

ALTERNATIVES FOR THE PROTECTION OF STEEL BEAMS AGAINST FIRE AND ECONOMIC VALUATION

Sofía Carrera ⁽¹⁾, **Vanessa Irigoyen** ⁽²⁾, **Luis Hernández** ⁽³⁾, **Germán Luna** ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Escuela Politécnica Nacional - Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental – Ecuador
sofipame_1994@hotmail.com

⁽²⁾ Escuela Politécnica Nacional - Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental - Ecuador
vane_irigoyen@hotmail.com

⁽³⁾ Escuela Politécnica Nacional - Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental - Ecuador
luis.hernandezr@epn.edu.ec

⁽⁴⁾ Escuela Politécnica Nacional - Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental - Ecuador
german.luna@epn.edu.ec

Received: May 2019. Accepted: July 2019

ABSTRACT

In the present article, topics related to the different types of fire protection are described: passive and active. The floor system under consideration are structures that are made of steel and concrete. Therefore, when a fire occurs inside a residential building, the gases tend to be located in the upper part of a room generating damage to the composite beams and more than all to steel beams. For this reason, several types of protection are proposed to lengthen the fire resistance time of steel mainly, with the purpose of improving the behavior under the effects of fire. Finally, an economic comparison of fire protection is presented to decide which of these is the best option in both technical and economic terms.

Keywords: fire protection, passive fire protection, active fire protection, fire, steel beams, massivity factor

ALTERNATIVAS DE PROTECCIÓN DE VIGAS DE ACERO FRENTE AL FUEGO Y VALORACIÓN ECONÓMICA

RESUMEN

En el presente artículo se describen temas referidos sobre los diferentes tipos de protección contra incendios: pasiva y activa. Los sistemas de entrepiso en consideración son estructuras que están conformadas por acero y hormigón, por ello, al producirse un incendio dentro de un edificio residencial, los gases tienden a situarse en la parte superior del entrepiso generando daños a los sistemas compuestos y más que todo a las vigas de acero. Por esta razón, se proponen varios tipos de protección para alargar el tiempo de resistencia al fuego del acero principalmente, con el propósito de mejorar el comportamiento bajo los efectos del fuego. Finalmente, se expone una comparación económica de la protección contra

incendios para decidir cuál de éstas es la mejor opción en términos tanto técnicos como económicos.

Palabras claves: protección contra incendio, protección pasiva, protección activa, fuego, vigas de acero, factor de masividad

1. INTRODUCCIÓN

Las estructuras de acero, muy usadas en la actualidad en el campo de la ingeniería, sufren serias modificaciones en sus capacidades resistentes como la: rigidez y resistencia, por efecto del incremento de temperatura provocando serios daños, incluso el colapso de la estructura dejando como resultado la pérdida de vidas humanas (Virgili, 2007).

En diferentes partes del mundo se han desarrollado importantes y significativos avances en lo que respecta al diseño de estructuras de acero frente a un evento de incendio, logrando establecer las dimensiones apropiadas de estos elementos por medio de análisis térmicos y estructurales (Corporación Instituto Chileno del Acero, 2009). 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, para evitar en un futuro deterioros en los sistemas estructurales, en caso de que no se tome la debida protección (Soto Paillalef, 2005). Además, la ingeniería civil en el Ecuador seguirá considerando los métodos tradicionales de cálculo y diseño sin dar un paso adelante en prevenir las falencias que están relacionadas con la amenaza debido al fuego en el sistema constructivo.

La evaluación de un edificio en condiciones de incendio está asociada con la adecuada protección de los elementos estructurales que son más susceptibles al fuego (en especial las estructuras metálicas), siendo importante conocer qué factores son los necesarios y cuál es su influencia dentro del comportamiento del acero ante el fuego una vez protegido con materiales con baja conductividad térmica (Distriplac Wanner, 2011).

El propósito de la protección contra incendios está dirigido a proteger la vida humana brindando seguridad a las personas de tal manera que al final del evento de incendio la estructura sea funcional contrarrestando la pérdida de la estabilidad de la estructura (Distriplac Wanner, 2011), es decir, tenga la capacidad suficiente para que las personas que habitan en él puedan continuar con sus labores diarias (Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 2008).

2. PROTECCIÓN PASIVA

Son aquellos productos o elementos que aíslan y retardan los efectos del fuego, el humo y gases calientes evitando la alta emisión, principalmente del humo durante un incendio, y así limitar que las estructuras alcancen temperaturas críticas y sean seriamente comprometidas (Cichinelli, 2016).

2.1. Morteros Proyectados

Sirven para recubrir o envolver al elemento creando una barrera térmica sin uniones ni juntas mediante un material inerte al fuego que presente un alto coeficiente de aislamiento térmico en forma de placas o como morteros que será aplicado mediante proyección (Romero & Lopez, 2007).

Existen distintos tipos de morteros proyectados como: vermiculita y/o perlita, que están compuestos de áridos ligeros de aproximadamente 2 a 5 [cm], con una estabilidad al fuego de 240 [min] (Romero & Lopez, 2007).

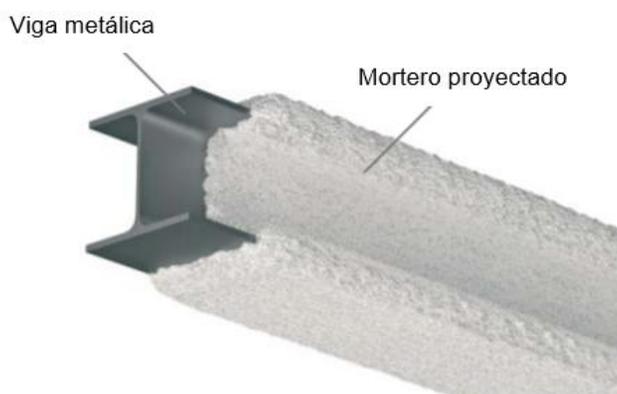


Figura 1 Aplicación de un mortero proyectado sobre una viga metálica (TECRESA, 2011)

En la Tabla 1 se muestran las ventajas y desventajas que presentan los morteros proyectados, los mismos que son aplicados mediante máquinas o de forma manual mediante el uso de bombas mezcladoras o compresores.

