

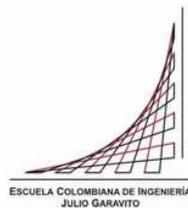
Maestría en Ingeniería Civil

**MANUAL EDUCATIVO PARA LA PROTECCIÓN CONTRA
INCENDIOS EN EDIFICACIONES Y GUÍA DE CURVAS DE
INCENDIO**

Ing. Claudia Maritza Santos Bernal

Especialista en Estructuras

Bogotá, D.C., 22 de julio del 2021



**MANUAL EDUCATIVO PARA LA PROTECCIÓN CONTRA
INCENDIOS EN EDIFICACIONES Y GUÍA DE CURVAS DE
INCENDIO**

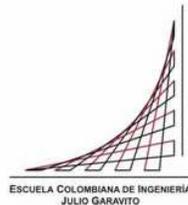
**Tesis para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil, con
énfasis en Ingeniería Estructural**

Ing. Pedro Nel Quiroga Saavedra

Ing. José Joaquín Álvarez Enciso

Directores

Bogotá, D.C., 22 de julio del 2021



La tesis de maestría titulada “**Manual Educativo para la protección contra incendios en edificaciones y guía de curvas de incendio**”, presentada por Claudia Maritza Santos Bernal, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Ingeniería Estructural.

Directores de la tesis:



Ing. Pedro Nel Quiroga Saavedra



Ing. José Joaquín Álvarez Enciso

Jurados:



Ing. Sandra Rocío Jerez Barbosa



Ing. Fernando Escalante

Bogotá, D.C., 22 de julio 2021

DEDICATORIA:

*En memoria de mi amado Padre, Norberto Santos, a quien acogió el Señor Jesucristo,
cuando me encontraba finalizando, el presente proyecto de grado de Maestría:*

Aunque te hayas ido y ya mis sentidos no te pueden percibir.

*Aunque ya nunca pueda escuchar tus palabras, ni escuchar tu risa, ni ver el amor de tu
mirada.*

*Siento que más allá, del cuerpo, la emoción y el pensamiento, seguimos unidos en el
alma.*

*Comprendo que este dolor, es revelador de un amor que nos une más allá del nacimiento
y de la muerte.*

*Tu memoria está grabada en mis moléculas y en cada una de mis células; tu vida es
parte de esa vida que recorre por mis venas.*

*Sigue encendida, la llama de tu amor en el corazón de toda la familia y para todos los
que te amamos, eres todavía la más dulce compañía, lo mejor de ti ha florecido en
nosotros.*

¡¡¡Gracias Papi por todo!!!, algún día nos volveremos a ver.

AGRADECIMIENTOS:

Al señor Jesucristo rey de reyes y señor de señores, por su amor incondicional.

Alirio, eres el mejor esposo y padre del mundo, eres el amor de mi vida, mi compañero de aventuras, mi mentor y mi mejor amigo. Soy muy bendecida de tenerte como esposo. Gracias por tu amor, ayuda incondicional y por creer siempre en mí.

Vale, jovencita esforzada y valiente, eres mi inspiración. Soy muy bendecida de tenerte como hija, es para mí un privilegio ser tu mamá. Gracias por tu amor y ejemplo, me has enseñado que, a pesar de los obstáculos, todo es posible.

Madre, gracias por darme la vida, por tu apoyo en todo tiempo, por tu amor incondicional y por haberme forjado como la persona que soy actualmente.

A mis asesores:

Ingeniero Pedro Nel Quiroga y el Ingeniero José Joaquín Álvarez, gracias por sus aportes y apoyo brindado durante la realización de este proyecto

A mis jurados;

Ingeniera Sandra Rocío Jerez Barbosa e Ingeniero Fernando Escalante, gracias por su apoyo durante la realización de este proyecto.

A mi hermana Paola, a mi cuñado Andrés y demás familiares; amigos, profesores y todas aquellas personas que, de manera desinteresada, me dieron su apoyo y parte de sus conocimientos, para que este trabajo fuera una realidad.

RESUMEN:

Cuando se realiza el análisis de protección, contra incendios en edificaciones, existe la tendencia de acuerdo con los actuales códigos, de adoptar el enfoque prestacional o por desempeño, porque se tiene la creencia, de que los métodos prescriptivos, son insuficientes y generan costos excesivos en la construcción.

Es importante entender que, sea por un método u otro, el ingeniero diseñador debe aplicar los códigos existentes, demostrando que, mediante la solución propuesta se alcanzan o superan los niveles de protección establecidos. La única manera, de realizar un análisis, de resistencia contra incendios óptimo, es mostrando **siempre en diferentes escenarios de incendio**, como el uso, la altura, la ventilación, los sistemas de detección, de protección pasiva, entre otros, influyen en la estructura.

En este proyecto, se elaboró un “**Manual Educativo**”, con distintos ejemplos de estructuras y diferentes análisis simplificados (siendo un método alternativo del método prescriptivo, a las tablas de tiempos mínimos de resistencia, exigidos a la estructura de un edificio), con el fin de extraer las conclusiones, bondades y limitaciones de su aplicabilidad **(Ver Anexo A)**.

Palabras claves:

Protección contra incendios, seguridad humana, curvas paramétricas, tiempo equivalente, monogramas, temperatura crítica.

ABSTRACT:

When the fire protection analysis is carried out in buildings, there is a tendency, according to current codes, to adopt the performance or performance approach, because there is the belief that the prescriptive methods are insufficient and generate excessive costs. in the construction.

It is important to understand that, whether by one method or another, the designer engineer must apply the existing codes, demonstrating that, through the proposed solution, the established protection levels are achieved or exceeded. The only way to perform an analysis of optimal fire resistance is to **always show it in different fire scenarios**, such as use, height, ventilation, detection systems, passive protection, among others, influence the structure.

In this project, an "Educational Manual" was prepared, with different examples of structures and different simplified analyzes (being an alternative method of the prescriptive method, to the tables of minimum resistance times, required to the structure of a building), with the In order to extract the conclusions, benefits and limitations of its applicability (**See Annex A**).

Keywords: Fire protection, human safety, parametric curves, equivalent time, monograms, critical temperature.

ÍNDICE GENERAL:

<i>Resumen:</i>	6
<i>ABSTRACT:</i>	7
<i>Índice general:</i>	8
<i>Lista de tablas:</i>	10
<i>Lista de Ilustraciones:</i>	11
<i>CAPITULO I: Introducción</i>	12
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA:	14
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:	15
1.2.1. PROBLEMA GENERAL:	15
1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS:	15
1.3 OBJETIVOS:	16
1.3.1. OBJETIVO GENERAL:	16
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	16
1.3.3. JUSTIFICACIÓN:	16
1.3.4. ALCANCES Y LIMITACIONES:	17
1.3.5. CONSIDERACIONES ÉTICAS:	17
<i>CAPITULO II: Antecedentes</i>	18
<i>CAPITULO III: Marco teorico:</i>	21
3.1 FUNDAMENTOS DE DINÁMICA DE FUEGO:	21
3.1.1. DEFINICIÓN DEL INCENDIO:	21
3.1.2. TRANSFERENCIA DE CALOR:	22
3.1.3. LEYES DE LA TERMODINÁMICA:	23
3.1.4. BALANCE TÉRMICO EN EDIFICACIONES:	25
3.2. OBJETIVOS DE LOS CÓDIGOS:	25
3.2.1. INCENDIO NORMALIZADO:	27
3.2.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESARROLLO DE UN INCENDIO:	30
3.2.3. DESARROLLO DE UN INCENDIO:	35
3.2.4. LIBERACIÓN DE CALOR:	36
3.2.5. ANÁLISIS DE RIESGO:	38
3.3. ESTADOS LÍMITE, DE LAS ESTRUCTURAS DE ACERO BAJO LA ACCIÓN DE INCENDIO:	39

3.3.1. ESTADO LÍMITE DE COLAPSO:	40
3.3.2. ESTADO LÍMITE DE DEFORMACIÓN:	41
3.4. ANÁLISIS DEL PROBLEMA:	41
3.4.1. DISEÑO BASADO EN PRESTACIONES (DESEMPEÑO):	45
3.4.2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA:	46
3.4.4. MARCO NORMATIVO INTERNACIONAL:	48
3.5. TIEMPO DE FUEGO REQUERIDO. MÉTODO SIMPLIFICADO II- TIEMPO EQUIVALENTE:	50
3.5.1. CAMPO DE APLICACIÓN DEL MÉTODO NIVEL II:	50
3.6. DISEÑO POR NOMOGRAMAS. MÉTODO SIMPLIFICADO II- TEMPERATURA CRÍTICA:	51
3.6.1. BASES DE CÁLCULO:	51
3.7. CURVAS PARAMÉTRICAS DE TEMPERATURA (MÉTODO DE NIVEL III- SIMPLIFICADO):	52
3.8. ¿COMO SE EVALÚA, LA RESISTENCIA DEL ACERO BAJO LA ACCIÓN DEL INCENDIO?:	54
<i>CONCLUSIONES y recomendaciones:</i>	56
<i>BIBLIOGRAFIA:</i>	58
<i>ANEXO A: MANUAL EDUCATIVO PARA LA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS EN EDIFICACIONES EN ACERO Y GUÍA DE CURVAS DE INCENDIO</i>	61

LISTA DE TABLAS:

TABLA 1: CURVAS DE TIEMPO – TEMPERATURA ASTM E119 E ISO 834.	28
TABLA 2: DATOS SOBRE LA DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO, PARA DIFERENTES EDIFICIOS (MJ/M^2), CON DISTRIBUCIÓN GUMBEL TIPO I	32
TABLA 3: INFLUENCIA DE LA VENTILACIÓN Y LA CARGA COMBUSTIBLE EN LA DURACIÓN, TEMPERATURAS Y TASAS DE LIBERACIÓN DE CALOR DE UN INCENDIO.	34
TABLA 4: COMPARACIÓN DE LA DURACIÓN Y TEMPERATURAS DE UN INCENDIO SEGÚN SÍ ES CONTROLADO POR LA VENTILACIÓN O POR LA CARGA COMBUSTIBLE.	35
TABLA 5: NÚMERO MÍNIMO DE ESCENARIOS.	39
TABLA 6: COEFICIENTES DE CORRECCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL ACERO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA, SEGÚN EN – 1993 – 1 – 2.	54

LISTA DE ILUSTRACIONES:

ILUSTRACIÓN 1: EL PROBLEMA REAL DE INCENDIO.	22
ILUSTRACIÓN 2: FLUJO DE TRANSFERENCIA DE CALOR NETO	23
ILUSTRACIÓN 3: CURVAS ESTÁNDAR DE TIEMPO TEMPERATURA.	29
ILUSTRACIÓN 4: CURVA ISO 834, COMPARADA CON UN INCENDIO REAL DESARROLLADO Y UNO CON MEDIDAS ACTIVAS DE PROTECCIÓN.	29
ILUSTRACIÓN 5: CURVAS TEMPERATURA – TIEMPO, NORMALIZADAS ISO 834.	30
ILUSTRACIÓN 6: DIFERENTES CURVAS DE INCENDIO REALES, CON DIVERSOS PARÁMETROS DE VENTILACIÓN Y CARGA TÉRMICA.	34
ILUSTRACIÓN 7: CURVA TIEMPO – TEMPERATURA DE UN INCENDIO NATURAL COMPARTIMENTADO Y TIEMPO – TEMPERATURA NOMINAL ISO 834	36
ILUSTRACIÓN 8: TASA DE LIBERACIÓN DE CALOR EN FUNCIÓN DEL TIEMPO, EN DIFERENTES ESCENARIOS DE INCENDIO.	37
ILUSTRACIÓN 9: MÉTODOS DE ANÁLISIS.	42
ILUSTRACIÓN 10: CLASIFICACIÓN VS. INGENIERÍA DE SEGURIDAD ANTE INCENDIOS EN ESTRUCTURAS	43
ILUSTRACIÓN 11: METODOLOGÍAS DEL DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS CUANDO SE AFRONTA LA SEGURIDAD EN CASO DE INCENDIO.	44
ILUSTRACIÓN 12: METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DEL DISEÑO BASADO EN PRESTACIONES (DESEMPEÑO).	45
ILUSTRACIÓN 13: LÍNEA DEL TIEMPO DE LOS PRINCIPALES HITOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO BASADO EN PRESTACIONES (DESEMPEÑO).	46
ILUSTRACIÓN 14: CURVA PARAMÉTRICA Y SU APROXIMACIÓN A LA CURVA DE FUEGO NATURAL.	52
ILUSTRACIÓN 15: COEFICIENTES DE CORRECCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL ACERO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.	55

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

La ingeniería de protección contra incendios, es una especialidad de diseño, que brinda la estabilidad en las edificaciones, cuando los elementos estructurales, se someten a altas temperaturas durante el incendio.

La historia, de la ingeniería de protección contra incendios, se remonta a la antigua Roma. Cuando Nerón ordena escribir un código constructivo, en el que se requiere, la utilización de materiales resistentes al fuego, en las paredes exteriores de las viviendas. Sin embargo, no fue hasta la Revolución Industrial, en Gran Bretaña (Siglo XVIII) y más tarde en E.E.U.U (XIX), que se desarrollan nuevas tecnologías, de Protección contra Incendios. Después de múltiples y aterradores incendios, nace en E.E.U.U. la NFPA, en el siglo XIX. Siendo el prelude de lo que hoy conocemos, como **Ingeniería de Protección Contra Incendios**.

