los hornos. Si existe una baja inercia térmica, entonces la temperatura superficial crecerá rápidamente, resultando una exposición al fuego mucho más severa de la que se observa en un horno idéntico cuyas paredes son construidas a partir de un material más denso.

Es normal equiparar la resistencia al fuego de un elemento de estructura y tiempo de falla en un ensayo predeterminado, aunque un incendio real puede ser muy diferente que el del ensayo.

El número total de ensayos varía de un país a otro, pero generalmente es uno o dos para cada tipo de componente. Para columnas, vigas y estructuras se considera que el colapso es atacado cuando éstos no pueden soportar más carga de la prescrita en el proyecto, o si los componentes fueran probados sin carga, se supone que el colapso ocurriría cuando la temperatura medida en el acero exceda un valor crítico definido. Es por eso, que la resistencia al fuego es siempre dependiente de las características térmicas de un material dado utilizado aisladamente.

15. El acero y el fuego

Las propiedades de los materiales pueden cambiar en diferente manera dependiendo de las características del medio donde estén contenidos, este es el caso del acero y el fuego. El principal problema con el comportamiento del acero se da con el aumento considerable de temperatura, puesto que sus propiedades se reducen considerablemente, mostrando cambios muy marcados en su módulo de elasticidad E , Esfuerzo de Fluencia F_y y Esfuerzo de Rotura F_u . El anterior fenómeno se da a temperaturas mayores a los 550°C , el acero, inmerso en un ambiente de temperatura homogénea y por debajo de la carga total de proyecto (condiciones muy raramente verificadas en la práctica), comenzará a perder su margen de seguridad definida en el proyecto, iniciando su proceso de pandeo local. De esta manera el comportamiento y la integridad del conjunto podrían estar comprometidos.

Generalmente, el acero expuesto a un incendio se da por la quema de materiales celulósicos como el papel o telas; eventos comunes en incendios de edificaciones comerciales o de servicios. Sin embargo, cuando el incendio sea generado por la quema de compuestos petroquímicos, por ejemplo, la gasolina, la conflagración es mucho más intensa, liberándose de manera súbita grandes cantidades de energía, haciendo de este tipo de incendio un caso mucho más complejo.

Teniendo en cuenta lo anterior, el tipo de incendio un factor determinante del tipo de protección a usar, sumado al factor d forma, que es la relación entre el perímetro expuesto del acero por el área de sección transversal del componente. Las secciones de acero más pesadas o de mayor espesor, requieren en teoría menor protección adicional de la sección, comparado con secciones de acero más ligeras bajo las mismas condiciones de incendio.

Con el fin de disminuir el diferencial de velocidad de transferencia de calor, los elementos en acero son comúnmente protegidos con productos catalogados como aislantes, resistentes a la abrasión causada por los gases calientes y la acción directa del fuego.

16. Protección contra fuego

Son tres los factores que hace posible la aparición de un incendio gracias a su combinación, desencadenando todo el proceso. Estos factores son: Un agente combustible, un agente oxidante y una fuente de calor.

El proceso de la combustión es una reacción de liberación de calor entre el oxígeno del aire y ciertas sustancias sólidas, líquidas y gaseosas; que hacen el papel de combustible. Bajo la intervención de la fuente de calor es que se hace posible que los anteriores agentes entren en el proceso de combustión, llegando así a la temperatura de inflamación.



Ilustración 2. *Tiángulo de la combustión*. Fuente: (GERDAU CORSA, 2006)

Son varios los factores que influyen en la intensidad y la duración del fuego. Algunos de ellos son la carga de incendio (cantidad y tipo del material combustible) y su distribución en el edificio, la ventilación del compartimento, propiedades térmicas de pisos y paredes, sistemas de detección de incendios, puntos de suministro de agua, disponibilidad de extintores adecuados, etc.

Un incendio pasa, de manera general, por una fase de desenvolvimiento con una gran liberación de calor, seguida por la fase de regresión, cuando la temperatura vuelve a bajar. De

acuerdo con el modo de inflamación en la naturaleza del combustible, el desenvolvimiento será más o menos rápido (GERDAU CORSA, 2006)

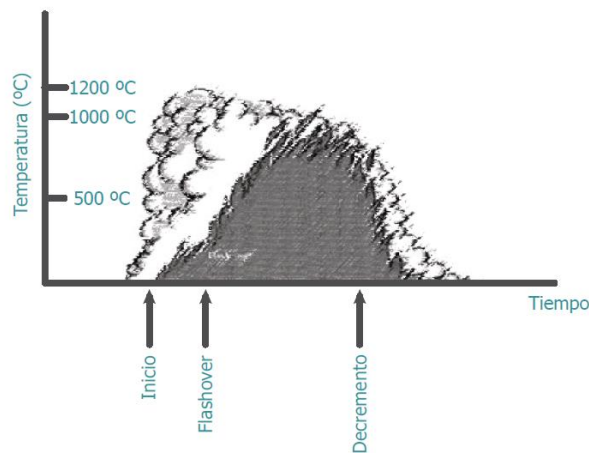


Ilustración 3. *Secuencia de eventos en un incendio.* Fuente: (GERDAU CORSA, 2006)

La principal característica de un incendio, con respecto al estudio de estructuras, es una curva que proporciona la temperatura de dos gases en función de la progresión del incendio. Esta curva generalmente representa tres regiones distintas (GERDAU CORSA, 2006)

1. El periodo de iniciación, en el cual la temperatura media del compartimento es relativamente baja y el fuego está localizado próximo a su origen.
2. La etapa del incendio totalmente desenvuelto, durante el cual todos los combustibles existentes en el compartimento, que se están quemando reconocen todo el volumen del ambiente (conocido como flashover ó inflamación generalizada).
3. El periodo de decremento, conocido por algunos investigadores como la etapa del incendio donde la temperatura media cae un 80% de su valor más alto.

La ventilación del lugar es uno de los factores que poseen también gran incidencia en la carga de incendio. Los primeros ensayos que llevaron a esta correlación se llevaron a cabo en Japón en

los años 40, donde midieron la velocidad de quema de los volúmenes estandarizados de madera en compartimentos de diferentes dimensiones y aberturas de ventilación.

La velocidad de quema se muestra muy dependiente del tamaño y forma de la abertura de ventilación, existiendo una fuerte correlación de tipo.

$$m = 5.5 A_w * H^{0.5} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde m es la velocidad de quema del combustible (kg/min), AW y H son, respectivamente el área (cm²) y la altura (H) de la abertura de ventilación.