Tabla 1 Ventajas y desventajas de los morteros proyectados (Elaboración: Carrera & Irigoyen)

MORTEROS PROYECTADOS	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Económicos. • Estabilidad al fuego de hasta 240 [min]. 	<ul style="list-style-type: none"> • No presentan una buena adherencia. • Se debe proteger contra la humedad y reforzar con una malla metálica para espesores superiores a 60 [mm]. • Uso solo para interiores.

2.2. Pinturas Intumescentes

Debido a reacciones químicas, la intumescencia por acción del fuego produce un importante incremento de volumen de espuma carbonosa disipadora de calor, alrededor de hasta 20 y 30 veces su espesor original en el elemento protegido.

Un ejemplo de ellas son las pinturas intumescentes que al ser aplicadas en el acero son capaces de mantener durante 120 [min] una temperatura muy por debajo de la temperatura media en la cual el acero pierde su resistencia (alrededor de los 500 [°C]) (Romero & Lopez, 2007).

Tabla 2 Ventajas y desventajas de las pinturas intumescentes
(Elaboración: Carrera & Irigoyen)

PINTURAS INTUMESCENTES	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • No incrementa el peso del edificio. • Adherencia directa. • Aplicable in situ. • Protege a los perfiles frente a la corrosión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Son sistemas complejos de aplicar. • Costo económico elevado. • No deben exponerse a ambientes húmedos. • Deben ser sellados con esmaltes si se exponen a lluvias.

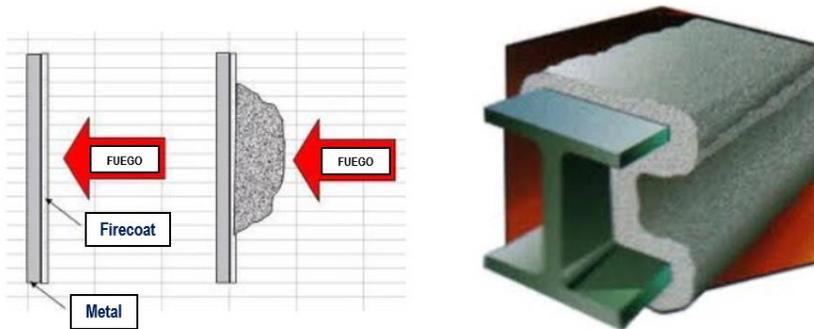


Figura 2 Proceso de transformación de la pintura intumescente ante la acción del fuego (FERROLAN, 2014)

La pintura intumescente se puede utilizar sobre superficies metálicas, hormigón y madera, previamente se debe revisar el estado del perfil para proceder a una imprimación que sea compatible con la pintura que se desea colocar (Consortio de Bomberos de la Provincia de Cádiz, 2016).



Figura 3 Aplicación de pintura intumescente (AISLAMIENTO IGNÍFUGO, 2019)

2.3. Materiales Rígidos

Son placas rígidas y mantas flexibles o semirrígidas que están compuestas de varios materiales como cerámica, yeso, placas de silicato de calcio y vermiculita. Estas placas o paneles propician una protección a los elementos estructurales y son fijados en seco (Pannoni, 2017).

Para la aplicación de los paneles se cortarán a los mismos de acuerdo a las caras que el elemento este expuesto a la acción del fuego y, finalmente, se deberá fijar a los paneles con tornillos autorroscantes, grapas o clavos (Pannoni, 2017). Existen diversos tipos de materiales rígidos, los cuales se mencionan en los siguientes apartados:

2.3.1. Placas de yeso acartonado

Están constituidos de fibra de vidrio y vermiculita en algunos casos, los cuales brindan una mayor cohesión a temperaturas elevadas que la placa de yeso estándar. A medida que ocurre la acción del fuego, el yeso de la placa pierde moléculas de agua de hidratación retardando la transmisión de altas temperaturas del acero, alrededor de 120 [min] (Pannoni, 2017). Pueden ser usados en cielos rasos y revestimientos, en coberturas de vigas, pilares estructurales y todo tipo de conducto (Patrel, 2017).

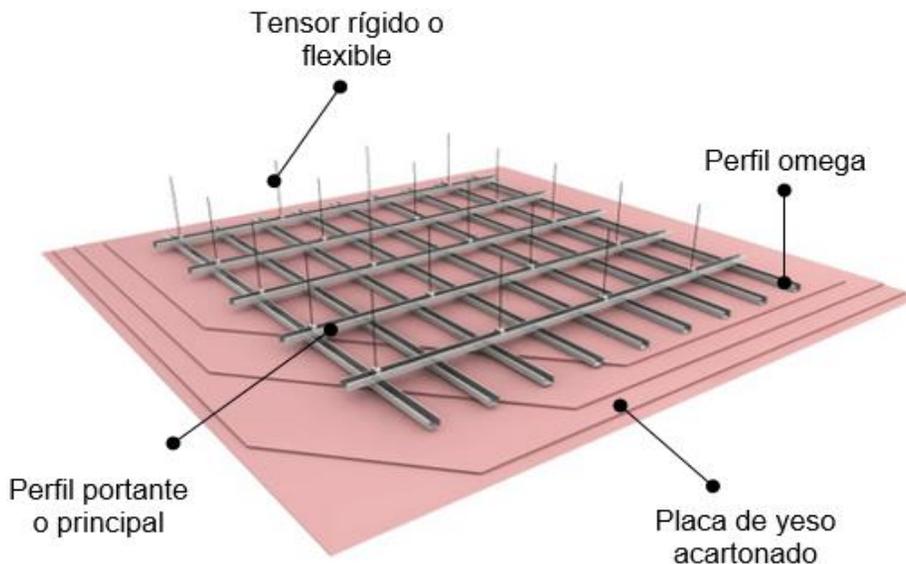


Figura 4 Esquema de una placa de yeso acartonado resistente al fuego (ATEFUER, 2019)

Existen otros tipos de placas que se fabrican en base a la norma ASTM C1396 con un ancho estándar de 1220 [mm] con distintas longitudes y espesores como se muestra en la Tabla 3, están estructurados por un núcleo de lana de roca

bihidratado, por lo cual presenta una mayor dureza cuando está revestido en sus dos caras con una lámina de papel de celulosa especial (GYPLAC, 2014).