Para el diseño de una estructura, en condición de incendio, existen actualmente dos enfoques (o dos tipos de metodologías) cuando se afronta la seguridad en caso de incendio: Los prescriptivos y los basados en prestaciones (por desempeño).

El enfoque prescriptivo, consiste en seguir una curva normalizada tiempo – temperatura, obteniendo a partir de ella, los requerimientos de resistencia de los elementos estructurales. El dimensionamiento de un elemento estructural, frente a la acción del fuego, debe satisfacer los códigos vigentes, nacionales e internacionales. Se debe contemplar el tiempo designado y aplicado, a la curva de fuego apropiada.

Las soluciones prestacionales, son posibles de acuerdo a las técnicas de ingeniería de fuego, o cálculos utilizando la dinámica de fluidos computacional (CFD).

Los códigos, son un conjunto de medidas dispuestas, para tres fines esenciales:

- ❖ Salvar vidas humanas.
- ❖ Minimizar pérdidas económicas, producidas en el incendio.
- ❖ Lograr que el edificio, logre reanudar sus actividades, en el menor tiempo posible.

En un incendio, se deben analizar los siguientes aspectos:

- ❖ Comportamiento del fuego (modelización),

- ❖ Comportamiento de la estructura, que a su vez surgen dos problemas: el térmico y el mecánico.

Con el aumento, importante de construcciones en área y en altura en Colombia (Dane, 2016); así mismo el potencial de riesgo por sus contenidos, el número de incendios probables, también ha aumentado. Por lo tanto, la protección contra incendios, en edificaciones es un aspecto de gran importancia, en el marco de la Ingeniería Estructural actualmente.

Puesto que, en los actuales programas universitarios, no se incluyen dentro del plan de estudios, la formación en temas de resistencia al fuego en estructuras; los estudiantes y los profesionales, no conocen el tema. Como resultado de la presente tesis, se elaborará un manual, titulado. “Manual Educativo para la protección contra incendios en edificaciones y guía de curvas de incendio”; con el fin de aplicarlo con criterio técnico, velar por la seguridad de vidas humanas y contribuir con un criterio técnico económico, **en obra al implementar los títulos F, J y K del reglamento NSR.**

Este manual, se enfocará en el método de aproximación prescriptivo. Mostrando en los diferentes escenarios de incendio, como el uso, la altura, la ventilación, los sistemas de detección, de protección pasiva; permiten establecer una guía, para diferentes curvas de fuego y como esto influye en la estructura. Estas curvas servirán, para establecer el tiempo equivalente y tiempo de protección, al fuego requerido, según condiciones del proyecto, con la intención de hacer una transición, del análisis prescriptivo al análisis por desempeño.

Actualmente, el enfoque prescriptivo, es visto como insuficiente y en muchos casos como demasiado costoso, como método de diseño, de protección contra incendio, para el diseño de estructuras y por el contrario se recomiendan, los métodos prestacionales (por desempeño), como óptimos en la Ingeniería de protección contra incendio. Por lo tanto, en este manual, se mostrará la eficiencia y las bondades del enfoque prescriptivo, cuando se tienen en cuenta varios escenarios de incendio. El método, como cualquier otro cuenta con algunas limitaciones, sí se realiza el análisis correctamente, permite comprender de una mejor manera el comportamiento del incendio.

1.1 Descripción de la realidad problemática:

Según la Dirección Nacional de Bomberos de Colombia (DNBC) en el año 2015, de 40.376 emergencias atendidas 6.418 correspondían a incendios los cuales equivalen al 16%, de los cuales 1.322 pertenecen a incendios estructurales (edificios, viviendas) perteneciente al 3.00%, siendo un porcentaje significativo considerando que solo hubo 704 emergencias por sismo (1.74%) (Colombia, 2015); desde el punto de vista normativo, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR, trata la protección contra incendios, en el título J, "Requisitos de protección contra incendios en edificaciones".(AIS, 2010)

Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), en el censo del IV trimestre del año 2016 de edificaciones, ha habido un aumento importante de construcciones en Colombia (Dane, 2016); por tal motivo, el potencial de riesgo y número de incendios probables, también ha aumentado. Por lo tanto, la protección contra incendios en edificaciones, es un aspecto de gran importancia, en el marco de la Ingeniería Civil. Además del correcto planteamiento del proyecto, es importante no descuidar la componente de detección de incendios, en adición a los sistemas de protección, específicamente en el área de diseño de estructuras. Por tal razón o consecuencia, implementar la realización de investigación sistemática, con el fin de obtener conocimiento para la correcta aplicación, de la teoría de protección contra incendios, de las estructuras y el real desempeño de las estructuras, ante la ocurrencia de un evento; se debe tener en cuenta para las próximas investigaciones.

En Colombia existen 3 leyes, las cuales han sido emitidas por el Ministerio del Interior y el Ministerio de Vivienda. El primer Ministerio publicó la ley 1575/12, referente al cuerpo de Bomberos y el segundo Ministerio la ley 388/97, que legisla el ordenamiento territorial, en cuanto a normas Urbanísticas, ley 1796 del 13 de julio de 2016 ley de vivienda segura y la ley 400/97, el cual es el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR, nombrado anteriormente; las cuales deben armonizarse. Por ejemplo, en el reglamento de Bomberos, debe precisarse el alcance de su revisión. Aunque, no es el alcance del presente trabajo, es imprescindible unificar las normas; para

garantizar, la correcta aplicación en el diseño y construcción de estructuras, desde el diseño, la revisión, la construcción y la supervisión. Por ahora, un gran avance sería el conocimiento y verificación del título J, ya que es necesario mostrar de manera sencilla, a los estudiantes y a los profesionales de las disciplinas a fines, la aplicación de la norma vigente, con criterio en el diseño y construcción de estructuras. Puesto que, en los actuales programas universitarios, no se incluyen dentro del plan de estudios, la formación en temas de resistencia al fuego en estructuras; los estudiantes y los profesionales no conocen el tema. Cabe resaltar que el título J de NSR, es un resumen y debe ser aplicado junto con el título K, por lo tanto, se hace necesario una guía o manual, para aprender a aplicarlo con criterio técnico, al igual que es necesario conocer y entender el título F.2.18 de NSR "Diseño para condiciones de incendio", el cual proporciona, los criterios para el diseño y evaluación en estructuras metálicas, también es un documento denso y que puede ser aclarado, en cuanto al comportamiento del fuego.

Con la investigación propuesta, se busca relacionar los tipos de normas y ensayos existentes en el mundo, para su posible implementación y desarrollo en futuras investigaciones en Colombia, a cerca del comportamiento de las estructuras, de diferentes materiales y bajo distintas condiciones de fuego. En el país, hacen falta laboratorios dedicados a estudiar la resistencia al fuego, en los distintos materiales de construcción.

Todo lo anterior, con el fin de velar por la seguridad de vidas humanas y contribuyendo con un bajo costo en obra, al implementar el título F,J y K de NSR.

1.2 Formulación del problema:

1.2.1. Problema general:

- ❖ Desconocimiento del cálculo de la resistencia de elementos y sistemas estructurales, en condición de incendio.

1.2.2 Problemas específicos:

- ❖ Ausencia de norma actualizada y unificada.

- ❖ Ausencia de capacitación y formación de revisores.

1.3 Objetivos:

1.3.1. Objetivo general:

Obtener un **Manual Educativo**, que permita aplicar los métodos prescriptivos, facilitando el análisis de comportamiento de estructuras de acero, ante situación de incendio.

1.3.2. Objetivos específicos:

Elaborar una guía, para la evaluación del diseño de protección contra incendios, de edificios acorde con lo establecido en los títulos J y K de la NSR y con base en los criterios y procedimientos del Eurocódigo, NFPA e IBC.

Determinar curvas de incendio tiempo vs temperatura, para el diseño de estructuras en condición de incendio, mediante varias metodologías simplificadas (prescriptivo), como son temperatura crítica, tiempo equivalente y curvas paramétricas. A partir de estas curvas, evaluar el desarrollo del incendio, predecir las acciones térmicas (flujo de calor, temperatura del gas, etc) y su incidencia en la capacidad estructural.

1.3.3. Justificación:

Por la falta de conocimiento, por parte de los ingenieros estructurales y profesionales a fines, acerca del comportamiento de los materiales, en condición de incendio y la seguridad humana en edificaciones, se realizó el Manual Educativo para la protección contra incendios en edificaciones y guía de curvas de incendio, que contribuiría a difundir el conocimiento, facilitar el grado de protección contra incendios real, que debe tener una estructura. Al igual, precisar el comportamiento de una edificación, ante la ocurrencia de incendio.

1.3.4. Alcances y limitaciones:

Este Manual Educativo, se enfocará en diferentes escenarios de incendio, en edificios de mediana altura, con los usos de reuniones, hotel, vivienda, centro comercial, con el fin de entender como interactúan: el uso, la altura, la ventilación, los sistemas de detección, de protección pasiva (rociadores, extractores de humo), en la estructura.

Se establecerá una guía, para diferentes curvas de fuego y como lo anterior influye en la estructura. Esta guía o curvas, servirán para determinar el tiempo equivalente y tiempo de protección al fuego requerido, según condiciones del proyecto a analizar.

Este estudio, tiene limitaciones en lo referente a las variables en Colombia. En el tema de protección contra el fuego, tiene muy poca literatura disponible. Hubo dificultad de recopilar la información necesaria. Por cuanto es un tema muy amplio, dejando abierta la posibilidad, de que otros investigadores amplíen o profundicen la investigación.

1.3.5. Consideraciones Éticas:

Esta tesis, es original de la autora. Se ha evitado el plagio, citando a cada autor del que se ha elegido su estudio.

CAPITULO II: ANTECEDENTES

(Valle, 2018), Realizó un estudio titulado: Estudio de resistencia efectiva al fuego de estructuras de acero, diseñadas de acuerdo con la normativa chilena. En la ciudad de Valparaíso – Chile.

Este estudio, tenía por objetivo, evaluar la normativa vigente de seguridad contra incendio y compararla con una metodología a desarrollar, en este trabajo que se incorporó la sobre resistencia, de la estructura debido a los casos de cargas, que controlan el diseño de ésta.

Para cumplir con este objetivo, se elaboró una base de datos, que incluye el diseño de prototipos de galpones, de marcos de acero, que son utilizados comúnmente en el sector industrial, de tal forma, obtener las características, que deben tener los elementos del sistema resistente y secundarios, para generar una discusión sobre los requisitos mínimos, de protección contra el fuego y sus efectos, sobre los elementos estructurales.

(Torres, 2017), Realizó un estudio titulado: Estado Del Arte En Colombia Del Diseño Estructural Para Condiciones De Incendio Bajo El Reglamento Colombiano De Construcciones Sismo Resistentes – NSR - 10, Antecedentes Y Precedentes. En la ciudad de Bogotá – Colombia.

Este trabajo de grado, pretendió compilar el estado del arte, relacionado con el diseño estructural, para condiciones de incendio en Colombia, basado en las normatividades Europeas (Euronormas EN) y Americanas (ASTM E119 e ISO 834), realizando y definiendo las metodologías de análisis, del diseño estructural para condiciones de incendio, más utilizadas a nivel internacional, basados para ello en capacidades de carga, gradientes térmicos, tipos de exposición térmica de las estructuras debido al incendio y respuesta estructural, ante la acción de dichos efectos. Como complemento a esta información, se plantearon ejemplos de diseño estructural, para una mejor comprensión del documento. Por lo tanto, se realizará un énfasis en el diseño por prestaciones o desempeño (base de lo reglamentado en el literal F.2.18 de las NSR10), y una vista general del diseño prescriptivo.

(Luque, 2016), Realizó un estudio titulado: Análisis de la resistencia al fuego de una estructura: El mercado de San Miguel. En la ciudad de Madrid – España.

En el trabajo, se tuvo en cuenta que: en Madrid, muchos de estos edificios fueron construidos a lo largo del siglo XIX. El objetivo de este trabajo, fué localizar un caso concreto, de este tipo de edificios y estudiar el estado actual, en relación a la protección de incendios y qué posibles medidas, mejorarían dicho comportamiento.

Este tipo de edificios, no están obligados a cumplir la normativa, pero en el caso fortuito de sufrir un incendio, supondría una pérdida patrimonial importante. Por tanto, al mismo tiempo que se analizó un caso real, se pretendió hacer una reflexión, sobre la importancia de incorporar medidas, que permitan preservar este tipo de edificios para las generaciones futuras.

Para determinar la resistencia al fuego, de la estructura de un edificio histórico de Madrid, se utilizó la normativa actual (CTE 2006). Se estudiaron las diversas posibilidades que ofrece el código, con el fin de que la solución propuesta, implique el menor grado de intervención posible, permitiendo mantener las condiciones arquitectónicas originales del edificio.

Para ello, y como se estudió a lo largo del trabajo, fué necesario recurrir a la resistencia al fuego mediante el tiempo equivalente, en el que influyen diversos factores (tamaño del edificio, materiales, ventilación, medidas activas en la lucha contra el fuego, etc.).

(Macari, 2015), Realizó un estudio titulado: Criterios que determinan los requerimientos de resistencia al fuego de elementos estructurales. En la ciudad de Santiago de Chile – Chile.