La carga de incendio corresponde a la cantidad de material combustible disponible en el compartimento, y se expresa como la masa de madera térmicamente equivalente a la suma de todo el material combustible existente en el compartimento estudiado por área de piso (kg de madera/m²), o en unidades del sistema internacional, en MJ/m² en relación al área total (o solamente al área de piso) (GERDAU CORSA, 2006)

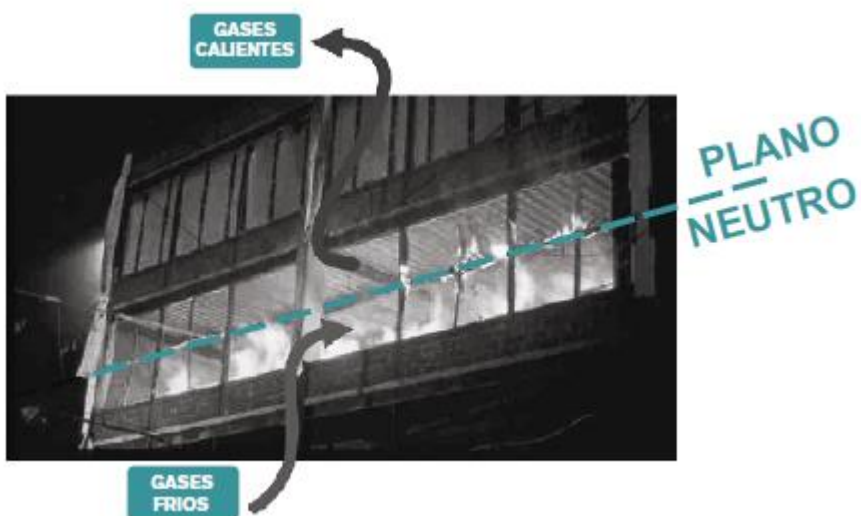


Ilustración 4. Ventilación durante el incendio. Fuente: (GERDAU CORSA, 2006)

La carga de incendio del ambiente está dada por

$$q = \frac{\sum m_j H_j}{A_t} \quad \text{Ecuación 3}$$

donde m_j , es la masa total de cada componente de carga de incendio, H_j corresponde al poder calorífico específico de cada componente de carga de incendio (MJ/kg) y A_t es el área total, incluyendo ventanales y aberturas.

El concepto fundamental que soporta los métodos de laboratorios desenvueltos para la previsión de la estabilidad estructural en situación de incendio es el que todos los materiales estructurales pierden, gradualmente, la resistencia y la rigidez cuando están sometidos a altas temperaturas que pueden ser atacadas en un incendio fuera de control.

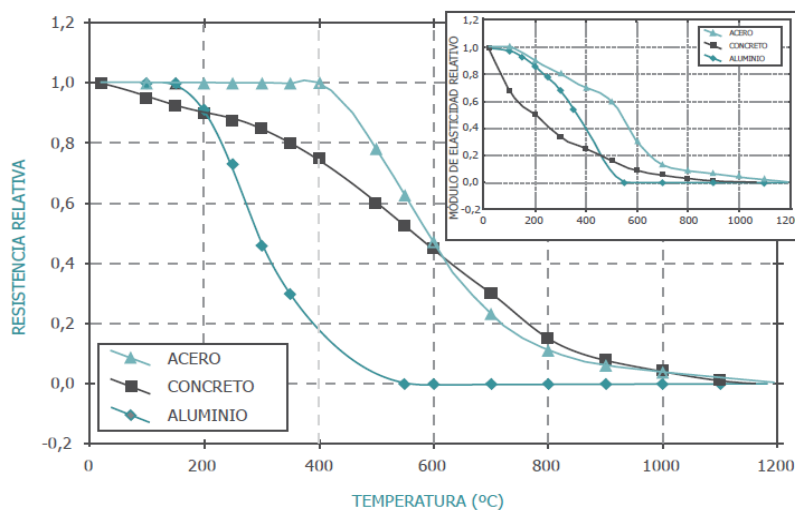


Ilustración 5. Resistencia relativa de diferentes materiales en función de temperatura.
Fuente: (GERDAU CORSA, 2006)

Para columnas, vigas y estructuras en general, el colapso ocurre cuando una temperatura límite es atacada, sobre la acción de un ensayo normalizado. Esta temperatura límite es conocida como temperatura crítica.

Los valores de temperatura crítica para las estructuras en acero son muy dependientes del nivel de cargas efectivamente aplicadas a las condiciones de contorno de componentes estructurales. Los ensayos estandarizados, internacionales, de resistencia al fuego son efectuados,

tradicionalmente, con el componente totalmente cargado conforme a proyecto. Esto eleva las temperaturas críticas en una faja de 450 °C - 650 °C.

16.1. Factor de forma

La resistencia al fuego se expresa en unidades de tiempo. Uno de los factores que contribuyen para la resistencia al fuego y la velocidad con que aumenta la temperatura el componente, es el tiempo transcurrido para alcanzar la temperatura de colapso, también llamada temperatura crítica. La velocidad de calefacción está en función de las dimensiones de la sección del perfil.

Una sección de poca esbeltez, de gran masa, se calentará más lentamente que una sección esbelta, por esta razón, una sección pesada tendrá una mayor resistencia al fuego.

Este efecto es cuantificado por el llamado factor de forma, que corresponde a la razón del perímetro calentado (H_p) sobre el área de la sección transversal (A). El factor de forma puede tomar distintos valores para un mismo perfil.

Si se analiza un perfil, su factor de forma está en función del tipo de perfil y de cómo sea protegido el mismo. Por ejemplo, si se analiza un perfil W 460x52, este puede presentar factores de forma como los mostrados a continuación (GERDAU CORSA, 2006)

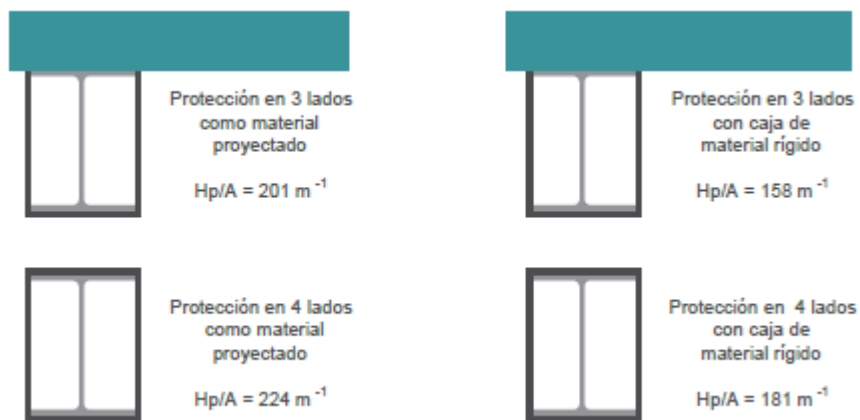


Ilustración 6. Factores de forma para un perfil W460*52. Fuente: (GERDAU CORSA, 2006)

17. Protección para vigas

Al desear proteger contra el fuego este elemento de la estructura y así poder garantizar la resistencia al fuego requerida, se debe evaluar la posibilidad de generar dicha resistencia mediante la protección individual de cada una de las vigas o viguetas o mediante el suministro de una barrera térmica mediante cielorrasos con materiales resistentes al fuego, para proteger las vigas en conjunto. El costo de proporcionar un cielorraso debe ser comparado cuidadosamente con el costo de brindar protección individual a los miembros.