Tabla 3 Dimensiones de la placa de yeso (GYPLAC, 2014)

Descripción	DIMENSIONES			Resistencia al Fuego [min]	Usos
	Largo [m]	Ancho [m]	Espesor [mm]		
PLACA RF (Resistente al Fuego)	2.44	1.22	12.7 (1/2")	30, 60 o 90	En paredes divisorias, cielos rasos o revestimientos
PLACA ER (Extra Resistente)	2.44	1.22	15.9 (5/8")	30, 60 o 90	En paredes divisorias o revestimientos. Es recomendada para hospitales, colegios, hoteles, centros comerciales, viviendas, entre otros.

2.3.2. Placas de lana de mineral

Están compuestos por materiales fibrosos, aglomerados por la adición de resinas termo-endurecedoras que mantienen el aire inmóvil y poseen una baja densidad y un comportamiento rígido y flexible, se colocan soldándose a las estructuras metálicas (Pannoni, 2017).



Figura 5 Sistema de placas de yeso de lana mineral (Rodríguez, 2017)

2.3.3. Placas de fibrosilicatos ignífugos

Están constituidos de placas de silicato cálcico hidratado, reforzados con fibras especiales. Se los aplica en estructuras metálicas, de hormigón y madera. Adicionalmente, se debe tener en cuenta que, previo a su montaje, es necesario calcular la masividad del perfil para determinar el espesor de la placa a partir del perímetro del mismo a ser expuesto ante la acción del fuego y del área de la sección transversal (Consortio de Bomberos de la Provincia de Cádiz, 2016).



Figura 6 Cielo raso de placa de fibrosilicato ignífugo

3. PROTECCIÓN ACTIVA

Son aquellos sistemas de acción directa sobre el fuego, que son usados de forma individual o coordinada para detectar, controlar y apagar un incendio (CEJ, 2014). Entre estos sistemas se tienen: detección y alarma, extintor de incendio, sistemas de abastecimiento de agua, boca de incendio, hidrante, sistema de extinción por rociadores, sistemas de extinción por agua nebulizada.

3.1. Sistemas de extinción por rociadores

Son sistemas que, una vez que detectan el aumento de calor, descargan agua sobre los puntos de ignición para impedir su propagación, a su vez activan un sistema de alarma de incendios debido al paso de agua por una válvula de alarma. El sistema de rociadores se instala en techos o falso techos, estanterías, dentro de hornos y estufas. Su mantenimiento debe realizarse cada año (UNE-EN 12845, 2004). En la Figura 7, se muestra un esquema representativo de la distribución de un sistema de rociadores en un sistema de entresuelo.

3.2. Diseño del sistema de rociadores contra incendios

Los sistemas de rociadores contra incendios pueden considerarse como una opción muy acertada para la protección de todas las estructuras que conforman un edificio ante la acción del fuego. En lo que refiere a los sistemas de rociadores automáticos, su uso puede ser muy viable por dos motivos: la primera, debido a la eficiencia con la que pueden controlar o suprimir el incendio y, la segunda, por aspectos económicos (Milke, Kodur, & Marrion, 2002).

En el presente apartado se muestra el cálculo respectivo para la obtención del número de rociadores que se distribuirá en el subsuelo (área de parqueaderos) de un edificio residencial.

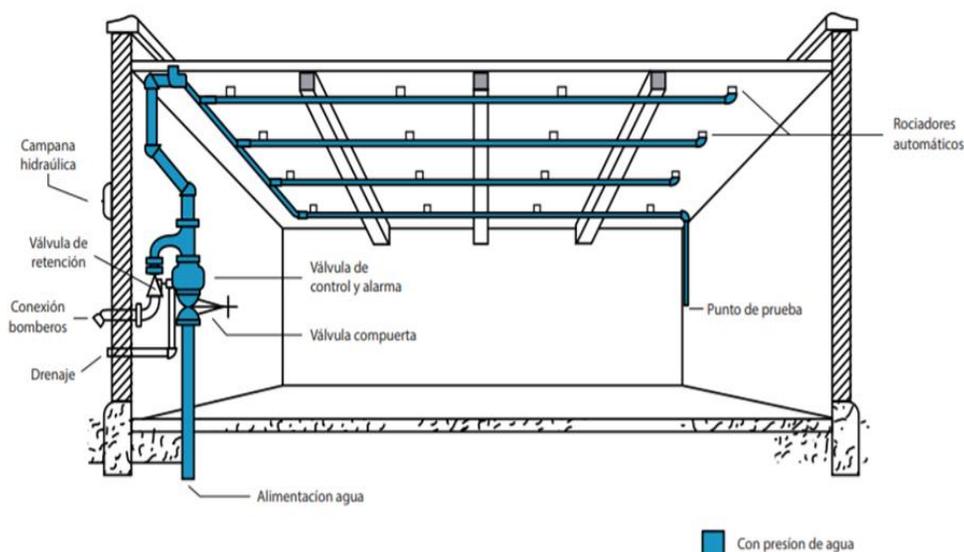


Figura 7 Sistema de rociadores en una estructura (Junta de Andalucía, 2016)

3.3. Normativas Aplicables

Las normativas a las que se hará referencia para la determinación de los diferentes parámetros que engloba el diseño de un sistema de rociadores se nombran a continuación:

- Regla Técnica Metropolitana RTQ 1/2015
- Regla Técnica Metropolitana RTQ 2/2015
- Regla Técnica Metropolitana RTQ 3/2015
- Regla Técnica Metropolitana RTQ 7/2014
- National Fire Protection Association NFPA 13

3.4. Clasificación de Ocupaciones y Tiempos Mínimos

La norma NFPA 13 (1996) establece que la clasificación de las ocupaciones según el riesgo tiene referencia solamente a la instalación de rociadores y a su respectivo suministro de agua, además, de la cantidad de los contenidos y su respectiva combustibilidad, entre otras características:

1. Ocupaciones de Riesgo Leve (RL)
2. Ocupaciones de Riesgo Ordinario (RO) Grupo 1
3. Ocupaciones de Riesgo Ordinario (RO) Grupo 1
4. Ocupaciones de Riesgo Alto o Extra (RE)

Los estacionamientos o parqueaderos se ubican en la categoría denominada Ocupación de Almacenamiento. En cuanto al tipo de riesgo que presentan los estacionamientos se determina como de *Riesgo Ordinario (Grupo 1)* debido a las características que puedan presentar los contenidos o productos almacenados en el lugar (Regla Técnica Metropolitana RTQ 3, 2015).