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

(Ortiz, 2013), Realizó un estudio titulado: Evaluación del comportamiento de estructuras metálicas con diferentes protecciones de superficie frente al fuego. En la ciudad de Bucaramanga – Colombia.

En esta investigación, se estudió el uso de la escoria de alto horno y la perlita, como constituyentes principales de morteros, para utilizarlos como recubrimiento de estructuras metálicas, para su protección contra el fuego. Ya que cuando un material metálico, es sometido a la acción del fuego, este incrementa su temperatura, a la vez que aumenta su deformabilidad, provocando una disminución en su resistencia; se está buscando un recubrimiento, que pueda controlar estos efectos, a la hora de un incendio, evitando así un posible colapso, en los elementos estructurales y por ende la posibilidad del derrumbe del edificio o estructura. El mortero se ha puesto sobre placas metálicas de 3mm de espesor, con tres dosificaciones diferentes. Tras su respectivo fraguado y curado las probetas son puestas en un horno y se someten a un calentamiento, según la norma de resistencia al fuego ISO 834, en la cual se fijan los diferentes criterios, para determinar la resistencia al fuego, de los diferentes tipos de estructuras y elementos de la construcción. Con las temperaturas obtenidas, se ha podido estimar la resistencia al fuego de los diferentes recubrimientos. Los resultados muestran, que lo materiales utilizados para la elaboración de los morteros, tienen características potenciales, en la resistencia contra el fuego y se ha hecho una respectiva comparación, entre lo recubrimientos elaborados.

CAPITULO III: MARCO TEORICO:

3.1 Fundamentos de dinámica de fuego:

3.1.1. Definición del incendio:

Según (Martinez, 2015, p.22); en la Norma de la Unión Europea UNE 23026, el fuego se define, como una combustión caracterizada por la emisión del calor, humo y llamas. La misma norma, define la combustión como una reacción química exotérmica, de oxidación en la que combina un elemento que arde (combustible) y otro que produce combustión (comburente), generalmente el oxígeno en forma de O₂ gaseoso y en la que se desprende calor (exotérmica), luz, humo y gases.

Se define que el incendio, “es un fuego no controlado en el espacio ni en el tiempo.” (Navarra, 2001, p.15). En el lenguaje común, se emplea de manera indiferente fuego o incendio, el termino correcto, para efectos de análisis es el de diseño estructural en condiciones de incendio.

El incendio, es un fenómeno complicado, en el que se deben analizar los siguientes aspectos:

- *Comportamiento del fuego (modelización del fuego).*
- *Comportamiento de la estructura: calentamiento de secciones (problema térmico) e influencia en esfuerzos mecánicos (problema mecánico).*

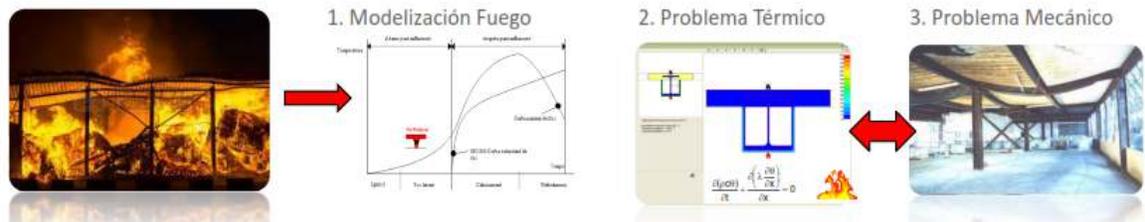


Ilustración 1: El problema real de incendio.

(Albert Jimenez, n.d.)

Existen varios métodos para analizar la capacidad de resistencia de la estructura bajo la acción del incendio. **(Ver numeral 3.3)**

3.1.2. Transferencia de calor:

“La transferencia de calor es aquella ciencia que busca predecir la transferencia de energía que puede ocurrir entre cuerpos materiales, como resultado de una diferencia de temperatura. La termodinámica enseña que esta transferencia de energía se define como calor.” (Holman, 1999)

Este se transmite por 3 métodos: (Macari, 2015, p.17)

- ❖ **Conducción:** Transmisión de calor a través de un sólido. Los objetos metálicos, tales como vigas, columnas, tuberías, clavos y cables son excelentes conductores del calor. De igual manera, el calor puede ser conducido de una habitación ardiendo, a otra adyacente a través de una tubería de metal, lo cual puede inflamar material combustible presente en la otra habitación.
- ❖ **Convección:** Transmisión de calor a través del movimiento del humo, gases, aire y partículas calientes. El humo y los gases calientes, tienden a subir desde el lugar del incendio, al igual que el aire cercano al fuego que se va calentando. Estos transportan ascuas y partículas calientes, lejos del incendio, las cuales, caen posteriormente sobre materiales combustibles, ocasionando fuegos colaterales, creando nuevos puntos de origen de fuego.
- ❖ **Radiación:** Transmisión de calor a través de ondas invisibles, que se propagan por el espacio al igual que la luz. Se mueven a través del aire y no se ven afectadas por el

viento; penetran superficies transparentes y traslúcidas, y son absorbidos por cualquier sólido opaco, con el que entran en contacto. El calor absorbido, genera vapores inflamables, que se mezclan con el aire circulante y que posteriormente, se inflaman por nuevas aportaciones de calor radiante.

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

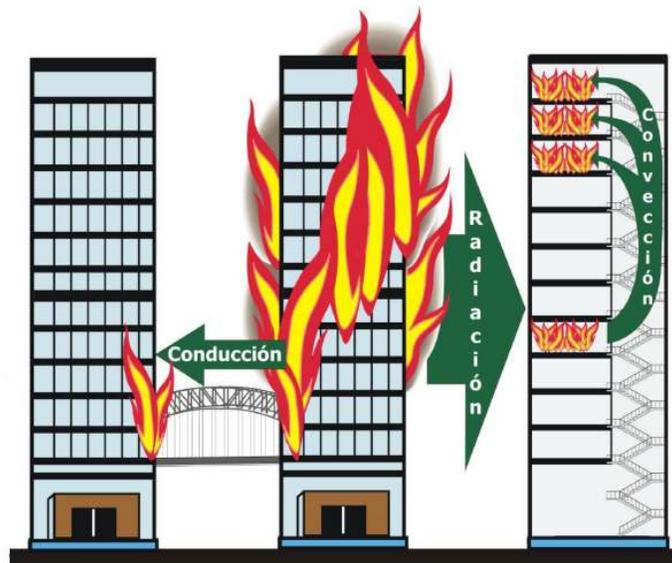


Ilustración 2: Flujo de transferencia de calor neto

(ZIGURAT, 2010)

3.1.3. Leyes de la termodinámica:

- ❖ Primera ley: “Aunque la energía tome muchas formas, la cantidad total de energía es constante, y cuando la energía desaparece en una forma, aparece simultáneamente en otras formas.”(Smith, 1997, p.22).
- ❖ La primera ley establece, que la energía se conserva en cualquier proceso y no impone ninguna restricción, con respecto a la dirección en la que ocurre éste. Sin embargo, la experiencia indica la existencia de esta restricción, cuya formulación

completa los fundamentos de la termodinámica y cuya expresión concisa constituye la segunda ley. (Smith, 1997, p.171).

- ❖ Segunda ley: En un balance de energía, el calor y el trabajo se incluyen como términos aditivos simples, lo que implica que una unidad de calor, es decir, un joule, equivale a la misma unidad de trabajo. Aunque lo anterior es válido para el balance de energía, la experiencia muestra que hay diferencias entre el calor y el trabajo en lo que respecta a la calidad. Esta experiencia se resume en los siguientes hechos. (Smith, 1997, p.171).

El trabajo se transforma rápidamente en otras formas de energía; por ejemplo, en energía potencial, al elevar un peso, en energía cinética, mediante la aceleración de una masa o en energía eléctrica, por el funcionamiento de un generador. Estos procesos, pueden realizarse con una eficiencia en la conversión próxima al 100 por ciento, cuando se elimina la fricción, la cual es un proceso disipativo que transforma el trabajo en calor. De hecho, el trabajo se transforma completamente en calor, tal y como lo demostraron los experimentos de Joule. (Smith, 1997, p.171).

Las observaciones descritas anteriormente, son resultado de la restricción impuesta por la segunda ley, a las direcciones en las que ocurren los procesos reales. Es posible, formular muchos enunciados que describan esta restricción y que, por tanto, sirvan como enunciados de la segunda ley. Dos de los más comunes son los siguientes: (Smith, 1997, p.172).

Ningún equipo, puede funcionar de modo tal que su único efecto (en el sistema y sus alrededores), sea convertir completamente todo el calor absorbido, por el sistema en trabajo hecho por el sistema.

No existe ningún proceso, que consista exclusivamente en la transferencia de calor, de un nivel de temperatura a otro mayor. (Smith, 1997, p.172).

- ❖ Tercera ley: Que la entropía absoluta es cero para todas las sustancias cristalinas perfectas a la temperatura del cero absoluto. Si bien las ideas esenciales fueron

planteadas por Nernst y Planck al inicio del siglo XX, estudios más recientes a muy bajas temperaturas han aumentado la confianza en la veracidad de este postulado, que ahora se acepta como la tercera ley. (Smith, 1997, p.195).

3.1.4. Balance térmico en edificaciones:

- ❖ **Conducción:** Es necesario colocar sellos o barreras, las cuales impiden la propagación del incendio dentro de un tiempo determinado, regulado por los requisitos normativos. (Remontiro, 2018)
- ❖ **Convección:** Es imprescindible, controlar patios interiores y exteriores o atrios, con el fin de direccionar ascendentemente los gases calientes, en las estructuras.
- ❖ **Radiación:** Es necesario controlar, las separaciones entre estructuras.

3.2. Objetivos de los códigos:

“Conjunto de medidas dispuestas en los edificios para protegerlos contra la acción del fuego. Con esto se persiguen tres fines esenciales.” (Macari, 2015, p.21)

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

Las medidas fundamentales contra incendios pueden clasificarse en dos tipos:

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

Los elementos de construcción o sus revestimientos, pueden ser de materiales no combustibles, con capacidad propia de aislamiento o por efecto intumescente o sublimante, frente a la acción del fuego. (Macari, 2015, p.21)

Los tres criterios para los ensayos, de resistencia al fuego son estabilidad, integridad y aislamiento. Para cumplir con el criterio de estabilidad, el elemento estructural, debe ser capaz de mantener sus funciones, de soporte de cargas y aguantar cargas aplicadas, durante toda la duración del ensayo, sin colapso estructural. Muchas normas de ensayo, tienen un límite en la deformación del elemento, así, el ensayo puede ser detenido, antes de que se produzca la falla. (Macari, 2015, p.39)

Los criterios de integridad y aislamiento, están destinados, a probar la habilidad de una barrera, a contener el fuego, para prevenir la propagación del incendio, desde el recinto de origen. Para cumplir con el criterio de integridad, el elemento ensayado no debe desarrollar grietas o fisuras, que puedan permitir el paso de humo y gases calientes. Para cumplir con el criterio de aislamiento, la temperatura del lado no expuesto al fuego, durante el ensayo, no debe exceder un límite específico de temperatura. (Macari, 2015, p.39)

Dependiendo de la función, que cumpla cada elemento estructural, dentro de la estructura, estos deben cumplir uno o más de los criterios de falla, nombrados anteriormente. (Macari, 2015, p.39)

El efecto intumescente o sublimante, frente a la acción del fuego, se explica a continuación:

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. (Carrera, Irigoyen, Hernández, & Luna, 2019)

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). (Carrera, Irigoyen, Hernández, & Luna, 2019)

- ❖ Activas: Compuesta por sistemas, que, conectados a sensores o dispositivos de detección y extinción, entran automáticamente en funcionamiento frente a determinados rangos de partículas y temperatura del aire, descargando agentes extintores de fuego, tales como agua, gases, espumas o polvos químicos. (Macari, 2015, p.21)

Los elementos constructivos deben brindar:

Estabilidad estructural: Con el fin de facilitar la evacuación de personas, el acceso por parte de los bomberos al lugar y proteger los bienes, para que exista continuidad en la operación.

Compartimentación o sectorización: Actúan como barrera ante las llamas o gases durante un incendio. Pueden ser muros o barrera, entre pisos cortafuegos estructurales o no estructurales. También pueden tener una función, como barreras corta humo únicamente.

Protección de los medios de evacuación: La protección no debe permitir el traspaso de llamas, ni gases y además evitar el traspaso de calor, del lado expuesto al fuego, al lado no expuesto.

3.2.1. Incendio Normalizado:

En los códigos prescriptivos, el requisito de resistencia al fuego, suficiente de los elementos estructurales, se expresa como el tiempo, que deben ser capaces de soportar esos elementos, en un incendio definido por una temperatura, en un sector dada por la curva de fuego normalizada, que tiene la expresión:(Cervera, 2004)

Para ISO 834, se tiene la siguiente ecuación:

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

Dónde:

- ❖ T_0 : Temperatura ambiente (°C).
- ❖ T : Tiempo (minutos).