Si se compara con los sistemas de protección para columnas, los métodos analíticos para calcular el espesor de la protección no son tan comunes en la literatura. Tanto la protección individual en forma de cajón para vigas y viguetas y la protección mediante cielorraso no es posible ser calculada analíticamente su diseño normalmente se basa en resultados de pruebas de laboratorio con ensamblajes completos.

17.1. Protección en conjunto mediante cielorraso

Los sistemas de cielorraso con clasificación de protección contra incendios protegen la estructura de las temperaturas elevadas al crear una barrera protectora debajo la construcción de piso o cubierta protegiendo la totalidad de las vigas y viguetas. La construcción de esta envoltura consiste comúnmente en unir una capa horizontal de paneles de yeso, tableros de lana mineral, o malla con pasta de yeso en la parte inferior de la estructura. Los aspectos importantes para cumplir con el correcto ensamble deben ser cumplidos tal y como se encuentran en las especificaciones de los fabricantes, para garantizar el óptimo desempeño de esta barrera contra el fuego. Los detalles para los sistemas de cielorraso con calificación de fuego pueden incluir:

1. Proteger las penetraciones de iluminación con paneles de yeso o material acústico.
2. Limitar el área de penetraciones para las lámparas y ductos.

3. Requerir ductos protegidos.
4. Suministro de recubrimiento de teflón para el cableado en el cielorraso.
5. Construir miembros de soporte adicionales en los bordes del cielorraso.
6. Es importante especificar los perfiles del entramado, cables de suspensión, tipos de tornillo y las separaciones máximas de estos elementos.
7. Especificar las demás condiciones que establezca el diseño de laboratorio (INSTITUTO AMERICANO DE CONSTRUCCIÓN EN ACERO (AISC), 2003)

17.2. Protección individual de vigas

Los sistemas de protección individual difieren de los sistemas de cielorraso en que preservan la integridad de la estructura al proteger elementos específicos del sistema estructural. Los dos tipos principales de sistemas de protección individual son los gabinetes aislantes de vigas y los revestimientos protectores de aplicación directa. Los sistemas de gabinetes con clasificación contra incendios están contruidos generalmente con tableros de lana mineral, malla con pasta de yeso, o paneles de yeso. Los gabinetes de vigas aislantes a menudo se usan donde la viga sobresale en el espacio arquitectónico o donde la estética del elemento es importante. (Rondón, 2018)

Los revestimientos protectores de aplicación directa incluyen SFRM y recubrimientos de pintura intumescente. En lugares donde el elemento se encuentra de manera tal que la estética no es una preocupación principal, el SFRM es la opción más económica. Los recubrimientos intumescentes pueden usarse cuando la estética es de cuidado o en ubicaciones exteriores.

Por lo anterior, generalmente para darle protección a vigas de manera individual se utilizan materiales como el concreto y las pinturas intumescentes, gracias a su versatilidad para cumplir con el objetivo. Se debe tener en cuenta que el reglamento NSR-10 es enfático en su numeral

J.3.5.4 que “Elementos de acero estructural sin ninguna protección no poseen resistencia contra fuego de más de 15 minutos y sólo son apropiados para uso en edificaciones o recintos que no requieren de protección contra el fuego, de acuerdo con el numeral J.3.3.3. Para resistencias mayores el acero debe proveerse con productos adheridos para protección contra el fuego.” Finalmente cabe resaltar que los productos utilizados para la protección contra incendio para elementos de acero estructural deben estar avalados por un ente de reconocimiento internacional y su uso debe hacerse de acuerdo con lo indicado por el fabricante de este.

17.2.1. Productos más utilizados.

17.2.1.1. Protección con concreto.

La resistencia contra el fuego necesaria por una viga de acero estructural puede lograrse con recubrimientos de concreto vaciado o placas de concreto prefabricadas. El valor de la resistencia al fuego, en minutos y con humedad equilibrada puede calcularse mediante la siguiente expresión.

$$R = R_0(1 + 0.03H) \quad \text{Ecuación 4}$$

donde R_0 es la resistencia al fuego en minutos sin contenido de humedad y H es el contenido de humedad de equilibrio de concreto por volumen.

La resistencia al fuego R_0 , en minutos, puede calcularse bajo la siguiente expresión, si el concreto no posee contenido de humedad. (J.3.5.4.3 norma)

$$R_0 = 14.74 \left(\frac{W}{P}\right)^{0.7} + 0.552 \left(\frac{e^{1.6}}{k^{0.2}}\right) \left[1 + 6.085 * 10^{-5} \left(\frac{T_a}{d_c} C_c e(L + e)\right)^{0.8}\right] \quad \text{Ecuación 5}$$

donde:

W = peso promedio de la columna de acero estructural, por unidad de longitud (N/m).

P = perímetro calentado de la columna de acero (mm).

e = espesor del recubrimiento de concreto (mm).

k_c = conductividad térmica del concreto a temperatura ambiente (J/h/m/°C).

T_a = capacidad térmica del acero de la columna = 46,975 x W (J/h/m/°C).

d_c = densidad del concreto (kg./m³).

C_c = calor específico del concreto a temperatura ambiente (J/(N. oC)

L = dimensión interior de un lado del cajón cuadrado de concreto que protege la columna de acero (mm).

Dado el caso que no se cuente con la información de las propiedades térmicas del concreto a utilizar, la norma NSR-10 provee valores específicos a usar en su tabla J.3.5.9

Tabla 5. *Propiedades térmicas del concreto*

PROPIEDAD	PESO DEL CONCRETO	
	NORMAL	LIVIANO
Conductividad térmica, k_c , W/m/K	1.644	0.606
Calor específico C_c , J/kg/K	837.4	837.4
Densidad, d_c , kg/m ³	2400	1760
Contenido de humedad de equilibrio por unidad de volumen, H , %	4	5

Fuente: Título J, NSR-10 (COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, 2010)

Se puede dar el caso en que la sección del elemento de acero sea hueca y es posible rellenarlo de concreto para que actúe como disipador de energía. Al hacerlo, las paredes del perfil deben estar debidamente perforadas, con el fin de posibilitar la salida de los gases producto de la evaporación del contenido de humedad u otra sustancia que los pueda emitir. El numeral J.3.5.4.6 nos recomienda que “Los agujeros no deben tener un diámetro inferior a 3.1 mm, ni superior a 13 mm, y deben estar separados a distancias que no excedan 500 mm. Para evitar la

corrosión del tubo los agujeros deben sellarse con un material impermeable pero que se desprenda cuando se le someta a presión desde el interior.”