El tipo de riesgo está relacionado con los tiempos mínimos de protección de un sistema contra incendio, tiempo que servirá como dato importante para la determinación del volumen que se requiere para el sistema de rociadores. Estos tiempos son: 30 [min] para riesgo leve, 60 [min] para riesgo ordinario y 90 [min] para riesgo alto (Regla Técnica Metropolitana RTQ 7, 2014).

3.5. Selección del Sistema de Rociadores

Se recomienda que el sistema de rociadores a considerar sea del tipo: *rociadores automáticos de tubería húmeda*, cumpliendo con los requisitos de diseño dispuestos en la Regla Técnica Metropolitana RTQ 7/2014. Para un correcto funcionamiento estos rociadores deberán estar conectados a una red de tuberías que contenga agua y a un suministro de agua para que al detectar el calor producido por el incendio el agua pueda ser descargada desde el sistema de rociadores automáticos (Campoverde, Pesántez, & Anchundia, 2015).

Las principales características que tiene un rociador para que adquiera la capacidad de controlar o extinguir un incendio se mencionan a continuación (National Fire Protection Association NFPA 13, 1996):

- Sensibilidad térmica (de respuesta rápida o de respuesta estándar)
- Temperatura de activación
- Diámetro del orificio
- Orientación de instalación
- Características de la distribución del agua
- Condiciones especiales de servicio

3.6. Ejemplo de cálculo del caudal y volumen en la red de rociadores

Para el cálculo de estos parámetros es necesaria la utilización de la curva de descarga del rociador estándar seleccionado para poder determinar el número de rociadores que van a estar distribuidos en el área de parqueaderos. Los datos iniciales a tomar en cuenta dentro del ejemplo de cálculo son: el área respectiva de operación de los rociadores igual a 156.10 [m²] considerando como rociador estándar el de 1/2".

Por medio de la curva área/densidad, como se muestra en la Figura 8, se obtuvo que la densidad del riego es igual a 0.145 [gal/(min·pie²)] tomando como premisa los parámetros antes mencionados acerca del tipo de riesgo y del área respectiva del tipo de ocupación de almacenamiento en consideración, que son: Riesgo Ordinario (Clase 1) y un área de 1680.26 [pie²], respectivamente.

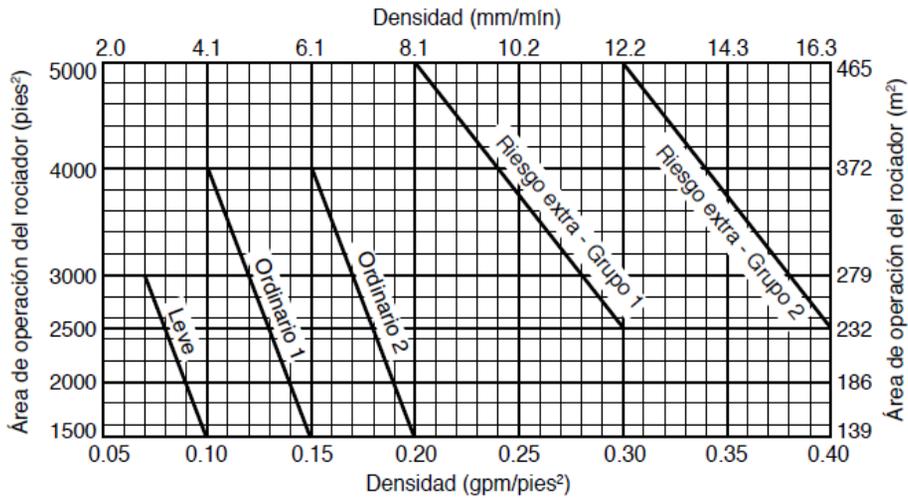


Figura 8 Curva Área/Densidad (National Fire Protection Association NFPA 13, 1996)

Por lo tanto, el procedimiento de cálculo se indica como sigue:

$$Q_{TR} = A_d \cdot \rho \quad (1)$$

$$Q_{TR} = 1680.26 [\text{pie}^2] \cdot 0.145 \left[\frac{\text{gal}}{\text{min} \cdot \text{pie}^2} \right]$$

$$Q_{TR} = 243.64 [\text{gal}/\text{min}]$$

Dónde:

A_d = Área de operación de rociadores, en [pie^2]

ρ = Densidad del riego, en [$\text{gal}/(\text{min} \cdot \text{pie}^2)$]

Q_{TR} = Caudal total de los rociadores, en [gal/min]

$$V_{TR} = Q_{TR} \cdot t \quad (2)$$

$$V_{TR} = 243.64 [\text{gal}/\text{min}] \cdot 60 [\text{min}]$$

$$V_{TR} = 14618.4 [\text{gal}]$$

$$V_{TR} = 55.34 [\text{m}^3]$$

Dónde:

Q_{TR} = Caudal total de los rociadores, en [gal/min]

t = Tiempo mínimo según el riesgo, en [min]

V_{TR} = Volumen total de los rociadores, en [gal]

Con éste último resultado, además de obtener el volumen requerido en la red de rociadores, se obtiene el volumen correspondiente a la fuente de suministro de agua o cisterna.