Para ASTM E119, se tiene la siguiente ecuación:

$$T = 750 \left[1 - e^{-3.79553\sqrt{t_h}} \right] + 170.41\sqrt{t_h} + T_0$$

Dónde:

- ❖ T_0 : Temperatura ambiente (°C).
- ❖ t_h : Tiempo (horas).

tiempo (min)	ASTM E119 temperatura (°C)	ASTM 834 temperatura (°C)
0	20	20
5	538	576
10	704	678
30	843	842
60	927	945
120	1010	1049
240	1093	1153
480	1260	1257

Tabla 1: Curvas de tiempo – temperatura ASTM E119 e ISO 834.

(NIST Technical Note 1681, 2010)

En la curva estándar tiempo-temperatura de la norma ASTM-119 e ISO 834 (**ilustración 3**) se aprecia, que son muy similares sus trayectorias.

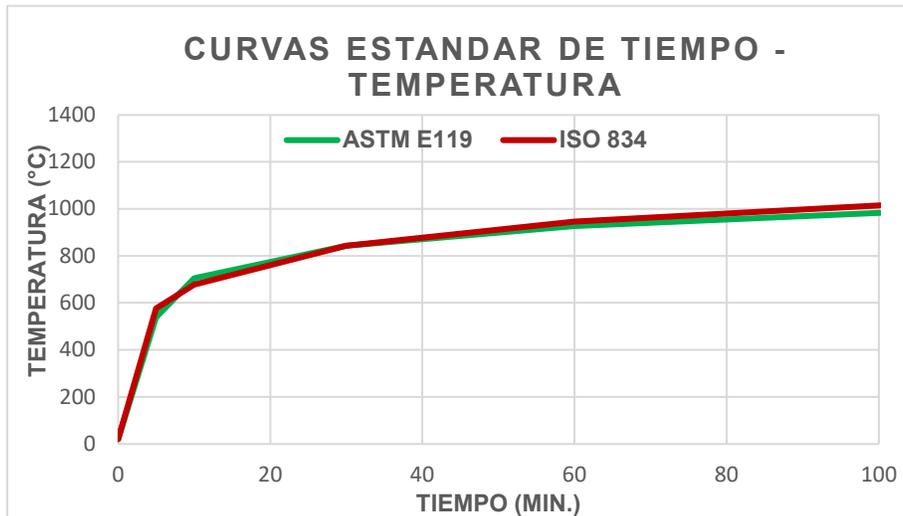


Ilustración 3: Curvas estándar de tiempo temperatura.

De la autora

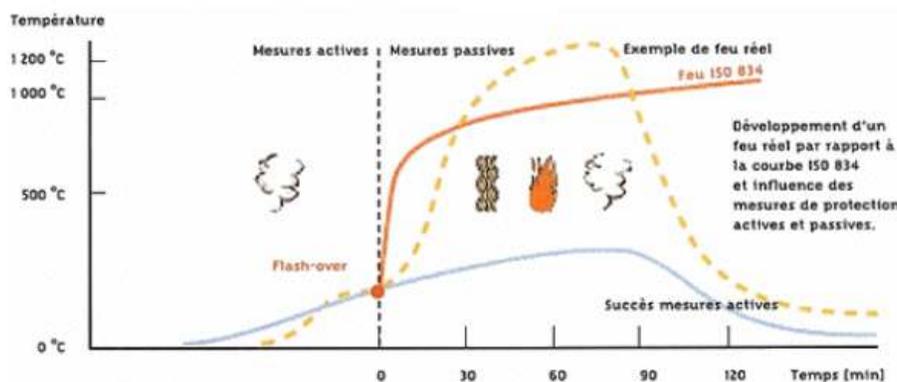


Ilustración 4: Curva ISO 834, comparada con un incendio real desarrollado y uno con medidas activas de protección.

(ZIGURAT, 2010)

En la **ilustración 3**, se aprecia que la curva ISO 834 Y ASTM E119, tienen casi la misma trayectoria.

En la **ilustración 4**, se grafica la curva normalizada ISO 834, que inicia justo en donde comienza el flashover. dicha curva tiende a crecer en temperatura a lo largo del tiempo, tiende a ser infinita, es decir como sí el combustible no se acabará.

En esta ilustración, también está la curva de incendio real en desarrollo, es la amarilla punteada. Esta curva incluso, crece un poco más que la curva normalizada, pero al acabarse el combustible, tiende a caer la temperatura a lo largo del tiempo.

Por último, se encuentra la curva azul, que es la curva, pero teniendo en cuenta las medidas activas, como pueden ser los rociadores. Gracias a lo anterior es un incendio fallido, por ende, es muy importante, la inclusión de las mismas en los diseños de protección contra incendios, en edificaciones.

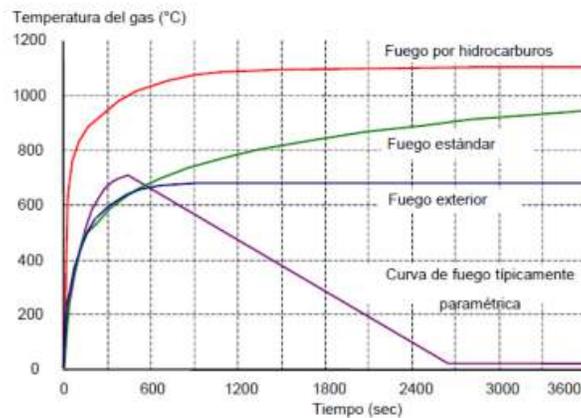


Ilustración 5: Curvas temperatura – tiempo, normalizadas ISO 834.

(ZIGURAT, 2010)

En la **ilustración 5**, se comparan las curvas normalizadas ISO 834, para fuego exterior, fuego estándar y fuego por hidrocarburos.

3.2.2. Factores que influyen en el desarrollo de un incendio:

Un incendio real, difiere notablemente en su desarrollo del incendio normalizado.

En su evolución, intervienen parámetros fundamentales:

- ❖ **Carga combustible:** La cantidad, tipo de material, área superficial, y disposición de la carga combustible, influyen en las características de la combustión de un incendio. La carga combustible, es una medida de la cantidad de energía, que proporcionan los combustibles por unidad de superficie del recinto. Este factor, influye de forma

decisiva en la duración de un incendio. La carga combustible, debe proveer suficiente energía calorífica, para desarrollar las condiciones de flashover. Además, si la carga combustible es baja, no se alcanzará un incendio limitado por la ventilación. (Ligan, 2018)

El flashover, es un fenómeno producido en incendios, en los cuales existe un aporte suficiente de oxígeno, producto de esto, la energía térmica que se libera, es la máxima posible para el combustible presente. También se le llama, combustión súbita generalizada. (Gutierrez, 2016)

Se debe evaluar, la carga combustible para el diseño. Existe la posibilidad de determinarla estadísticamente. (Gutierrez, 2016)

La densidad de carga de fuego, se puede estimar, sumando todas las cargas de fuego presentes en un edificio: es un enfoque determinista. Este enfoque estadístico, solo es válido para los tipos de edificios, donde se pueden esperar cantidades similares de carga de fuego. En esos casos, la densidad de carga de fuego, se puede dar como una distribución estadística, con un valor medio y una desviación estándar.

En la siguiente tabla, para varios tipos de edificios, se dan estos valores. Los valores se basan en Distribución de Gumbel tipo I. Los valores (para 80, 90 y 95% de percentiles/fractiles), se calculan utilizando esta distribución, asumiendo un coeficiente de variación de 0,3.

Cuando se habla de percentil 50, es el equivalente al promedio, cuando habla de percentil 8,0 se considera que solo el 20% supera ese valor. Lo óptimo, es que no debe usarse el valor medio de la carga de combustible, sino un percentil 80 o 90, con lo cual cambian las cargas. Ver tabla 2.

	Standard Deviation	Mean	80 % fractile	90 % fractile	95 % fractile
Dwelling	234	780	948	1085	1217
Hospital	69	230	280	320	359
Hotel (room)	93	310	377	431	484
Library	450	1500	1824	2087	2340
Office (standard)	126	420	511	584	655
School	85,5	285	347	397	445
Shopping centre	180	600	730	835	936
Theatre (cinema)	90	300	365	417	468
Transport (public space)	30	100	122	139	156

Tabla 2: Datos sobre la densidad de carga de fuego, para diferentes edificios (MJ/m²), con distribución Gumbel tipo I

(European Commission , 2014)

- ❖ Superficie abierta de ventilación o factor de aberturas: El desarrollo de un incendio, depende tanto del aporte de oxígeno, a través de las aberturas del recinto, como de la evacuación de humos y calor. (Orta, 2010)

Entonces, si la ventilación es insuficiente, el fuego, puede no alcanzar nunca el punto máximo, de liberación de calor de un incendio, totalmente desarrollado. En este caso, se produciría una fase de ardido lento y sin llama, a temperaturas menores, que las de un incendio típico, hasta la eventual extinción. (Ligan, 2018)

Los cambios en la ventilación, pueden ser causados por el propio incendio (rotura del vidrio de ventanas, o destrucción de la membrana en el caso de estructuras con este tipo de cubierta), por la acción de los ocupantes (al abrir puertas o ventanas), o bien por la acción de bomberos. (Ligan, 2018)

- ❖ La naturaleza de las paredes, que delimitan el sector de incendio, puede impedir o retrasar la progresión del mismo, hacia otras áreas o sectores de incendio. c

- ❖ Relación ventilación carga combustible: Ambos factores se encuentran estrechamente interrelacionados, pues la carga combustible, requiere de oxígeno para quemarse, mientras que la ventilación, aporta a la combustión, siempre que haya elementos combustibles para quemar. (Ligan, 2018)

En un incendio controlado por el combustible (no hay limitación de oxígeno), la tasa de liberación de calor, está limitada por la superficie combustible disponible. Las temperaturas, son mayores que en un incendio controlado por la ventilación y mucha energía calorífica, se pierde por las aberturas del recinto. En un incendio controlado por la ventilación (área de ventilación restringida), el suministro de aire se reduce y la tasa de liberación de calor, se encuentra limitada. Esto causa, que el combustible se queme de manera más lenta, más ineficiente, a menores temperaturas y por más largo tiempo.

La demarcación, entre un incendio controlado por la ventilación y uno controlado por la carga combustible, depende de la proporción entre estos factores. Los incendios controlados por la ventilación, son más comunes en incendios de edificios y usualmente producen las condiciones más severas para la estructura. Es por esto, que normalmente se da por hecho, que existe una combustión controlada por la ventilación, en un incendio completamente desarrollado.

En la **Tabla 3**, se resumen los cambios, que se generarían en ciertas características del incendio, si la ventilación se aumenta o disminuye, cuando no hay limitación por carga combustible; o si la carga combustible, se aumenta o disminuye, cuando no hay limitación por ventilación.

En la **Tabla 4**, por otra parte, se comparan los incendios, controlados por la ventilación y por la carga combustible, indicando en cuál de ellos ocurre la mayor duración y temperaturas, respectivamente.

Característica incendio	Variación de parámetros			
	Aumento ventilación	Disminución ventilación	Aumento carga combustible	Disminución carga combustible
Duración	Disminuye	Aumenta	Aumenta	Disminuye
Temperatura	Aumenta	Disminuye	Aumenta	Disminuye
HRR	Aumenta	Disminuye	Aumenta	Disminuye

Tabla 3: Influencia de la ventilación y la carga combustible en la duración, temperaturas y tasas de liberación de calor de un incendio.

(Ligan, 2018)

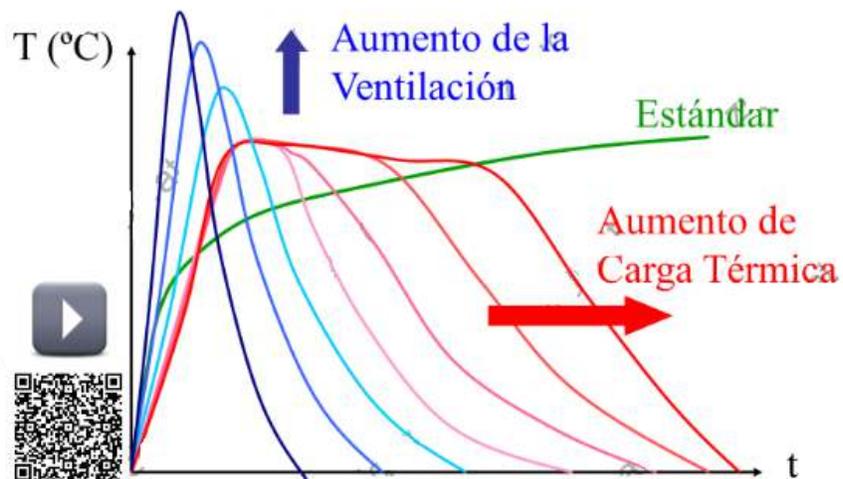


Ilustración 6: Diferentes curvas de incendio reales, con diversos parámetros de ventilación y carga térmica.

(ZIGURAT, 2010)

En la **ilustración 6**, se muestran las diferentes curvas de incendio reales. Cuando aumenta ventilación, mayor temperatura y menor duración. Cuando aumenta la carga térmica, mayor duración, mayor temperatura.

Parámetros comparativos	
Incendio controlado por la ventilación	Incendio controlado por la carga combustible
Mayor duración	Menor duración
Menor temperatura	Mayor temperatura

Tabla 4: Comparación de la duración y temperaturas de un incendio según si es controlado por la ventilación o por la carga combustible.