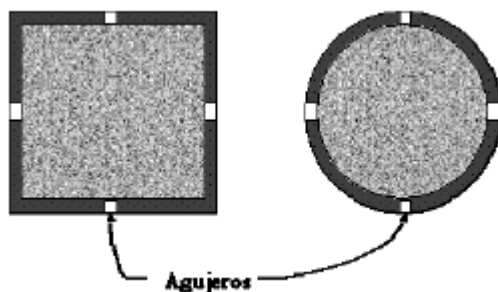


Ilustración 7. Esquema de perforaciones de las secciones de acero huecas con relleno de concreto.
Fuente: (COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, 2010)

17.2.1.2. Protección con morteros.

Existen diversas soluciones de aplicación de morteros, ya sea tradicionales o con aditivos (como perlita o vermiculita), que se aplican siguiendo el contorno de los perfiles que hay que proteger y que mejoran sensiblemente su resistencia al fuego.

Debido al riesgo para la salud, en muchos países ya está prohibido el uso del asbesto, que se aplicó ampliamente a mediados del siglo pasado, pero que terminó remplazado por el mortero. En el caso de aplicaciones tradicionales, se deben considerar mallas o elementos de anclaje mecánico que mejoren la adherencia entre el mortero y el acero. También se aplica en forma de aerosol o mortero proyectado. El espesor del recubrimiento dependerá de las características del mortero que se va a utilizar y de la resistencia al fuego requerida para el elemento estructural. Como generalmente es lanzado, su acabado es rugoso y su apariencia final no es la más deseada. (ZAFRA, 2018)

17.2.1.3. Protección con pinturas intumescentes.

- Para las estructuras basadas en perfiles de acero, las pinturas terminan siendo el principal medio de protección. Las pinturas son básicamente suspensiones homogéneas de partículas sólidas llamadas pigmentos, que se encuentran dispersas en un líquido compuesto por resina y un solvente; adicionalmente y en menores proporciones se le agregan aditivos.
- Resina: Es la formadora de la película propiamente dicha, también llamada de vehículo (no volátil). En ausencia de resina, todos los demás componentes de una pintura no tendrían adherencia al sustrato.
- Pigmentos: Los pigmentos pueden ser orgánicos e inorgánicos finamente divididos. En suspensión una pintura líquida, son aglomerados por la resina después de secarse, formando una capa uniforme sobre el sustrato. Los pigmentos promueven un color opaco, cohesión e inhibición del proceso corrosivo, y también, la consistencia, la dureza y resistencia de la película.
- Solventes: Los solventes tienen la finalidad de disolver la resina y, por la disminución de viscosidad, facilitar la aplicación de la pintura. Los solventes más comunes utilizados en pinturas son los líquidos orgánicos y el agua.

Los ligantes más comunes son las resinas y los aceites, pero, también pueden ser inorgánicos, como los silicatos solubles. Ellos tienen la función de envolver las partículas de pigmento y las mantiene unidas entre sí y el sustrato. La resina proporciona impermeabilidad, continuidad y flexibilidad a la pintura, además de adherencia entre ésta y el sustrato. Las resinas se solidifican a través de simples evaporaciones del solvente o por la polimerización, con o sin la intervención de oxígeno de aire.

En algunos casos, la resina es frágil y no posee buena adherencia. En estos casos se adicionan los llamados plastificantes, que, no son volátiles y permanecen en una película después de secarse.

18. Recubrimientos intumescentes

Los recubrimientos intumescentes son películas químicas finas que incluyen una mezcla de aglutinantes, resinas, cerámica refractaria y rellenos. Estas películas se expanden a elevadas temperaturas y forman una duradera y adherente capa de espuma celular resistente al fuego. La capa de espuma actúa como un disipador de calor apreciable durante la intumescencia, y luego, como un aislante razonable, le proporciona a la película calidades estéticas deseadas, a la vez que brinda protección contra la humedad, la abrasión y los productos químicos. Los revestimientos se ponen de manera similar a la pintura, y pueden aplicarse con rodillos, pinceles o equipo de pulverización. Algunas aplicaciones requieren el uso de una malla de refuerzo de fibra de vidrio entre capas de recubrimientos intumescentes. El espesor del revestimiento puede ser variable y tener clasificaciones de resistencia al fuego de hasta tres horas. (ZAFRA, 2018)

Una alternativa de recubrimiento intumescente es la pintura intumescente. Una de las características muy valorada por los arquitectos es mantener una buena apariencia y muchas veces un elemento protegido, ya sea por cemento, yeso, etc., pierde la estética de un elemento de acero. Además, no se puede olvidar las uniones de acero los cuales presentan generalmente un problema de continuidad de las protecciones, por lo cual las zonas de nudos necesitan un tratamiento especial.

Comúnmente se confunde a las pinturas intumescentes con las pinturas ignífugas, pero ellas son totalmente distintas. La principal diferencia es que las pinturas ignífugas se ocupan para proteger elementos inflamables, como la madera, formando una película estanca sobre el material aislándolo de las llamas de producir gases no inflamables que retardan la pirolisis del material. En cambio, las pinturas intumescentes se ocupan sobre sustratos incombustibles, como el acero, evitando que alcance su temperatura crítica. (PAILLALEF, 2005)

Como se mencionó anteriormente, las materias primas que componen las pinturas intumescentes se basan en una matriz ligante, una resina o emulsiones. Adicionalmente, una fuente de ácido (poli-fosfato de amonio), una de carbón (poli-alcohol), un agente propelente (melamina) y una sal metálica (dióxido de titanio) son necesario para obtener la espuma aislante (PAILLALEF, 2005)

Un esquema explicativo de la composición de la pintura intumescente es el siguiente.

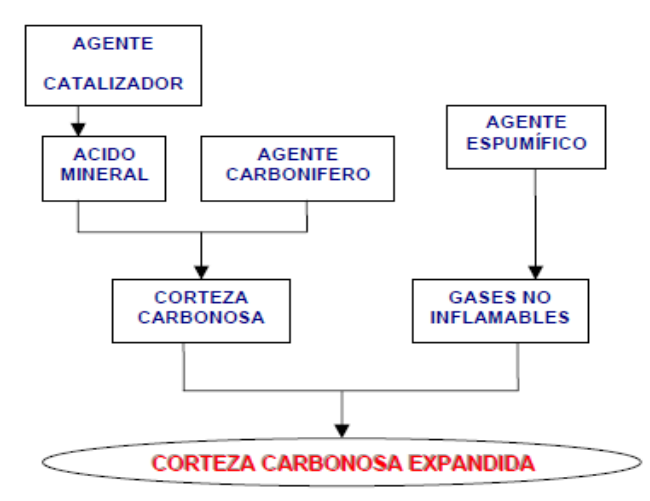


Ilustración 8. Esquema explicativo de la pintura intumescente. Fuente: (PAILLALEF, 2005)