3.7. Obtención del número de rociadores en el área de diseño

El número de rociadores se calcula considerando un tipo de rociador estándar cuyo diámetro es de 1/2" que descarga 18 [gal/min] con una presión de 10 [PSI], según la Figura 9.

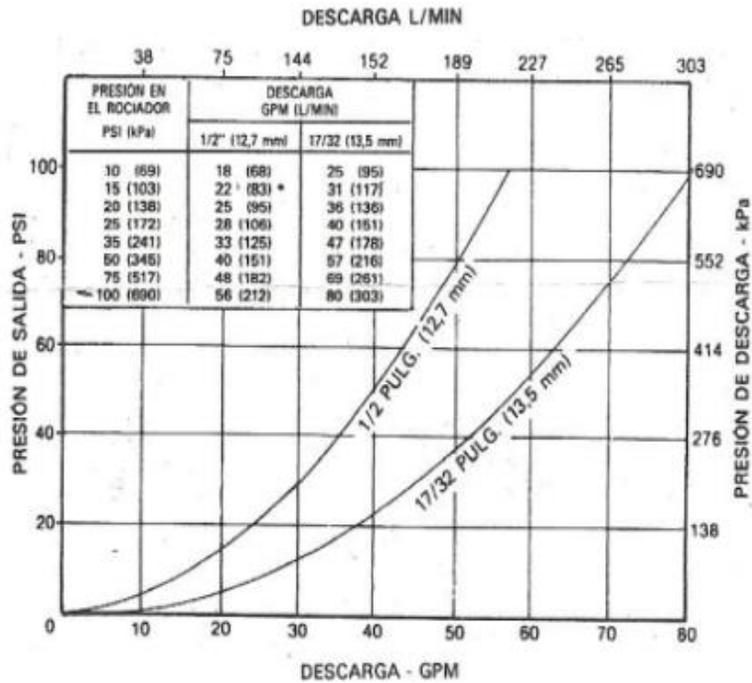


Figura 9 Descarga de agua de un rociador de 1/2" y 17/32" de orificio nominal (National Fire Protection Association NFPA 13, 1996)

Por medio de la relación entre el caudal total de rociadores calculado anteriormente y el caudal del rociador estándar se obtiene lo siguiente:

$$\# \text{ Rociadores} = \frac{Q_{TR}}{Q_R} \tag{3}$$

$$\# \text{ Rociadores} = \frac{243.64 \text{ [gal/min]}}{18 \text{ [gal/min]}}$$

$$\# \text{ Rociadores} = 13.54$$

$$\# \text{ Rociadores} \approx 14$$

Entonces, el área de diseño estará compuesto por 14 rociadores conformado por 5 ramales entre 2 y 3 unidades de rociadores, donde cada uno de éstos abarcará un área de 11.15 [m²].

3.8. Dimensión y selección de tuberías de la red de rociadores

Los requerimientos para determinar el diámetro de los sistemas de tuberías mediante tablas no se aplican a los sistemas que son calculados hidráulicamente, como en el presente caso (National Fire Protection Association NFPA 13, 1996). El diámetro y material de las tuberías para Riesgo Ordinario debe estar acorde a lo especificado en la Tabla 4.

Tabla 4 Diámetros del sistema de tuberías para Riesgo Ordinario (National Fire Protection Association NFPA 13, 1996)

Diámetro	TIPO DE MATERIAL	
	Acero	Cobre
1"	2 rociadores	2 rociadores
1 1/4 "	3 rociadores	3 rociadores
1 1/2"	5 rociadores	5 rociadores
2"	10 rociadores	12 rociadores
2 1/2"	20 rociadores	25 rociadores
3"	40 rociadores	45 rociadores
3 1/2"	65 rociadores	75 rociadores
4"	100 rociadores	115 rociadores
5"	160 rociadores	180 rociadores
6"	275 rociadores	300 rociadores
8"	Ver Sección 4-2	Ver Sección 4-2
Para unidades SI: 1 pulgada = 25,4 mm		

Por consiguiente, se determina que el diámetro de la red de tubería principal que alimentará a los rociadores sea de 2" y el diámetro de los ramales en donde estarán ubicados cada rociador se dispone de 1 1/2" debido a criterios constructivos. En la Figura 10, se muestra el esquema correspondiente a la distribución del sistema de rociadores de acuerdo a los parámetros definidos en su diseño.

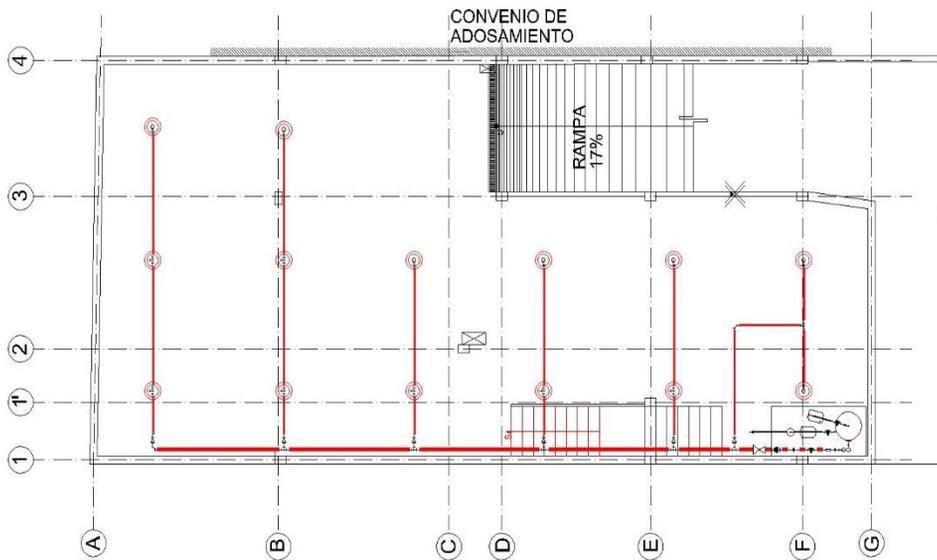


Figura 10 Ubicación de los rociadores en el área de parqueaderos del edificio “Torino” (Elaboración: Carrera & Irigoyen)

4. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO

Se desarrolla en esta sección los precios acordes a las especificaciones técnicas que proporcionan las diferentes casas comerciales locales y de fichas técnicas europeas que hacen referencia a la protección contra incendios. En el caso de la protección pasiva se evaluarán los precios de los: morteros ignífugos, pinturas intumescentes y placas de yeso tipo Gypsum, y en lo que refiere a la protección activa se evaluará el costo del sistema de rociadores contra incendio y alarma.