(Ligan, 2018)

3.2.3. Desarrollo de un incendio:

Un típico incendio compartimentado ocurre en cuatro etapas o fases: ignición, crecimiento y decaimiento. Además, se identifica un proceso denominado flashover. (Ligan, 2018)

- ❖ Fase de ignición: se produce el calentamiento del (los) elemento(s) combustible(s), por medio de procesos de combustión con llamas, sin llamas o por radiación, hasta su ignición. El fuego inicialmente se encuentra localizado y la distribución de temperaturas, en el compartimento es muy poco uniforme. Si no existen limitaciones de combustible y oxígeno, el incendio crece, emitiendo gases calientes que se acumulan en la parte superior del recinto, formando un estrato caliente en crecimiento.
- ❖ Fase de crecimiento: aumenta rápidamente la velocidad de calentamiento, alcanzándose la temperatura máxima y la participación total, del compartimento en el incendio, como resultado del flashover.
- ❖ Flashover: se define, como una fase de transición, en el desarrollo de un incendio compartimentado, en que las superficies expuestas a la radiación térmica, alcanzan la temperatura de ignición, de forma aproximadamente simultánea y el fuego se propaga, rápidamente en el espacio. De este proceso, resulta un incendio generalizado, cuya duración depende de la carga combustible y la ventilación del recinto.
- ❖ Fase de decaimiento: la mayor parte del combustible, se ha consumido y comienza a disminuir la tasa de combustión, llegando eventualmente a la extinción del fuego.

La curva tiempo-temperatura idealizada, de un incendio natural compartimentado, se muestra en la **Ilustración 7**, donde se la compara con una curva nominal estándar. Un incendio real, tiene características, que no son tomadas en cuenta en la curva estándar.

La escala de tiempo, está acorde a la curva nominal, que comienza cuando el incendio está totalmente desarrollado. La duración de cada fase del incendio natural, varía dependiendo de las condiciones en que se produce.

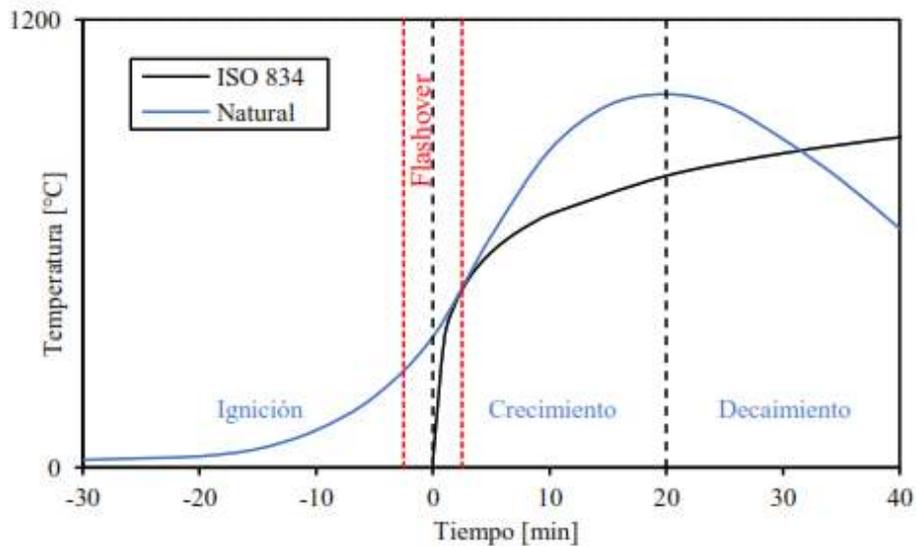


Ilustración 7: Curva tiempo – temperatura de un incendio natural compartimentado y tiempo – temperatura nominal ISO 834

(Ligan, 2018)

3.2.4. Liberación de calor:

La energía térmica o calorífica, es una forma de energía que se caracteriza, por la vibración de las moléculas de los materiales, siendo capaz de iniciar y sustentar cambios químicos y cambios de estado. Corresponde a la energía necesaria, para cambiar la temperatura de un objeto: al añadir energía térmica, la temperatura aumenta; al quitarla, la temperatura disminuye.

Para que se produzca la combustión, se requiere la suficiente cantidad de oxígeno, para reaccionar con el combustible disponible, como se vio anteriormente. La liberación de

calor, está directamente relacionada, con la cantidad de oxígeno necesaria, para la combustión, completa de una sustancia. La energía liberada, por gramo de oxígeno consumido durante la combustión completa de materiales combustibles naturales y orgánicos, es aproximadamente constante, promediando 13,1 kJ/g.

La tasa de liberación de calor (HRR, por sus siglas en inglés), corresponde a la cantidad de energía térmica liberada, en un incendio por unidad de tiempo. Es considerada una de las más importantes variables, al describir el peligro que supone un incendio. La tasa de liberación de calor, es influenciada por la cantidad de combustible y sus características, la ventilación y la eficiencia en la combustión. Alguna parte de la energía calorífica, es liberada a través de aberturas, y otra permanece sin quemar.

La **ilustración 8**, muestra, el desarrollo de la tasa de liberación de calor en el tiempo, considerando los escenarios descritos. De no existir limitaciones de oxígeno, la tasa de liberación de calor aumenta, hasta un punto determinado por la carga combustible, que es la que controla la combustión en dicho caso.

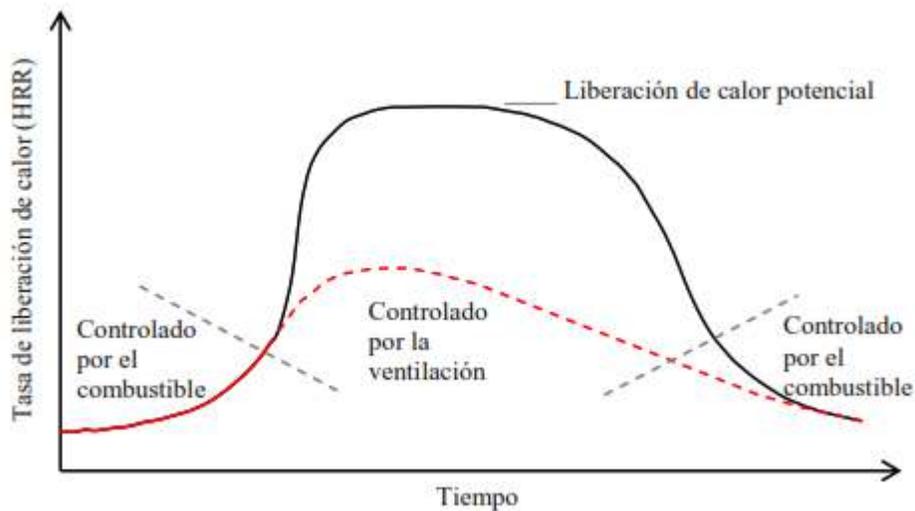


Ilustración 8: Tasa de liberación de calor en función del tiempo, en diferentes escenarios de incendio.

(Ligan, 2018)

3.2.5. Análisis de riesgo:

Los riesgos de incendio, se encuentran asociados, a la evaluación de la posibilidad de que se produzca un incendio o explosión en un recinto. Esta evaluación, se realiza en función de la combustibilidad, de los materiales presentes (grado de reacción al fuego), carga calorífica de los mismos, exposición a la ignición (o posibilidades de que dichos materiales obtengan la energía de activación suficiente para comenzar a arder), facilidades de propagación del incendio y colocación de los materiales dentro del edificio. (fullseguridad, 2017)

El análisis del riesgo, además mide las muertes, los heridos y el daño a la propiedad, en lugar de detenerse, en mediciones sobre cuántos cuartos o cuántos metros cuadrados, alcanzaron una temperatura en particular, o tenían niveles de humo o gas por encima de un umbral específico.(Macari, 2015, p.30)

“El análisis del riesgo para la ingeniería de protección contra incendios se basa en la introspección de tres preguntas: ¿qué podría pasar?, ¿qué tan malo podría ser si eso pasara? y ¿qué tan probable podría ser? “(Alcazar, 2019, p.46)

La primera, se refiere a la serie de eventos, que conllevan a las pérdidas por incendio. Esta secuencia completa, se conoce como escenario. La segunda pregunta, se refiere a la consecuencia, llamada peligro, que es la medida potencial de lo que se podría perder. La tercera pregunta, finalmente se refiere a la probabilidad y tiene una componente aleatoria. Sin embargo, se requiere que el análisis contenga al menos estos elementos fundamentales: (Alcazar, 2019, p.46)

❖ Existen, un gran número de tipos y modelos, para análisis del riesgo debido a la versatilidad, que ofrece en términos de desempeño, ya que el riesgo, que se trata de minimizar, se aborda desde diferentes tipos de metodologías, logrando así, una alta eficacia del análisis. Sin embargo, para fines del análisis del proyecto se estudiaron los sugeridos por la NFPA 101, Código de Seguridad Humana (2018), del Capítulo 5, el cual solicita, cumplir como mínimo con 8 escenarios de fuego, los cuales, son resumidos a continuación.(Alcazar, 2019, p.46)

Escenario de incendio	Descripción del escenario, extraído de la NFPA 101
1	Escenario para el diseño específico de la ocupación, representativo del número y tipo de ocupantes. Tendrá en cuenta la actividad, ocupación, tamaño de estancias, contenido, combustibles y ventilación
2	Incendio de desarrollo ultra-rápido, con las puertas interiores abiertas al iniciarse el incendio. Incluye las consecuencias en la reducción de las vías de evacuación
3	Inicio del incendio en una habitación vacía que pone en riesgo a un espacio próximo con gran número de ocupantes por crecimiento del fuego
4	Inicio del incendio en un espacio confinado de pared o falso-techo adyacente a una sala grande ocupada. El incendio incluirá las consecuencias de no disponer sistema de detección ni supresión allí donde se origina el incendio
5	Incendio que se desarrolla lentamente, muy próximo a un área ocupada y donde no llegan los sistemas de supresión automática. Fuente de ignición pequeña que ocasiona un incendio importante
6	Incendio más severo resultante de la máxima carga combustible que el edificio puede contener en un uso habitual del mismo. Incendio de desarrollo rápido con los ocupantes
7	Incendio de exposición exterior, que se produce en una ubicación alejada del área de estudio, pero que bloquea las vías de evacuación o se desarrolla en condiciones inaceptables
8	Incendio con combustibles habituales en un espacio donde fallan todos los sistemas contraincendios

Tabla 5: Número mínimo de escenarios.

(C & I, 2017)

- ❖ El Manual de Protección Contra Incendios de la **SFPE 2016**, brinda una serie de métodos, que pueden ser revisados, para la selección del escenario de diseño y estos son los siguientes: (Alcazar, 2019, p.47)

“Análisis de efectos y modo de falla, donde los diferentes tipos de falla que podrían ocurrir son estudiados y los efectos de estas fallas son analizadas.” (Alcazar, 2019, p.47)

“Análisis de efectos y modo de falla, donde los diferentes tipos de falla que podrían ocurrir son estudiados y los efectos de estas fallas son analizadas.” (Alcazar, 2019, p.47)

“Análisis “¿qué pasaría sí?”, donde la opinión experta, es usada para considerar eventos posibles y las consecuencias de estos. (Alcazar, 2019, p.47)

3.3. Estados límite, de las estructuras de acero bajo la acción de incendio:

En situación de incendio, el aumento de la temperatura, provoca una pérdida considerable, de la capacidad estructural y un incremento importante, de la deformación de los elementos estructurales. A continuación, se comentan los aspectos más relevantes, de los dos estados límites Últimos:(ZIGURAT, 2010)

3.3.1. Estado límite de colapso:

Se considera, que la estructura ha alcanzado su límite de agotamiento, cuando la pieza o estructura expuesta a temperatura elevada, ha alcanzado su máxima capacidad resistente, como resultado de transformación de la estructura, en un mecanismo e inestabilidad elástica, existen 2 métodos de cálculo:

- ❖ Método comparación sollicitación/resistencia: El procedimiento de cálculo, basado en la comparación de la sollicitación, respecto a la resistencia es apropiada para:
 - Piezas con fenómenos de inestabilidad.
 - Piezas con protecciones, irregulares en su perímetro o condiciones de exposición muy diferentes.
 - Además, de todas las piezas, en las que el método de la temperatura crítica, es adecuado.
- ❖ Método de la temperatura crítica: La temperatura crítica de una pieza, es la temperatura, en la que se alcanza la temperatura límite de colapso. Esta definición, requiere considerar el estado de cargas ponderado, en situación de incendio y la disminución del límite elástico, en el aumento de la temperatura. En los métodos simplificados de cálculo, se realiza una simplificación adicional, que consiste en considerar, la distribución espacialmente uniforme, de la temperatura en una pieza estructural metálica.

El método, tiene las siguientes limitaciones, por sus simplificaciones:

- Procedimiento restrictivo en estructuras, con geometrías irregulares, en donde la distribución de temperaturas no sea homogénea. Por ejemplo, en piezas metálicas, parcialmente embebidas en concreto, perfiles protegidos con espesores variables o irregulares, etc.
- No es procedimiento adecuado para piezas susceptibles a fallar por fenómenos de inestabilidad.
- No es apropiado para elementos mixtos.

3.3.2. Estado límite de deformación:

En la mayoría de las ocasiones, se puede prescindir, de la consideración del estado límite de deformación excesiva. Tan solo, se tendrá en cuenta, cuando la deformación de la estructura, afecte el funcionamiento de los mecanismos de propagación y protección activa contra incendios.