- Catalizadores: Generalmente, los fosfatos de amonio y los fosfatos de melamina. Dichos fosfatos se descomponen con la temperatura, produciendo ácido fosfórico y amoníaco.
- Agente carbonífero: El agente carbonífero reacciona con el ácido fosfórico perdiendo agua y transformándose en una estructura carbonosa que puede ser expandida antes de rigidizarse.
- Agente espumificante o intumescente: Es el agente principal. Para que la intumescencia sea exitosa, se debe producir el reblandamiento del material ligante y la liberación del ácido fosfórico de la corteza carbonosa en estado plástico, antes de que

los gases del agente espumificante sean liberados y dichos gases deban ser liberados antes que la corteza carbonosa se solidifique. Durante esta reacción se liberan varios gases y cada uno cumple una función, estos son:

1. El vapor de agua
 - a) Enfriar la corteza carbonosa absorbiendo el calor.
 - b) Reducir la concentración de oxígeno alrededor de la estructura protegida, ayudando a disminuir la combustión.
2. El amoníaco
 - a) Hinchar la corteza carbonosa.
 - b) Desplazar el oxígeno del aire.
3. El nitrógeno cumple la función:
 - a. Ayuda al proceso de fosforilación catalizando el proceso.
 - b. Disminuye la temperatura de descomposición de los carbohidratos aumentando la producción de corteza carbonosa y reduciendo la producción de gases inflamables provenientes de los carbohidratos.
 - Ligante: Se ocupan elementos incombustibles y que presenten una temperatura de ablandamiento compatible con las reacciones químicas que ocurren en la reacción. Entre ellos se pueden nombrar las resinas termoplásticas, resinas epóxicas y caucho clorado (PAILLALEF, 2005)

18.1. Estructura de un sistema de protección intumescente

En general el producto intumescente está compuesto por tres capas: un imprimante, una pintura intumescente y un revestimiento de terminación. Estas capas constan de lo siguiente:

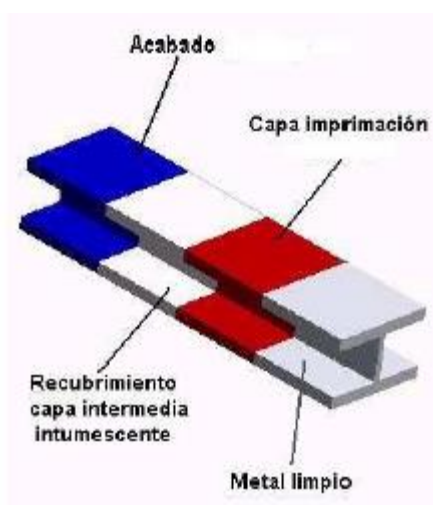


Ilustración 9. Estructura intumescente. Fuente: (PAILLALEF, 2005)

La estructura una vez limpia de grasas, polvo y materiales ajenos a la estructura, se aplica directamente el imprimante, el cual usualmente es un anticorrosivo. Esta capa debe ser inhibidora de la corrosión y además debe ser compatible con los pigmentos intumescentes, ya que en caso de incendio esta capa entraría en reacción química con el calor y por lo tanto disminuirá la adherencia con la estructura, lo que llevará a un posible desprendimiento de la protección (PAILLALEF, 2005)

Posteriormente se aplica la pintura intumescente, el cual es el encargado de la protección. Este material reacciona con el calor por hinchamiento hasta más de 50 veces su espesor original (dependiendo del fabricante), para producir una capa carbonosa la cual actúa como aislante para proteger el sustrato. Por experimentaciones de los fabricantes, se estima que la pintura intumescente comienza a hincharse entre los 200°C y 300°C. Cabe resaltar que, el número de micras que se debe colocar de este producto, dependerá de la masividad del elemento a proteger y según el factor de resistencia del fuego (F) requerido (PAILLALEF, 2005)

Finalmente se recomienda aplicar un revestimiento sellante o revestimiento de terminación, donde su principal objetivo es proteger la pintura intumescente de la degradación del medio

ambiente, como son la radiación ultravioleta y el más importante es la humedad excesiva, entre otro. No debe presentar pigmentos intumescentes, pero sí puede tener pigmentos de color para dar un carácter decorativo (PAILLALEF, 2005)

18.2. Cálculo del espesor del revestimiento

Una vez que los requerimientos de resistencia al fuego para el edificio sean conocidos siguiendo los parámetros del reglamento NSR-10, el espesor de la pintura puede ser determinado. Los espesores de la pintura intumescente pueden ser obtenidos de las fichas técnicas del fabricante para cada resistencia al fuego.

Con el fin de determinar el correcto espesor de pintura intumescente requerida para una específica resistencia al fuego, se debe contar con la siguiente información:

- Período de resistencia.
- Los planos deben indicar claramente los elementos que deben protegerse y la extensión de la protección.
- Sección, tamaño y peso de los elementos de acero.

Con esta información será posible determinar el espesor del revestimiento o pintura intumescente obtenidos de las fichas técnicas del fabricante.

La resistencia al fuego de un elemento de acero protegido, para este caso una viga, es directamente proporcional al espesor de la pintura intumescente e inversamente proporcional a la masividad. Por esta razón, para poder diseñar un sistema protector intumescente son necesario dos parámetros, los cuales son: factor de forma o masividad del elemento y la resistencia al fuego que se desee alcanzar. De esta manera se ven enlazados íntimamente ligados dos de los conceptos vistos anteriormente.

18.3. Aplicación de la pintura intumescente

En Colombia está tomando cada vez más fuerza el uso de las pinturas intumescentes como protección pasiva para estructuras en acero. Lamentablemente, en ocasiones, a causa del desconocimiento o seguimiento de la actividad, dicha protección termine siendo instalada de manera errónea, ocasionando resultados no deseados a l momento de actuar frente a un escenario real de incendio.

Debido a que las pinturas intumescentes son revestimientos técnicos, requieren de un cuidado especial en su aplicación.

18.3.1. Preliminares.

Los materiales tomados de las bodegas de almacenamiento deben tener la temperatura recomendada antes de ser aplicados. Adicionalmente se debe tener en consideración las condiciones del medio ambiente, la cual debe ser previa a la iniciación del trabajo.

Las pinturas intumescentes son sensibles a las condiciones medio ambientales, especialmente a la humedad y a la temperatura. Por esta razón, las condiciones del entorno se deben mantener dentro de los siguientes parámetros:

- La temperatura del medio ambiente no puede ser inferior a los 10°C o superiores a los 40°C. En caso de aplicar sobre los 40°C de temperatura, la pintura se comienza a evaporar de manera acelerada, lo cual significa que la composición química varíe.
- La humedad relativa del ambiente no puede ser superior al 75% durante la aplicación y el secado de la estructura. Si lo anterior no se cumple, puede presentar dificultades en la adherencia del producto.