4.1. Determinación del factor de masividad

El factor de masividad es la relación del perímetro del perfil de acero expuesto a la acción de fuego, que depende del número de caras afectadas, sobre el área de la sección transversal del perfil. Las unidades de la masividad están expresadas en [m⁻¹] (Hadid, 2008).

$$M = \frac{P}{A_s} \tag{4}$$

Dónde:

P = Perímetro expuesto al fuego, en [m]

A_s = Área de la sección transversal, en [m²]

M = Masividad del elemento considerado, en [m⁻¹]

A medida que aumenta el valor de masividad, el elemento estructural será esbelto térmicamente llegando a temperaturas más altas en el tiempo y, en consecuencia, alcanzará el colapso del miembro estructural (Silva, 1997).

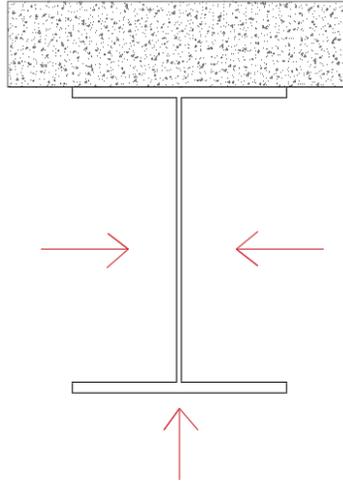


Figura 11 Sección de viga expuesta al fuego en tres de sus caras
(Elaboración: Carrera & Irigoyen)

En la siguiente Tabla 5 se presentan las distintas maneras de deducir el perímetro del perfil de acero que debe ser protegido según el tipo de protección pasiva a ser empleada si las caras expuestas al evento del fuego son tres (Hadid, 2008).

Tabla 5 Perímetro de la sección de acero a proteger por sus tres caras (Hadid, 2008)

Sección de Acero	Protección con Morteros y Pinturas	Protección con Placas de Yeso por Cajeadado
	a)	b)
	3 caras	
	$3 \cdot b + 2 \cdot h - 2 \cdot t$	$b + 2 \cdot h$

4.2. Cálculo de los espesores de la protección pasiva

4.2.1. Espesores para pinturas intumescentes y morteros proyectados

El primer paso consiste en estimar el perímetro y el área de la sección transversal de la viga de acero, para obtener su respectivo factor de forma y aplicar las tablas de temperatura crítica (habitual 500[°C] para el acero) determinados en base a ensayos realizados por los fabricantes del producto (pinturas intumescentes y morteros ignífugos). En dichas tablas, además, proporciona varios tiempos de resistencia al fuego que se mide en minutos (R30, R60, R90 o R120), por lo que es necesario escoger dicho tiempo de acuerdo a las necesidades que las normativas locales señalan dentro de sus dictámenes. En el caso de Ecuador el tiempo de resistencia al fuego debe ser de 60 [min] si el tipo de riesgo es ordinario para edificios de tipo residencial (Regla Técnica Metropolitana RTQ 3, 2015).

Aplicando la Ecuación (4) y según la fórmula del perímetro de la Tabla 5a, se logra obtener los siguientes valores de masividad y el espesor necesario de pintura intumescente para cada tipo de viga que se muestra a continuación:

Tabla 6 Obtención del factor de forma y del espesor para pinturas intumescentes (Elaboración: Carrera & Irigoyen)

PINTURAS INTUMESCENTES				
SECCIÓN DE LA VIGA				
Descripción	VT4	VT1	V4	V1
Ancho del patín (bf) [mm]	250,0	170,0	120,0	100,0
Espesor patín (tf) [mm]	12,0	8,0	8,0	6,0
Altura de la viga (h) [mm]	354,0	416,0	256,0	202,0
Espesor del alma (tw) [mm]	6,0	8,0	3,0	3,0
FACTOR DE FORMA Y ESPESOR				
Factor de Masividad [m ⁻¹]	181,2	224,0	328,0	394,4
Espesor [mm] (R60)	0,980	1,034	1,112	1,119

Del mismo modo se debe proceder para el cálculo correspondiente en el caso de morteros ignífugos, los resultados se muestran como sigue:

Tabla 7 Obtención del factor de forma y del espesor para morteros ignífugos (Elaboración: Carrera & Irigoyen)

MORTEROS IGNÍFUGOS				
SECCIÓN DE LA VIGA				
Descripción	VT4	VT1	V4	V1
Ancho del patín (bf) [mm]	250,0	170,0	120,0	100,0
Espesor patín (tf) [mm]	12,0	8,0	8,0	6,0
Altura de la viga (h) [mm]	354,0	416,0	256,0	202,0
Espesor del alma (tw) [mm]	6,0	8,0	3,0	3,0

Tabla 7 Continuación

FACTOR DE FORMA Y ESPESOR				
Factor de Masividad [m^{-1}]	181,2	224,0	328,0	394,4
Espesor [mm] (R60)	17,0	18,0	19,0	19,0

4.2.2. Espesor para la placa de yeso acartonado

Para la obtención de la masividad y del espesor que se demanda de la placa de yeso y cumpla con la función de ser un material de protección por cajado de vigas de acero, primero se debe aplicar correctamente la fórmula del perímetro que está siendo afectado por la acción del fuego, esto se puede observar con la ayuda de la Tabla 5b. Una vez obtenido el valor de la masividad, el siguiente paso conlleva a determinar el espesor correspondiente de acuerdo a las especificaciones que facilitan los fabricantes del material (placas de yeso) según el tiempo de resistencia al fuego que se desea. Dicho esto, se procede a utilizar la Ecuación (4) y el espesor que más se ajusta a las condiciones que presenta cada tipo de viga, como se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla 8 Obtención del factor de forma y del espesor para placas de yeso
(Elaboración: Carrera & Irigoyen)