3.4. Análisis del problema:

Actualmente, existen dos metodologías del diseño de las estructuras cuando se afronta la seguridad en caso de incendio: Las prescriptivas y los métodos basados en prestaciones.

- ❖ Prescriptivo: “Se limitan a dar soluciones preestablecidas, determinando unos límites y unas medidas para lograr la seguridad exigida, pero sin permitir la incorporación de soluciones innovadoras, aunque cumplan con las exigencias mínimas requeridas.” (Cervera, 2004)

En el “método prescriptivo, no se deja flexibilidad alguna al proyectista para modificar esa exigencia, variando alguno de los requisitos (por ejemplo, con el uso de medidas activas o condiciones de los sectores de incendio.” (Cervera, 2004)

- ❖ Prestaciones (Desempeño): “Son una tendencia actual en la mayoría de los países.” (Cervera, 2004). “Se basa en el planteamiento de unas medidas de protección particularizadas a cada edificio, con base en el conocimiento relativo al desarrollo que tendrá el incendio en cada escenario probable” (Blanc & Navarro, 2017)

Para verificar la resistencia al fuego, según lo anteriormente expuesto, se puede hacer el análisis, mediante alguno de los siguientes métodos (**ver ilustración 9**):

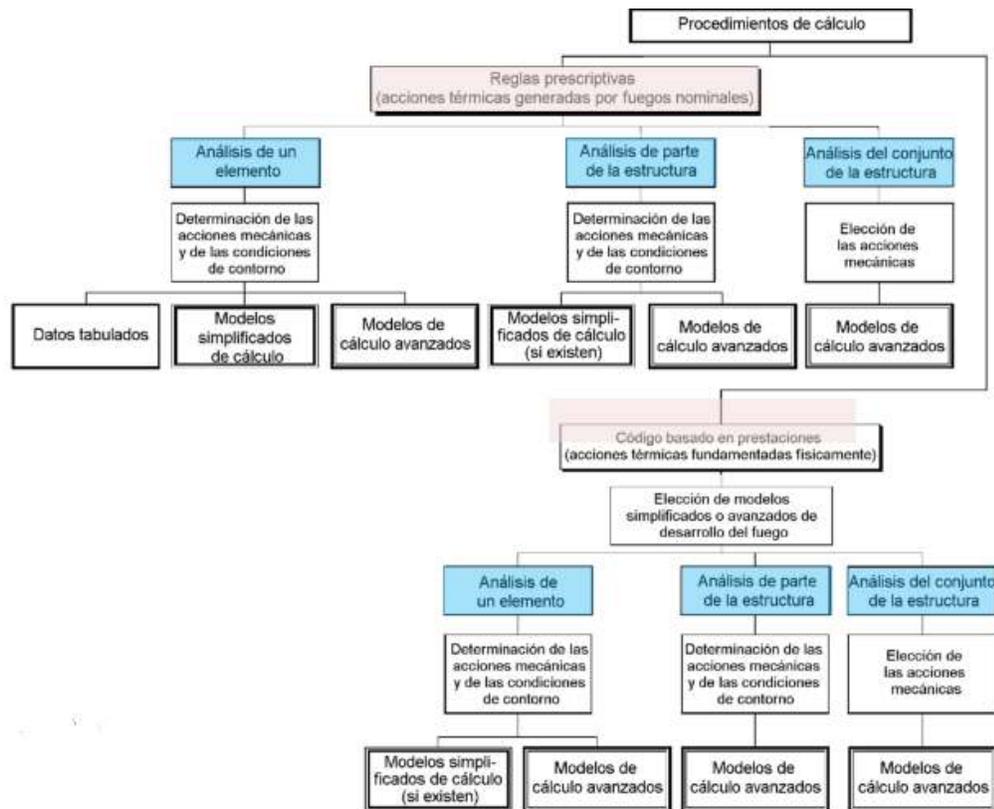


Ilustración 9: Métodos de análisis.

(ZIGURAT, 2010)

El análisis global de la estructura, en situación de incendio, deberá llevarse a cabo, teniendo en cuenta el posible modo de falla, ante la exposición al fuego, la influencia de temperatura en propiedades de materiales, en las rigideces de los elementos y deformaciones de origen térmico.

Se requieren de cálculos complejos, utilizando distribuciones no uniformes de temperatura y propiedades de variables de los materiales (módulo de elasticidad, coeficiente de dilatación y límite elástico).

El análisis de partes de la estructura, es una alternativa en la cual la sub estructura se expone al fuego. Requiere de cálculos complejos también. Se analizan sus elementos y las propiedades de los materiales, como dependientes de la temperatura. Las acciones

que actúan en la estructura, se consideran constantes, a lo largo de la exposición del fuego.

El análisis de elementos, permite verificar el comportamiento de una estructura, sometida a la acción del fuego. Se consideran constantes las acciones de apoyos, restricciones ya acciones en el contorno.

Este método, permite desprestigiar las acciones indirectas del fuego, es fácil de aplicar. Para poder desprestigiar los efectos térmicos, se deben usar las curvas temperatura – tiempo, como la ISO 834. Esta, es la simplificación más grande que se hace, para analizar el comportamiento, de una estructura ante la acción de incendio. **(Ver ilustración 10)**

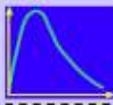
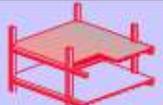
	Prescriptivo	Basado en prestaciones
	fuego estándar 	fuego natural 
	clasificación	ingeniería de seguridad ante incendio
	ing. de seguridad ante incendio	ingeniería de seguridad ante incendio

Ilustración 10: Clasificación vs. Ingeniería de seguridad ante incendios en estructuras

(ZIGURAT, 2010)

Siempre hay que determinar la temperatura Θ_g (masa gaseosa), posteriormente, se determina la temperatura, que alcanza la pieza resistente de acero, que dependerá de muchos factores, como la temperatura de la masa gaseosa Θ_g , el tipo de protección, de su masividad, etc.

En todo el proceso, interviene el tiempo de exposición al incendio.

Una vez determinada la temperatura del acero Θ_a , se determina la capacidad resistente del acero a esa temperatura.

Para la determinación de la temperatura de la masa gaseosa Θ_g , se puede recurrir a tres métodos de análisis:

- ❖ Método de nivel I-Simplificado
- ❖ Método de nivel II-Simplificado
- ❖ Método de nivel III

Los dos primeros métodos, son simplificados y se basan en el incendio normalizado, comentado anteriormente.

El tercer método, se basa en la determinación del incendio real, lo cual hace más complejos los cálculos.

Debido a la mayor aplicabilidad y sencillez de los métodos simplificados, el alcance del presente manual, solo analiza Métodos I y II.

La clasificación general, se puede ver en la **ilustración 11**:

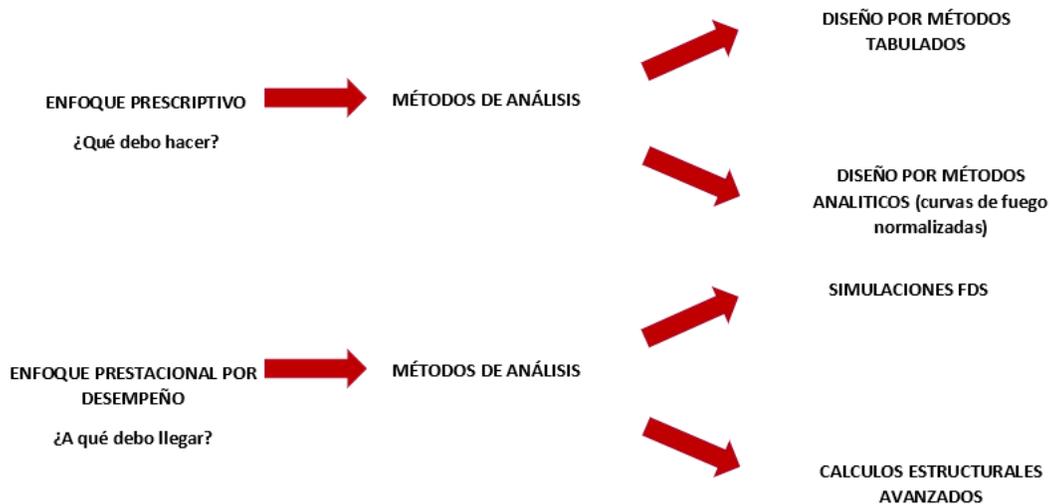


Ilustración 11: metodologías del diseño de las estructuras cuando se enfrenta la seguridad en caso de incendio.

Elaboración propia.

3.4.1. Diseño basado en Prestaciones (Desempeño):

Uno de los objetivos fundamentales, del Diseño Basado en Prestaciones, es poder plantear las medidas de protección, más adecuadas para cada edificio en particular. En el caso del diseño de las estructuras, éste se realiza, a partir del conocimiento de las curvas temperatura-tiempo reales, que afectarán a los entramados resistentes. (Blanc & Navarro, 2017)

El Diseño Basado en Prestaciones, es único, para cada edificio analizado mediante esta metodología. Sin embargo, se puede establecer una metodología de trabajo estructurada y aplicable a cualquier estudio prestacional. (Blanc & Navarro, 2017)

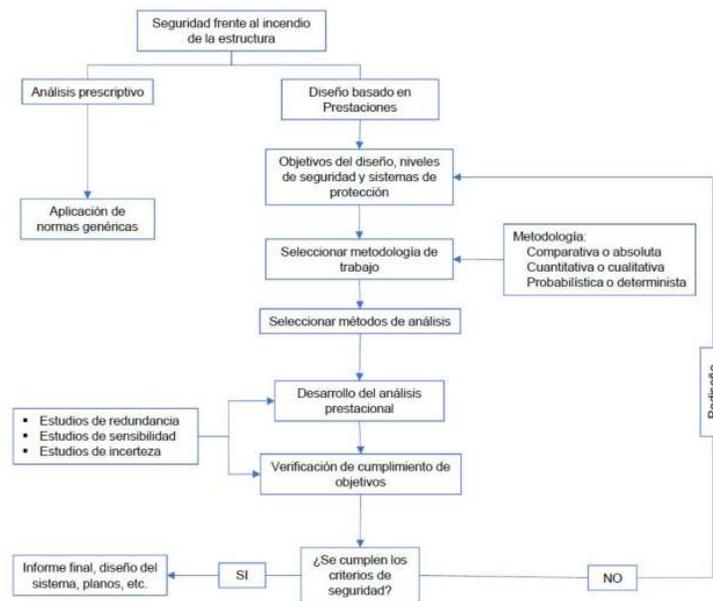


Ilustración 12: Metodología de análisis del diseño basado en Prestaciones (Desempeño).

(Blanc & Navarro, 2017)

3.4.2. Evolución histórica:

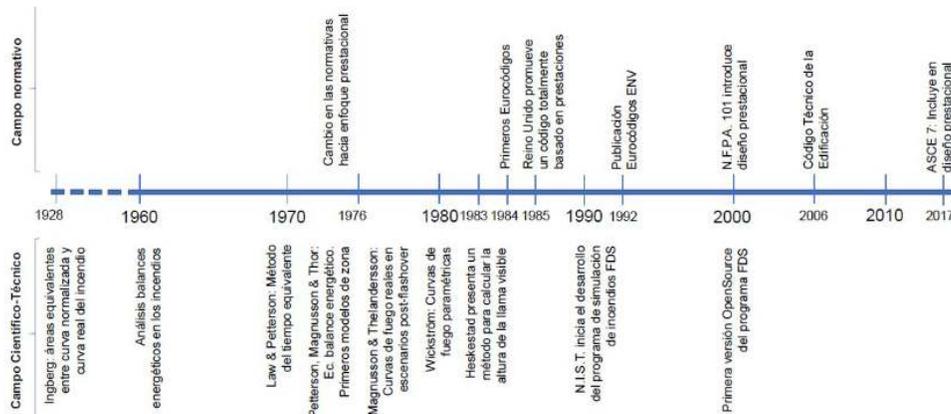


Ilustración 13: Línea del tiempo de los principales hitos en la implementación del diseño basado en prestaciones (Desempeño).