- Se requiere que la temperatura ambiente sea de 20% y la humedad relativa esté entre los 40 y 60%. Bajo estas condiciones el producto intumescente funciona de manera óptima.

Lo anterior aplica para todas las capas (imprimante, pintura intumescente y pintura de terminación).

18.3.2. Preparación de superficie a proteger.

La superficie del acero a proteger debe estar limpia y libre de polvo, grasas, aceites y cualquier otro tipo de impureza superficial. Se deberá reparar los defectos de construcción que exista como por ejemplo las grietas, exfoliaciones, etc. El acero deberá quedar con una rugosidad entre 50 y 75 micrones con el fin de asegurar una óptima adherencia entre la pintura y el revestimiento (PAILLALEF, 2005)

Como método de limpieza del perfil, se recomienda la limpieza por arenado, que consiste en proyectar los granos del material abrasivo por medio de aire comprimido hacia la superficie del material, erosionando al metal. Como material abrasivo puede usarse arena silícea fina con granulometría de 0,6 a 0,2 mm. (PAILLALEF, 2005)

18.3.3. Primera capa: imprimante.

Luego del arenado se debe aplicar lo antes posible el imprimante, de modo de evitar la oxidación de la superficie tratada. El tiempo máximo que puede transcurrir entre el arenado y la aplicación del imprimante es de 4 horas; siguiendo las instrucciones de la ficha técnica del producto. Antes de aplicar la pintura intumescente, se debe tener en cuenta:

- La superficie del imprimante debería estar limpia, seca y libre de contaminación.
- El imprimante debe ser 100% compatible con la pintura intumescente, ya que de lo contrario llevaría a un comportamiento no deseado.

- El imprimante no puede contener pigmentos intumescentes, ya que podría estar bajo acción del calor, hinchándose y provocando un desprendimiento de la protección.
- El tiempo de secado del imprimante es de 24 horas aproximadamente entre cada mano.
- No es recomendable usar la pintura imprimante diluida, pues en presencia de un incendio se produce un desprendimiento del sistema protector por falla en la adherencia
- Al secar la última capa de imprimante, se debe medir el espesor de la película. Se recomienda que esta capa tenga en promedio 0.05mm (PAILLALEF, 2005)

18.3.4. Segunda capa: pintura intumescente.

La aplicación de la pintura intumescente debe ser llevada a cabo de acuerdo con las recomendaciones del fabricante en la ficha técnica y los métodos establecidos. Se recomienda que la pintura intumescente se aplique en ambientes ventilados y con temperaturas entre 10°C y 40°C y al menos 3°C sobre el punto de rocío. La humedad relativa del ambiente no puede ser mayor a 75% ya que a humedades mayores el producto comienza a adquirir agua desde el ambiente, provocando un comportamiento menos efectivo (PAILLALEF, 2005)

Una de las desventajas que posee este producto es que no está diseñada para trabajar a la intemperie, salvo excepciones del fabricante y por esta razón se debe efectuar en estructuras que se encuentren bajo techo o protegidas.

Generalmente las pinturas intumescentes se aplican de la siguiente manera:

- La aplicación se puede hacer con brocha, rodillo o pistola. Si se usa brocha o rodillo se puede pintar en capas de no más de 0,25mm. Sí se aplican capas superiores se incorpora aire con facilidad provocando pérdida de resistencia del sistema protector.

En caso de usar pistolas, es recomendable utilizar máquina que tenga compresor de 3000 psi.

- Se debe revolver el contenido del envase hasta lograr una homogeneidad eliminando totalmente los grumos e incorporar todos los sedimentos, es recomendable no batir el envase, con el fin de evitar la incorporación de aire a la pintura.
- Antes de aplicar el revestimiento se debe tener en cuenta que la superficie esté totalmente imprimada con el anticorrosivo adecuado y haber calculado el espesor necesario por capa. Además, en dicho cálculo se debe tomar en cuenta los espesores mínimos y máximos recomendados por el fabricante
- El tiempo de secado entre capas a 20°C varía entre 24 y 48 horas, pero puede rebajarse hasta 5 horas para revestimientos basados en emulsiones.
- Al finalizar el ciclo de capas de pintura intumescente y transcurrida el período necesario para el secado de la última capa, se debe medir el espesor de la película seca con un micrómetro, a fin de comprobar si se ha alcanzado el espesor requerido. Sólo se mide el espesor de la pintura intumescente (PAILLALEF, 2005)

18.3.5. Tercera capa: sellador.

La capa de terminación se aplica con el fin de darle una protección al perfil de los agentes del medio ambiente, tales como la humedad, temperatura, rayos solares. Es aplicada de acuerdo con las especificaciones del fabricante y no es recomendable que sean pinturas epóxicas, esmaltes sintéticos, oleos, poliuretanos, pasta muro, ni otros de similares durezas, ya que cuando estos productos estén totalmente curados o secos, su rigidez puede impedir o retardar el efecto de la intumescencia. Finalmente, para poder aplicar la pintura de terminación es necesario que haya transcurrido un mínimo de 24 horas entre la última mano de intumescente y la primera de terminación (PAILLALEF, 2005)

19. Conclusiones

En la actualidad cada vez es más frecuente encontrar edificaciones cuyo sistema estructural ha sido pensado y diseñado usando parcialmente o en su totalidad el acero como elemento principal, mediante el uso de perfiles previamente fabricados, ya que sus propiedades mecánicas favorecen el comportamiento de la estructura bajo la resistencia a esfuerzos y deformaciones y también por su potencial acabado en términos arquitectónicos.

No obstante, la regulación en Colombia referente al diseño y construcción de edificaciones está a cargo de la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes por medio del Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-10; donde se dictan claramente los requisitos mínimos con los que se debe cumplir para tal efecto. El reglamento en su Título J establece los requisitos de protección contra incendios y en su capítulo 3 presenta los requisitos mínimos de protección contra fuego, dando claridad en las especificaciones mínimas a cumplir cada uno de los elementos y materiales que componen la estructura. Para dar debido cumplimiento a la normatividad colombiana es necesario clasificar la edificación en una de las categorías de riesgo de la NSR-10, para conocer el tiempo de resistencia requerido. Lo anterior se realiza dependiendo de variables tales como el grupo de ocupación de la edificación, su área construida, el número de pisos y en determinadas ocasiones el potencial combustible.