PLACA DE YESO				
SECCIÓN DE LA VIGA				
Descripción	VT4	VT1	V4	V1
Ancho del patín (bf) [mm]	250,0	170,0	120,0	100,0
Espesor patín (tf) [mm]	12,0	8,0	8,0	6,0
Altura de la viga (h) [mm]	354,0	416,0	256,0	202,0
Espesor del alma (tw) [mm]	6,0	8,0	3,0	3,0
FACTOR DE FORMA Y ESPESOR				
Factor de Masividad [m^{-1}]	120,1	169,3	239,4	284,7
Espesor [mm] (R60)	25,0	25,0	25,0	25,0

4.3. Comparación económica de la protección contra incendios

Es importante especificar los diferentes componentes que se incluyen dentro del análisis de precios unitarios, donde el costo obedece a las cantidades y rendimientos, entre los que se pueden citar son (Patrel, 2017):

- Equipos
- Mano de obra
- Materiales
- Transporte
- Rendimiento

Mediante el Análisis de Precios Unitarios (APU's) de la protección pasiva: morteros ignífugos, pinturas intumescentes y placas de yeso, y de la protección activa: sistema de rociadores contra incendios, se presentan tablas resumen de los precios totales obtenidos con un Presupuesto Total para la planta tipo y para el área de parqueaderos de un edificio residencial.

En la Tabla 9 se expone los precios correspondientes de la planta tipo del edificio, la cual se refiere al entrepiso de cualquiera de los niveles habitados, en tanto que, en la Tabla 10 se visualizan los precios finales de cada tipo de protección contra el fuego que pueden ser empleados en el área de parqueaderos del mismo edificio.

Tabla 9 Comparación económica de la protección pasiva y activa contra el fuego de la planta tipo (Elaboración: Carrera & Irigoyen)

COMPARACIÓN ECONÓMICA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS (PLANTA TIPO)					
PROTECCIÓN PASIVA			PROTECCIÓN ACTIVA		
Mortero Ignífugo	Pintura Intumescente	Placa de Yeso			Sistema de Rociadores y Alarma
		Tipo A	Tipo B	Tipo C	
\$12.148,47	\$8.217,14	\$3.869,25	\$6.062,14	\$3.524,50	\$8.134,20
TIPO A: Gypsum Resistente al Fuego (60 min) como cajeadado para las vigas metálicas					
TIPO B: Gypsum Resistente al Fuego (60 min) como cielo raso					
TIPO C: Gypsum No Resistente al Fuego tipo Estándar como cielo raso					

En la planta tipo la mejor alternativa como protección pasiva en la cual puede ser tomada en cuenta, va dirigida hacia la placa de yeso Tipo A, pero por cuestiones arquitectónicas y/o estéticas no es viable. Por lo tanto, y como en todo edificio residencial cuenta con cielos rasos estándar debido a la funcionalidad que prestan, la mejor variante para proteger a las estructuras metálicas corresponde a la placa de yeso Tipo B que resiste al fuego, donde su costo será igual a la diferencia del costo total de la placa de yeso Tipo B menos la placa de yeso tipo C, resultando en un valor igual a \$2.537,64.

Tabla 10 Comparación económica de la protección pasiva y activa contra el fuego en el área de parqueaderos (Elaboración: Carrera & Irigoyen)

COMPARACIÓN ECONÓMICA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS (ÁREA DE PARQUEADEROS)					
PROTECCIÓN PASIVA			PROTECCIÓN ACTIVA		
Mortero Ignífugo	Pintura Intumescente	Placa de Yeso			Sistema de Rociadores y Alarma
		Tipo A	Tipo B	Tipo C	
\$14.676,57	\$9.968,30	\$4.624,89	\$7.327,63	\$4.260,25	\$8.172,20
TIPO A: Gypsum Resistente al Fuego (60 min) como cajeadado para las vigas metálicas					
TIPO B: Gypsum Resistente al Fuego (60 min) como cielo raso					
TIPO C: Gypsum No Resistente al Fuego tipo Estándar como cielo raso					

En este caso la mejor opción corresponde a la protección activa utilizando el sistema de rociadores, ya sea por razones económicas o para brindar cumplimiento a las disposiciones de las normativas contra incendios. También es posible determinar como segunda opción a la protección pasiva correspondiente a la placa de yeso Tipo A.

NOTA: En el precio final del sistema de rociadores para el entrepiso (Ver Tabla 9) y para los parqueaderos (Ver Tabla 10), se incluye el precio del sistema de alarma contra incendios pero no se incluye el valor de la cisterna contra incendios, de la bomba eléctrica y de gasolina (éste se usará en caso de que la luz eléctrica este fuera de servicio) y del tanque hidroneumático, ya que representan rubros que se toman en cuenta dentro del presupuesto referencial inicial de una obra civil y, además, constituye una exigencia del Cuerpo de Bomberos de Quito para edificios residenciales.

5. CONCLUSIONES

La valoración económica de la protección pasiva para la planta tipo del edificio residencial que se presenta en la Tabla 9, se puede observar que, si bien el tipo de protección más factible en términos económicos corresponde a la placa de yeso Tipo C, ésta no brinda ninguna seguridad ante los efectos de fuego puesto que su resistencia mecánica se ve afectada apenas se inicia el incendio. Por lo tanto, la protección más viable en cuestiones económicas y en facilidad de adquirir el material corresponde a la placa de yeso Tipo B, ya que su función va a estar destinada a proteger todo el entrepiso, reduciendo el tiempo de ejecución de la mano de obra, brindando características estéticas en el entorno y, lo más importante, cumplir con el tiempo de resistencia al fuego de 60 [min] que permitirá evacuar a los habitantes del edificio antes de que el incendio provoque daños considerables a toda la estructura. Sin embargo, el Cuerpo de Bomberos de Quito obliga a la colocación del sistema de rociadores.