(C & I, 2017)

Los primeros pasos, para la implementación de un método basado en prestaciones surgen en 1928, cuando Simon H Ingberg (1877- 1971, jefe de División de Resistencia al Fuego, oficina de Normas de EE. UU) establece una relación de tiempo equivalente, a partir de las áreas equivalentes que engloban, respectivamente, la curva normalizada y la curva real de fuego. Sin embargo, este método debe ser descartado. No existe ninguna correlación física o matemática, que pueda apoyar este método de equivalencia. Debido a que el flujo de calor por radiación, es directamente proporcional, a la temperatura de la superficie emisora a la 4.ª potencia, las consecuencias de dos incendios, con la misma área encerrada por la curva temperatura-tiempo, pero diferente potencia liberada, pueden ser completamente diferentes.(C & I, 2017)

Es durante los años setenta, cuando **Law y Petterson**, definen lo que hoy en día se conoce como el método del tiempo equivalente, que, si bien no se puede considerar un método prestacional, que representa un avance, en el tratamiento de las estructuras de acero protegido y de hormigón armado. Sin entrar en las particularidades del método, hay que indicar, que el mismo ya tiene en cuenta aspectos particulares de cada edificio, como son el factor de ventilación del escenario, algo que Ingberg no había considerado, y la densidad total de carga de fuego.(C & I, 2017)

Al mismo tiempo, entre 1970 y 1980 Magnusson y Thelandersson, realizan un profundo análisis de las leyes térmicas, que se producen en diversos escenarios, mediante el estudio del flujo de calor, emitido por radiación en función de la potencia del incendio. Esto lleva a la definición de unas curvas temperatura-tiempo, que definen el escenario de incendio, después de producirse la combustión súbita generalizada, con combustibles de origen celulósico y para diversos coeficientes de ventilación.(C & I, 2017)

Este estudio, permite obtener, lo que se puede definir como unas curvas temperatura-tiempo, de fuegos reales analíticos, pero, que posteriormente, ha sido contrastado con un gran número de ensayos de laboratorio y donde se ha obtenido una correlación de resultados excelente. Estas curvas, han sido adoptadas, por ejemplo, por la normativa sueca, y permiten evaluar de manera simplificada, conociendo la ventilación y la densidad total de carga de fuego, cuáles son las temperaturas, a las que se verán sometidos los elementos estructurales en caso de incendio.(C & I, 2017)

Con el mismo objetivo, de determinar cuáles son las temperaturas reales, que afectan a una estructura en caso de incendio Wickström, durante el periodo 1980-1981, define las curvas de fuego paramétricas, utilizando las curvas de Magnusson y Thelanderson, como elemento de contraste para su validación. Estas curvas, hay que decir, que no tienen como objetivo, la definición de una ley real de temperaturas en función del tiempo, sino que su objetivo, es poder dictaminar sobre las máximas temperaturas, a las que se verán sometidos los elementos estructurales, en caso de incendio. Las limitaciones, del método son importantes. **Por ejemplo, no se pueden utilizar en sectores de incendio superiores a los 500 m², ni en alturas mayores de 4 m.** Sin embargo, cumpliendo estas condiciones y siendo conscientes, que únicamente se pueden utilizar en el caso de analizar incendios de origen celulósico, los resultados, obtenidos representan una buena aproximación a la realidad.(C & I, 2017)

Hasta ahora, todos los métodos que se han presentado son analíticos, y permiten obtener de manera simplificada las temperaturas, que se producen en un escenario de incendio. Sin embargo, a la vez que durante los años sesenta, se producen investigaciones relativas a los balances energéticos en los incendios y durante los años setenta, una serie de acontecimientos, promueve el cambio de las normativas, hacia un enfoque claramente prestacional, a nivel tecnológico, también se producen una serie de avances, que

permitirían el estudio preciso de las consecuencias, de un incendio en un edificio concreto. El año 1976 Petterson, Magnusson y Thor, exponen con claridad las ecuaciones de balance energético, que definen claramente, el comportamiento del incendio en espacios cerrados y desarrollan los primeros modelos informáticos de zona, gracias a los cuales se permite analizar de manera particular las leyes temperatura-tiempo, que acontecen en un escenario. Teniendo en cuenta parámetros, como la geometría del escenario, las características de los cerramientos y las propiedades del combustible y el incendio, se pueden obtener las temperaturas en los gases calientes, considerando que tanto la temperatura, la densidad, la energía y la presión del gas, son homogéneas en todo el recinto del incendio.(C & I, 2017)

Actualmente, son las simulaciones basadas en la dinámica computacional de fluidos (CFD), las teorías de la termodinámica y las de la combustión las que permiten evaluar con un mayor grado de precisión, cuáles son las temperaturas que inciden en los elementos estructurales. Estas simulaciones, resuelven las ecuaciones diferenciales parciales de Navier Stokes, para gases compresibles, permitiendo evaluar variables como la temperatura, la densidad, la velocidad de los gases o la concentración de especies químicas, en función del espacio y del tiempo. Esto, unido a las teorías de la Mecánica de los Medios Continuos, la Resistencia de los Materiales y el método de los elementos finitos, permite analizar con un nivel de detalle muy alto, el comportamiento de las estructuras en caso de incendio.(C & I, 2017)

Se puede apreciar, con este breve recorrido histórico, desde los años 1920 hasta la actualidad (**Ilustración 9**), como el objetivo, siempre ha sido poder garantizar la seguridad de las personas (y en paralelo, evaluar el grado de seguridad real de las estructuras), a través del diseño prestacional, particularizando las curvas temperatura-tiempo, concretas para cada edificio.(C & I, 2017)

3.4.4. Marco normativo Internacional:

“Una, cada vez más importante demanda de flexibilidad, por parte de los arquitectos en el diseño de las construcciones, así como la rápida, evolución de las tecnologías de la edificación, ha promovido que desde el año 2006, el Código Técnico de la Edificación, haya promovido, la utilización del Diseño Basado en Prestaciones, es decir, la

incorporación, de soluciones alternativas con prestaciones equivalentes, a las exigencias básicas del Código Técnico.”(C & I, 2017)

Este carácter prestacional del diseño, de las estructuras frente a la acción del fuego, tiene a día de hoy, un breve recorrido en España, escasamente diez años. Sin embargo, existen acontecimientos en diferentes países, desde los años setenta, que vienen promoviendo esta metodología de trabajo. Países como el Reino Unido, Japón, Estados Unidos, Australia o Nueva Zelanda, se pueden considerar precursores, en la introducción de los métodos prestacionales, en sus códigos de protección, frente al fuego de las estructuras. En todos estos países, se realizaron importantes esfuerzos, para adaptar sus códigos prescriptivos, durante las décadas de los años setenta y ochenta. (C & I, 2017)

Un importante ejemplo de ello es el Reino Unido, donde los Códigos de Edificación, habían tenido una importante componente prescriptiva, con el objetivo de evitar incendios, como el que destruyó Londres el año 1666. Sin embargo, unas reglas prescriptivas, cada vez más costosas de aplicar, tanto a nivel técnico como económico, promueven un cambio en el marco legislativo, fomentando el año 1985 un Código, basado en Prestaciones. (C & I, 2017)

Como ya se mencionó a modo de ejemplo, la guía NFPA 101, Código de Seguridad Humana, contiene en su capítulo 5 lo que denomina el Diseño Basado en Desempeño. En este no se especifican reglas concretas para llevar a cabo el diseño, sino que se establecen unas metodologías y unos objetivos de desempeño, que deberán ser evaluados a partir del diseño propuesto. En esta importante guía americana, se recogen algunos aspectos que deben ser básicos, en cualquier diseño basado en prestaciones. En primer lugar, establece en ocho, el número mínimo de escenarios de incendio, que deben ser analizados (**Tabla 5**), a no ser, que las características particulares del edificio, determinen que un número inferior de escenarios, son suficientes, para garantizar la seguridad de los ocupantes. (C & I, 2017)

Una de las últimas incorporaciones, al marco normativo internacional de los métodos prestacionales, es un anexo, no mandatorio, titulado **«Performance-based Design Procedures for Fire Effects on Structures»**, publicado en la nueva versión de la ASCE-7, Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. Este anexo E, aporta los procedimientos, para la evaluación prestacional de

los elementos estructurales y sus conexiones. Esto, constituye una clara alternativa, al diseño tradicionalmente prescriptivo, para alcanzar los requerimientos de diseño de la estructura. (C & I, 2017)

De manera complementaria, a todo este marco normativo internacional, actualmente existe un conjunto de documentos, considerados fundamentales, en el desarrollo de los estudios prestacionales. Se trata del conjunto de normas, publicadas por el Comité Técnico internacional ISO TC 92/SC-4 «Fire safety». Dichas normas están siendo actualmente traducidas como normas UNE-ISO, españolas por el Comité Técnico de Normalización 23 de AENOR, Subcomité 8 «Ingeniería de protección contra incendios» (AEN/CTN23/SC8). (C & I, 2017)

3.5. Tiempo de fuego requerido. Método simplificado II- Tiempo equivalente:

El tiempo equivalente de fuego normalizado (t_e), es el tiempo de exposición a la curva normalizada tiempo – temperatura, que se supone que tiene un efecto térmico, igual al de un incendio real, en el sector de incendio considerado (UNE – EN – 1993 – 1 – 2:2005), se determina mediante la siguiente expresión:

$$t_e = q_{f,k} * \gamma_n * \gamma_s * W * K * M = q_{f,d} * w_f * k_b * k_c \text{ (minutos)}$$

Siendo:

$q_{f,k}$ = Valor característico de la carga de fuego (MJ/m²)

w_f =Coeficiente de ventilación

k_b = Factor relacionado con las propiedades térmicas, de los materiales que forman el sector de incendio.

k_c =Factor de corrección, según el material del elemento estructural.

3.5.1. Campo de aplicación del método Nivel II:

- ❖ No es aplicable a estructuras mixtas de acero y concreto.
- ❖ No es aplicable a estructuras de madera.

El método del nivel II, se caracteriza, por no imponer temperaturas en el acero, superiores a la máxima temperatura alcanzada, en dicho material durante el incendio real.

3.6. Diseño por nomogramas. Método simplificado II- Temperatura crítica:

Método gráfico, para determinar la resistencia al fuego, de las estructuras de acero según EN 1993-1-2:2005.(Apta, 2005).

3.6.1. Bases de Cálculo:

El instante de colapso de una estructura de acero depende de (Apta, 2005):

- ❖ La temperatura crítica del acero $\theta_{a,cr}$: las propiedades del acero dependen de la temperatura - ver (figura 3.5.). La temperatura crítica es la temperatura de colapso de la estructura de acero. Ésta depende del grado de utilización del grado de utilización μ_0 :

$$\mu_0 = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,0}}$$

$E_{fi,d}$ Efecto de cálculo de las acciones para la situación de incendio.

$R_{fi,d,0}$ Resistencia de cálculo en situación de incendio en el instante $t=0$. Para las vigas y los elementos sometidos a tracción, $R_{fi,d,0}$ es igual a la resistencia a temperatura ambiente R_d ya que $\gamma_{Mfi}=1,0$. Para los soportes continuos de varias plantas, en el caso de que cada planta sea un sector de incendio distinto, la longitud de pandeo considerada en el cálculo puede reducirse a un valor:

$l_{fi} = \alpha L_{cr}$, donde

$\alpha = 0,5$ Para los soportes de plantas intermedias;

$\alpha = 0,7$ Para los soportes de la planta superior;

En el resto de los casos de longitud de pandeo, permanece al igual a la considerada a temperatura ambiente ($\alpha = 1$).

- ❖ La velocidad de calentamiento: Que depende de tres factores:

- a) La evolución de la temperatura del incendio;
- b) El factor de sección $P[m^{-1}]$, cociente entre la superficie expuesta al fuego (A) y el volumen de acero (V) por unidad de longitud;
- c) La contribución a la resistencia del acero al fuego, de los posibles materiales de protección. Dicha contribución viene determinada por su espesor d_p y por las características térmicas:

Conductibilidad térmica λ_p $[W/mK]$

Calor específico c_p $[J/kgK]$

Densidad ρ_p $[kg/m^3]$

La influencia sobre la resistencia al fuego se determinará según ENV 13381-4 O ENV 13381-8, o según la normatividad nacional.

3.7. Curvas paramétricas de temperatura (método de nivel III- simplificado):

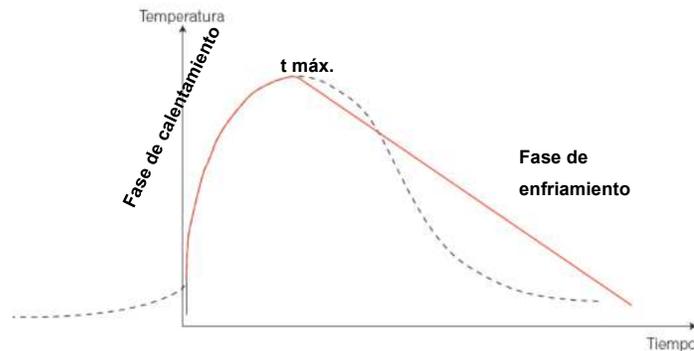


Ilustración 14: Curva paramétrica y su aproximación a la curva de fuego natural.

(ZIGURAT, 2010)

En la **ilustración 14**, se grafican dos fases, la fase de calentamiento que consiste en una curva logarítmica y la fase de enfriamiento, que consiste, en una pendiente. La curva paramétrica, es un intento matemático, por representar, la curva real de incendio. La intersección entre la fase de calentamiento y fase de enfriamiento, se denomina, temperatura máxima.

Se puede emplear, con las siguientes restricciones en edificaciones con:

- ❖ Áreas menores o iguales a 500 m².
- ❖ Alturas libres de máximo de 4m.
- ❖ Sin aberturas en la cubierta.

Los calculos matemáticos, parten de la siguiente fórmula:

$$\theta_g = 20 + 1325 \left(1 - 0.324e^{-0.2t^*} - 0.204e^{-1.7t^*} - 0.472e^{-19t^*} \right)$$

En donde θ_g =Temperatura de los gases en el sector incendio °C.