Las vigas de acero por sí solas no cumple con los requerimientos mínimos que establece la norma, ya que la conductividad térmica del material es alta y en poco tiempo puede llevar al colapso a la edificación. En Colombia, la Comisión Asesora solamente tiene avaladas tres alternativas de protección pasiva, las cuales son, los recubrimientos intumescentes, los recubrimientos con morteros especiales y las placas o tableros de yeso o lana mineral. La

elección del tipo de protección pasiva a usar se encuentra íntimamente ligado a aspectos como el nivel de protección requerido, el presupuesto del proyecto, tiempos de ejecución y niveles de acabado de la edificación.

Mediante un análisis detallado al momento de diseñar la estructura de la edificación, usando como elemento estructural el acero, se puede llegar a un diseño optimizado que no implique un aumento de la carga de la estructura o un costo económico demasiado elevado para cumplir con la protección requerida contra fuego. Teniendo en cuenta lo anterior se considera que la protección contra fuego mediante pinturas intumescentes es la opción más recomendada.

Además, esta alternativa no necesita una mano de obra altamente calificada para la aplicación de la pintura y los controles de espesor de las capas se pueden llevar de manera sencilla con galgas u otros instrumentos. Adicionalmente, en el país existen diversas compañías que ofrecen varias alternativas con diferentes niveles de resistencia en tiempo y variaciones en modos de aplicación como número de capas para alcanzar la resistencia o tiempos de secado, lo que finalmente se traduce en múltiples opciones para el usuario dependiendo sus necesidades.

20. Bibliografía

Allende, A. (1991). *Estudio de protecciones para estructuras de acero contra incendios*.

Santiago de Chile: Universidad de Chile.

Bretón, A. (2004). *Estudio Térmico de Productos Intumescentes Aplicados Sobre Elementos Estructurales de Acero*.

Carrera, S. (2019). Alternatives for the protection of steel beams against fire and economic valuation. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 21.

Comisión Asesora Permanente Para El Régimen De Construcciones Sismo Resistentes. (2010).

Título J — Requisitos De Protección Contra Incendios En Edificaciones. In C. A.

Resistentes, *Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente Nsr-10* (p.

2130). Bogotá D.C.

Corporación Instituto Chileno del Acero . (2009). *Prospección y Difusión de Tecnologías y*

Normativas sobre Protección Contra el Fuego para Estructuras de Acero. Santiago de

Chile: Innova.

Distriplac Wanner. (2011). *Soluciones Protección pasiva contra el fuego*. Barcelona.

Federación Colombiana de Fabricantes de Estructuras Metálicas. (1977). *Código de*

Construcciones Metálicas Fedestructuras . Bogotá.

García, C. C. (2005). *Protección pasiva contra el fuego para estructuras de acero “Pinturas*

intumescentes”. Valparaiso: Universidad Técnica Federico Santa María.

García, S. G. (n.d.). *Comportamiento frente al fuego de estructuras Metálicas*. Toledo: Gabinete

técnico Provincial de Toledo.

Gerdau Corsa. (2006). Principios de protección de estructuras metálicas en situación de corrosión y fuego. *El Acero Hoy*, 28.

Gerdau Corsa. (2017). *Principios de protección de estructuras metálicas en situación de corrosión y fuego*. Ciudad de México.

Gyplac. (2014). *Manual Técnico Gyplac*. Cartagena: Etex Group Company.

Instituto Americano De Construcción En Acero (AISC). (2003). Fire Resistance of Structural Steel Framing.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas Icontec. (1984). *Código Colombiano de Construcciones Metálicas - Norma Icontec-2001*. Bogotá.

Instituto Nacional de Tecnología Industrial. (2019, 12). *Resistencia al Fuego: Seguridad y protección completa frente al fuego con hormigón*. Retrieved from www.inti.gov.ar: https://www.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/fuego/seguridad_frente_fuego.pdf

Instituto Técnico de la Estructura en Acero (ITEA). (2006). Construcción segura al fuego.

International Organization for Standardization. (1975). *ISO 834 – 75. Fire resistance test. Elements of building construction*. Zúrich.

Lacassie, C. (2002). *Propiedades y fundamentos de pinturas intumescentes*. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.

Paillalef, P. V. (2005). *Pinturas intumescentes, protección de*. Valdivia.

Patrel, J. A. (2017). *Estudio comparativo de costos entre paneles especiales ligeros, muro seco tipo Gypsum, y mampostería tradicional de una edificación*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Pinturas Ceresita. (2004). *Protocolo para la especificación y uso de la pintura intumescente*.

Promat. (n.d.). Promapaint® - SC4. *Recubrimiento Reactivo Protector PROMAPAINTE® - SC4.*

ETEX.

Rodríguez. (1989). *Protección al fuego de estructuras de acero por medio de revestimientos intumescentes.*

Rondón, B. S. (2018). *Práctica empresarial con la empresa peralta ingeniería s.a.s en el desarrollo de un instructivo de protección pasiva contra fuego de estructuras de acero.*
Bucaramanga.

Schultz. (1985). *Neil Fire and Flammability Handbook.* New York.

Sika. (2009). Manual técnico. Sistemas de protección contra el fuego.

Sika. (2011, 05). Hoja Técnica Sika Unitherm 38091. *Sika Unitherm 38091.* SIKA.

Silva, V. P. (1997). *Estructuras de acero en situación de incendio.* Sao Paulo: Escuela Politécnica de la Universidad de Sao Paulo.

Toxement. (2016, 07). Nullifire SC 801-120. *Nullifire SC 801-120.* Bogotá: Toxement.

Vásquez, J. R. (2003). Protección Pasiva Contra Incendios. *Ingeniería*, 7.

Wladyka. (1999). *The Thermal Characteristics of Different Intumescent Coatings, Fire and Materials.*

Zafra, F. T. (2018). State of the Art in Colombia of the Structural Design for Fire Conditions Under the Colombian regulations for Earthquake Resistant Constructions (NSR10). Background and Precedents. *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería*, 13.

21. Anexos

21.1. Fichas técnicas de pinturas intumescentes

21.1.1. Nullifire SC 801-120

Descripción

NULLIFIRE SC 801-120 es un recubrimiento de película fina base acuosa de color blanco, usado para la protección contra el fuego de estructuras metálicas interiores.

Información Técnica

PROPIEDAD	RESULTADO
Composición	Bajo contenido de VOC, formulación base agua
Certificación	BS 476 parte 21: 1987
Clasificación de construcción	C1 y C2 ambientales

PROPIEDADES	RESULTADO
Gravedad Específica	1.38 kg/l +/- 0.02 kg/l
Volumen de sólidos	68% +/- 3%
VOC	1 g/l
Viscosidad	150 cps – 200 cps (Aguja 6 @ 20 rpm)
Cubrimiento Teórico	2.050 g/m ² en aplicación de 1.00 mm de espesor en estado seco de la capa

Usos

- NULLIFIRE SC 801-120 es un recubrimiento utilizado en estructuras metálicas que puede proporcionar hasta 120 minutos de resistencia al fuego.