El costo real de la protección contra incendio para la planta tipo será igual a la resta entre el costo calculado de la placa de yeso resistente al fuego y la placa de yeso estándar, es decir, igual a \$2.537,64 siendo más económico que el sistema de rociadores. Esta consideración se produce debido a que el gypsum estándar ya se lo incluye dentro de los rubros para la ejecución de una obra civil con el objetivo de brindar un acabado al cielo raso del entrepiso y como no tiene resistencia al fuego es preciso añadir aquel que sí contiene características de protección contra incendio propiamente dicho.

En cuanto a la mejor opción para proteger el área de parqueaderos, según la Tabla 10, corresponde al sistema de rociadores y alarma, con un valor estimado de \$8.172,20, representando una elección que garantiza la seguridad contra incendios, pues será posible la consecución de los requerimientos y exigencias que se mencionan en las normativas contra incendios del Distrito Metropolitano de Quito. Como segunda opción, en caso de no tener la garantía de abastecimiento de agua inmediata, la protección más adecuada sería la placa de yeso Tipo A con un valor estimado de \$4.624,89.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AISLAMIENTO IGNÍFUGO. (2019). *Aislamientos Ignífugos*. Obtenido de <http://www.aislamiento-ignifugo.com/>
2. ATEFUER. (2019). *Falso techo resistente al fuego en Canarias*. Obtenido de <http://www.atefuer.es/techo-resistente-al-fuego-en-canarias/>
3. Campoverde, D., Pesántez, L., & Anchundia, F. (2015). Diseño de un Sistema Contra Incendio con Rociadores Automáticos y Cajetines de Mangueras para un Edificio de Oficinas. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
4. CEJ. (2014). Protección Contra Incendios. *Fundación para la Prevención de Riesgos Laborales*, 49-57.
5. Cichinelli, G. (2016). Protección pasiva contra incendios en estructuras de acero. Situación en Brasil. *Finestra*. Obtenido de <http://www.construccionenacero.com/noticias/proteccion-pasiva-contra-incendios-en-estructuras-en-acero-situacion-en-brasil>
6. Consorcio de Bomberos de la Provincia de Cádiz. (2016). *Protección Estructural*. Cádiz.
7. Corporación Instituto Chileno del Acero. (2009). Prospección y Difusión de Tecnologías y Normativas sobre Protección Contra el Fuego para Estructuras de Acero. (Informe Técnico). Chile: CORFO.
8. Distriplac Wanner. (2011). *Soluciones Protección pasiva contra el fuego*. Barcelona: Saint-Gobain Idaplac.
9. FERROLAN. (2014). *Titan Intumescente - Proceso*. Obtenido de <http://ferrolan.es/proteccion-contra-el-fuego-de-estructuras-de-acero-pintura-intumescente-titan/titan-intumescente-proceso/>
10. GYPLAC. (2014). Manual Técnico Gyplac. Cartagena, Colombia: Etex Group Company.
11. Hadid, Z. (2008). Protección Estructuras Metálicas. Zaragoza, España: Placo Saint-Gobain.
12. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. (2008). *Resistencia al Fuego: Seguridad y protección completa frente al fuego con hormigón*. Obtenido de https://www.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/fuego/SEGURIDAD_FRENTE_FUEGO.pdf
13. Junta de Andalucía. (2016). Guía Técnica de Seguridad Contra Incendios. Andalucía, España: Consejería de Economía, Innovación, Ciencia y Empleo.

14. Milke, J., Kodur, V., & Marrion, C. (2002). A overview of fire protection. USA: Federal Emergency Management Agency.
15. National Fire Protection Association NFPA 13. (1996). Norma para la Instalación de Sistemas de Rociadores. *Edición 1996*. Quincy, EE.UU: Instituto Argentino de Normalización.
16. Pannoni, F. D. (2017). *Principios de protección de estructuras metálicas en situación de corrosión y fuego*. Ciudad de México: GERDAU CORSA.
17. Patrel, J. A. (2017). Estudio comparativo de costos entre paneles especiales ligeros, muro seco tipo Gypsum, y mampostería tradicional de una edificación. (Tesis de Pregrado) . Guayaquil, Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
18. Regla Técnica Metropolitana RTQ 1. (2015). Prevención de incendios: Reglas técnicas básicas. Quito, Ecuador: Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito.
19. Regla Técnica Metropolitana RTQ 2. (2015). Prevención de incendios: Reglas técnicas de edificación. Quito, Ecuador: Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito.
20. Regla Técnica Metropolitana RTQ 3. (2015). Prevención de incendios: Reglas técnicas en función del riesgo derivado del destino u ocupación de la edificación, establecimiento o local o de la actividad que se realiza en ellos. Quito, Ecuador: Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito.
21. Regla Técnica Metropolitana RTQ 7. (2014). Prevención de incendios: Sistemas de extinción de incendios. Quito, Ecuador: Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito.
22. Rodríguez, H. (2017). *Comportamiento del Acero con la Temperatura*. Obtenido de Ingemecánica: <https://ingemecanica.com>
23. Romero, A., & Lopez, S. (2007). Protección pasiva contra incendios: morteros proyectados y productos. Queretaro, México. Obtenido de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/2477/A7_safety.pdf
24. Silva, V. P. (1997). Estructuras de acero en situación de incendio. (Tesis de Doctorado). Sao Paulo, Brasil: Escuela Politécnica de la Universidad de Sao Paulo.
25. Soto Paillalef, P. V. (2005). Pinturas intumescentes, protección de elementos estructurales de acero contra los efectos del fuego. (Tesis de Pregrado). Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.

-
26. TECRESA. (2011). *Tecresa Mortero*. Obtenido de <http://www.techoscalabuig.com/pdfs/98.pdf>
 27. UNE-EN 12845. (2004). Sistema fijos de lucha contra incendios. Sistema de rociadores automáticos. Diseño, instalación y mantenimiento. Madrid, España: AENOR.
 28. Virgili, X. (13 de Noviembre de 2007). Comportamiento de elementos estructurales de acero frente a incendio. Análisis de la Normativa. (Tesis de Pregado). Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.