Ventajas

- Recubrimiento base agua.
- Bajo contenido de VOC.
- Protección al fuego de hasta 120 minutos.

Rendimiento

El rendimiento teórico es de 2 kg/m² en 1.00 mm de espesor de película seca aplicada (EPS).

Para rendimientos específicos dependiendo del tiempo requerido de protección y el tipo de estructura, consulte con el Departamento Técnico de Toxement.

Ilustración 10. *Ficha técnica NULLIFIRE SC 801-120.* Fuente: (TOXEMENT, 2016)

21.1.2. Promapaint – SC4



Propiedades Técnicas Generales

Color	Blanco
Consistencia	Líquida
Densidad	1.300 kg/m ³ ± 50 kg/m ³
Contenido de sólidos	68% ± 2%
Ratios de expansión	Alta expansión
Viscosidad	~30 Pas a 20°C
Consumo	~1,95 kg/m ² [1 mm DFT*]
Tiempo de curado entre capas (del mismo producto)	~1000 µm [39,37 mils] luego de 8 horas (20°C, 50% HR)
Temperatura de trabajo	+10°C hasta 35°C
Temperatura de almacenamiento	+5°C hasta 45°C
Contenido de VOC	< 2,2 g/l
Dilución	Agua - máximo 5%
Categoría de Uso (acorde a ETAG 018-2)	Sin capa de acabado: Tipo Z2 con capa protectora adecuada: tipo X, Y y Z1

Descripción general

PROMAPAIN[®] - SC4 es una pintura intumescente monocomponente en emulsión de agua que consiste especialmente en resina sintética formulada para la protección contra incendios de la estructura de acero.

Área de aplicación

- Al interior de edificaciones.
- En espacios abiertos.

Ventajas

- Superficie estética (delgada y fina).
- Fácil de aplicar.
- Puede ser repintado.
- Para secciones de acero abiertas y huecas.
- Adecuado para estructuras de acero galvanizado.
- Resistencia al fuego hasta R 120

Certificación y ensayo

PROMAPAIN[®] - SC4 esta aprobado por ETA y ensayado para estructuras de acorde a Estandares Europeos. Los elementos de acero recubiertos alcanzan clases de resistencia al fuego de R15 a R120.

Procesamiento

PROMAPAIN[®] - SC4 solo puede ser aplicado por personal capacitado. No para uso en elementos que están constantemente en áreas muy húmedas o están expuestas a gases agresivos.

La superficie debe estar libre de grasa, aceite, óxido, suciedad o cualquier otro contaminante que pueda inhibir la adhesión de PROMAPAIN[®] - SC4 al imprimante.

Agite mecánicamente antes de usar. Aplique PROMAPAIN[®] - SC4 con rodillo, cepillo o equipo airless. Espesor máximo de película seca (DFT) de una capa aplicada debe ser de aproximadamente 750 µm [29,52 mils], lo cual corresponde aproximadamente 1.100 µm [43,30 mils] de espesor de película húmeda (WFT). Cuando se utilice rodillo o un cepillo, el DFT máximo de una capa aplicada debe ser de aproximadamente 350 µm [13,77 mils] (aproximadamente 515 µm [20,27 mils] WFT). La temperatura de procesamiento debe estar entre +10°C y +35°C.

21.1.3. Sika Unitherm 38091

Sika Unitherm 38091

Sistema de Recubrimiento retardante al fuego, base solvente para elementos y estructuras en acero.

Descripción del Producto	<p>Sika Unitherm 38091 es un Sistema de Recubrimiento retardador del fuego, de película delgada, base solvente, para acero estructural expuesto a alta humedad, ambiente marítimo, etc.</p> <p>Sika Unitherm 38091 forma una capa aislante cuando está bajo el efecto del fuego y mejora la resistencia al calor que afecta a las columnas, vigas y marcos de acero.</p> <p>Sika Unitherm 38091 puede usarse para construcciones de acero en interiores y exteriores.</p>	
Áreas de Aplicación	<p>Para uso exterior en miembros de acero estructural, como son columnas, vigas y marcos con una protección altamente efectiva para retardar el progreso del calentamiento del acero.</p> <p>Nota: Con situación crítica, es decir exposición frecuente y/o calentamiento de superficies por encima de los 45°C, deben tomarse medidas especiales.</p>	
Características	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicable en construcciones de acero expuestas al ambiente externo - Mantiene la apariencia de las construcciones de acero - Aplicable en estructuras de filigrana de acero y elementos de construcción de acero complejos - No incrementa la carga estática (aprox. 4 kgs por m² a 1 mm de espesor) - Fácil aplicación: brocha, rodillo ó equipo airless 	
Información del producto	<p>Color:</p> <p>Empaque:</p> <p>Código IMDG No:</p> <p>Vida Útil:</p>	<p>Blanco</p> <p>peso neto 25 kg.</p> <p>Clase 3.3., UN – No. : 1263</p> <p>12 meses en condiciones de almacenamiento frescas y secas, contenedores originales cerrados.</p>
Sistemas	<p>Sistemas de Recubrimiento:</p> <p>Acero:</p> <p>Base: Imprimante alquídico, Imprimantes epóxicos</p> <p>Recubrimiento Intumescente: Sika Unitherm 38091</p> <p>Recubrimiento Final: Consultar con el departamento técnico</p> <p>Acero Galvanizado:</p> <p>Barrera: Barrera Epóxica Serie 23</p> <p>Recubrimiento Intumescente: Sika Unitherm 38091</p> <p>Recubrimiento Final: Consultar con el departamento técnico.</p> <p>Preparación de la Superficie</p> <p>Acero:</p> <p>Limpieza con abrasivos a metal casi blanco, SSPC-SP10, Sa 2½, según EN ISO 12944, Parte 4</p>	
Información Técnica	<p>Densidad:</p> <p>Sólidos por Peso:</p> <p>% sólidos en volumen:</p> <p>Punto de Inflamación:</p> <p>Consumo:</p> <p>Ejemplo: 550 micrones secos – 750 a 800 micrones húmedos – 1000 g/m² – 0.780 l/m²</p> <p>El tiempo de retardo del fuego del Sika Unitherm 38091 depende de las normas nacionales e internacionales.</p> <p>Nota: El espesor de película húmeda y espesor de película seca resultante varían dependiendo del método de aplicación.</p> <p>El espesor de película seca del Sika Unitherm que se va a aplicar esta sujeta a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de resistencia al fuego • Tipo y características geométricas de los perfiles y estructuras metálicas que se desean recubrir. • Posición de la estructura: columna, viga, etc. 	<p>4,84 ± 0,1 kg/gal</p> <p>Aprox. 70% (Según EN ISO 3251)</p> <p>60 ± 2</p> <p>± 28°C</p>

Ilustración 12. Ficha técnica SIKA UNITHERM 38091. Fuente: (SIKA, 2011)