3.8. ¿Como se evalúa, la resistencia del acero bajo la acción del incendio?:

En la norma Europea EN - 1993-1-2, existe un apartado, que hace referencia, a la variación de las propiedades mecánicas con la temperatura, agrupándose, como factores de reducción de la resistencia, el límite elástico y el módulo de elasticidad, tal y como se evidencia en la **Tabla 6**. Dichos factores, también se visualizan en la **Ilustración 10**, en la que se puede apreciar cómo hasta los 400°C, la resistencia de los aceros prácticamente se mantiene constante. Entre 400°C y 600°C, se produce una reducción de la resistencia, que puede ser superior al 50%. (Irene, 2014)

Según los Eurocódigos, son varios los métodos simples de cálculo, que pueden utilizarse para evaluar la resistencia al fuego, de las estructuras en situación de incendio. Uno de ellos, es la temperatura crítica, que se aplica fundamentalmente, en el análisis de los elementos estructurales de acero. (Irene, 2014)

La temperatura crítica, se calcula teniendo en cuenta, las acciones mecánicas aplicadas, la resistencia de cálculo a temperatura normal y la pérdida de resistencia del acero, a temperaturas elevadas. Esta temperatura, normalmente varía entre 500 y 800 °C. Se puede calcular, siguiendo las sencillas expresiones que se dan en la norma EN - 1993-1-2 (Irene, 2014). En el capítulo IV del manual, se realizan ejemplos al respecto.

Temperatura del Acero °C	Factores de reducción a una temperatura relativa de 20 °C		
	Para rendimiento efectivo de resistencia $k_{\theta} = f_{\theta} / f_t$	Para límite proporcional $k_{p\theta} = f_{p\theta} / f_y$	Para la pendiente en un rango lineal elástico $k_{E\theta} = E_{\theta} / E_s$
20	1,000	1,000	1,000
100	1,000	1,000	1,000
200	1,000	0,807	0,900
300	1,000	0,613	0,800
400	1,000	0,420	0,700
500	0,780	0,360	0,600
600	0,470	0,180	0,310
700	0,230	0,075	0,130
800	0,110	0,050	0,090
900	0,060	0,038	0,068
1000	0,040	0,025	0,045
1100	0,020	0,013	0,023

Tabla 6: Coeficientes de corrección de las características mecánicas del acero en función de la temperatura, según EN – 1993 – 1 – 2.

Elaboración propia.

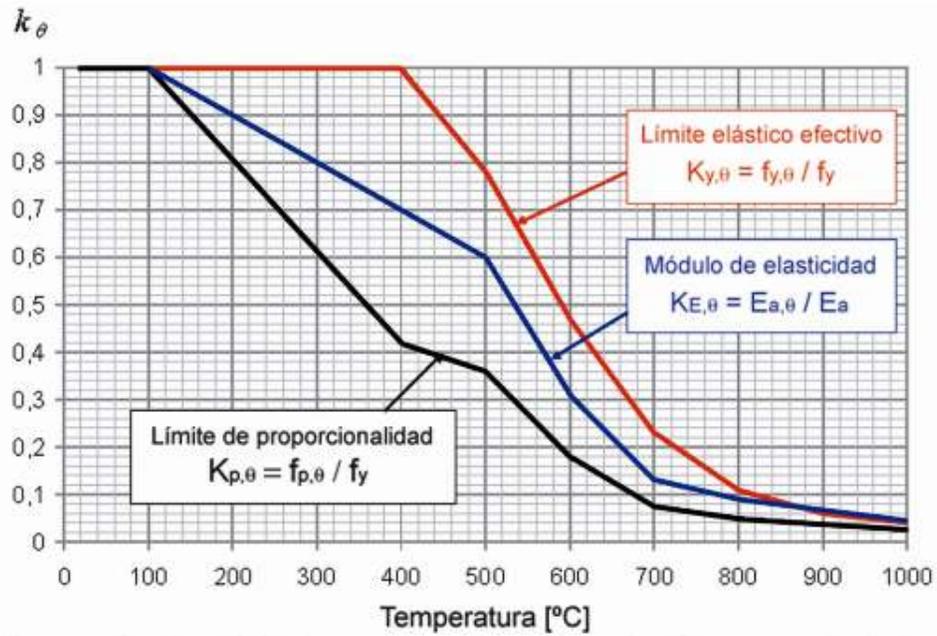


Ilustración 15: Coeficientes de corrección de las características mecánicas del acero en función de la temperatura.

(Apta, 2005)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

- ❖ En el apéndice se incluye, el Manual Educativo para la protección contra incendios en edificaciones y guía de curvas de incendios, de acuerdo con lo establecido en los títulos **F, J y K de la NSR.**
- ❖ La seguridad humana en las edificaciones, es muy importante para la prevención de tragedias. Se recomienda realizar un trabajo de sensibilización, a los profesionales responsables del desarrollo de los proyectos, con el fin de concientizarlos y que los códigos no solo se queden en el papel, sino sean llevados a la práctica.
- ❖ Los métodos prescriptivos, pueden llegar a resultados muy coherentes. Sí, al realizar el análisis de la estructura, para protección contra incendios, se tienen en cuenta **varios escenarios**, con el fin de obtener una envolvente de diseño, a través del análisis de varias curvas.
- ❖ El Eurocódigo, establece, no solo realizar el análisis de la carga combustible, del percentil 50, sino también con el 80, 90 y 95. Es recomendable, adoptar esta metodología en Colombia. En la cual, la curva más exigente, es la que tiene mayor carga combustible y controlada por ventilación.
- ❖ No necesariamente, usar los métodos prescriptivos, genera economía en la construcción de las edificaciones. Sin embargo, al realizar el análisis, con varias curvas de diseño y teniendo en cuenta, diferentes percentiles de carga combustible y variación de ventilación, se garantiza una buena propuesta, de diseño de protección contra incendios. La cual, no difiere mucho con los resultados de un análisis prestacional, obviamente, se deben tener en cuenta las limitaciones, del método a emplear. Es decir, nunca se debe sacar una conclusión, con un solo escenario.

- ❖ Dado que el acero, tiene un mal comportamiento, ante temperaturas elevadas a partir de los 400 °C, ya que comienza a experimentar una notable reducción, en su elasticidad y límite elástico, es imprescindible, adoptar medidas de protección activa o pasiva, para reducir este comportamiento.
- ❖ La optimización de los costos de las protecciones pasivas, se pueden evaluar, siguiendo los procedimientos propuestos en el Manual Educativo; teniendo en cuenta, al realizar el análisis, los diferentes escenarios y los distintos tipos de materiales existentes en el mercado para este fin.
- ❖ Actualmente en Colombia, lamentablemente el diseño de protección contra incendio, se tiene en cuenta en la fase final del proyecto de construcción de una estructura. Por ende, la recomendación habitual de protección, es el uso de pintura intumescente, aumentando así el costo directo de obra, entre un 30 a 40%. El diseño de protección contra incendio, debería realizarse al principio del mismo, a la par con el diseño arquitectónico y estructural. Al igual es necesario realizar, el análisis completo de la estructura y chequear otros materiales de protección, de esta manera contribuirá con un ahorro significativo en los costos del proyecto.

BIBLIOGRAFIA:

- Bomberos Ceis Guadalajara. (2015). Teoría del fuego. En P. A. Escudero, *Manual de incendios* (pág. 43). Guadalajara: Griker Orgemer.
- Carrera, S., Irigoyen, v., Hernández, L., & Luna, G. (2019). Alternativas de protección de vigas de acero frente al fuego y valoración económica. 21.
- European Commission . (2014). *Eurocodes: Background & Applications, Worked examples* . European Union.
- fullseguridad. (marzo de 2017). *Comportamiento del fuego en interiores*. Obtenido de <http://fullseguridad.net/wp-content/uploads/2017/03/COMPORTAMIENTO-DEL-FUEGO-EN-INTERIORES.pdf>
- Garcia, V. (2017). *Estado del arte y metodología del proyecto de estructuras de acero frente al fuego*. Cartagena, España: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Gómez, J. (2020). *Diseño de estructuras de acero en condición de incendio*. Bogotá: ICCA.
- Gutierrez, C. (2016). *Requerimientos reglamentarios sobre el comportamiento al fuego de materiales usados en edificios de reunión de personas*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Huertas, I. (2014). *Análisis del comportamiento de aceros al carbono frente al fuego*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Irene, H. (2014). *Análisis del comportamiento de aceros al carbono frente al fuego*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- NFPA 101. (2018). *NFPA* . Obtenido de <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=101>
- Remontiro. (12 de marzo de 2018). *Remontiro*. Obtenido de Remontiro: <https://remontiro.ru/es/popular/fireproof-barrier-design-limits-their-fire-resistance-classification-of-fire-barriers/>

- AIS. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente NSR-10*.
- Albert Jimenez. (n.d.). *Cálculo de resistencia al fuego en estructuras (en)*. 42.
- Alcazar, M. (2019). *Análisis de seguridad humana basado en desempeño en caso de incendio del edificio de la facultad de ingeniería de la universidad de costa rica*.
- Apta. (2005). *APTA*. 2–7.
- Blanc, C. M., & Navarro, I. F. (2017). *El Diseño Basado en Prestaciones frente al Incendio de las Estructuras de Edificación Fire Performance-Based Design of Building Structures*. 69.
- C, M. B., & I, F. N. (2017). *El Diseño Basado en Prestaciones frente al Incendio de las Estructuras de Edificación Fire Performance-Based Design of Building Structures*. 69.
- Cervera, M. L. (2004). (*CALIBRATION OF THE EQUIVALENT TIME OF FIRE EXPOSURE ACCORDING TO THE SPANISH*).
- CTE. (2006). *Documento Basico SI, Seguridad en caso de Incendio*.
- Holman, J. P. (1999). *Transferencia de Calor*.
- Ingenieros, S. C. de. (2020). *Anales de Ingenieria. Proteccion Contra Incendios*, 948, 106. https://sci.org.co/wp-content/uploads/2020/06/948_web.pdf
- International Code Council. (2015). *International Building Code (IBC)*. www.iccsafe.org/CodesPlus
- Ligan, V. (2018). *Comportamiento al fuego de edificaciones livianas con cubierta de membrana*.
- Macari, R. (2015). *Criterios que determinan los requerimientos de resistencia al fuego de elementos estructurales*.
- Martinez, J. (2015). *Teoría del fuego* (BOMBEROS CEIS GUADALAJARA (ed.)).
- Navarra, B. de. (2001). El fuego o combustión. In B.S (Ed.), *Manual de Extinción de*

incendios (p. 11).

NFPA. (2015). *NFPA 5000*.

NFPA. (2018). *NFPA 101 Código de Seguridad Humana*.

NIST Technical Note 1681. (2010). *Best practice guidelines for structural fire resistance design of concrete and steel buildings*. <https://doi.org/10.6028/NIST.TN.1681>

Orta, B. (2010). El tiempo equivalente de exposición al fuego en un edificio histórico. *Informes de La Construcción*, 62(520), 57–66. <https://doi.org/10.3989/ic.09.060>

Real, P. V. (1993). *EN 1993-1-2 Resistance of members and connections to fire Paulo Vila Real*.

Smith, J. M. (1997). *Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química*.

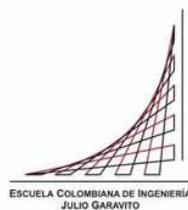
ZIGURAT. (2010). B4 Protección. *Master Internacional de Estructuras Metálicas y Mixtas En Edificación*.

**ANEXO A: MANUAL EDUCATIVO PARA LA PROTECCIÓN
CONTRA INCENDIOS EN EDIFICACIONES EN ACERO Y GUÍA DE
CURVAS DE INCENDIO**

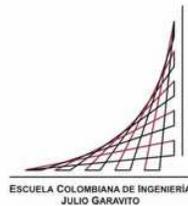
**ANEXO A: MANUAL EDUCATIVO PARA LA PROTECCIÓN
CONTRA INCENDIOS EN EDIFICACIONES EN ACERO Y GUÍA DE
CURVAS DE INCENDIO**

Claudia Maritza Santos Bernal

Ingeniera Civil, Especialista en Estructuras



**ANEXO A: MANUAL EDUCATIVO PARA LA PROTECCIÓN
CONTRA INCENDIOS EN EDIFICACIONES EN ACERO Y
GUÍA DE CURVAS DE INCENDIO**



Autora:

Ing. Claudia Maritza Santos Bernal, Ingeniera Civil de la Universidad de la Salle, Especialista en Estructuras de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Directora del Departamento Técnico y de Construcción de Construcciones y Consultorías Civiles Ltda.

Revisores:

Ing. Pedro Nel Quiroga Saavedra, Ingeniero Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Magister en Ingeniería Civil de la Universidad de los Andes, Ph.D. de University of Texas at Austin. Profesor del área de estructuras y materiales de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, en pregrado y posgrado.

Ing. José Joaquín Álvarez Enciso, Ingeniero Civil de la Universidad Santo Tomas de Aquino, Magister en Ingeniería Civil de la Universidad de los Andes. Coordinador del Departamento de Ingeniería de la Curaduría N°3 en Bogotá – Colombia.

Tabla de Contenido:

INTRODUCCIÓN	7
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO:	9
1.1 FUNDAMENTOS DE DINÁMICA DE FUEGO:	9
1.1.1. DEFINICIÓN DEL INCENDIO:	9
1.1.2. TRANSFERENCIA DE CALOR:	10
1.1.3. LEYES DE LA TERMODINÁMICA:	11
1.1.4. BALANCE TÉRMICO EN EDIFICACIONES:	12
1.2. OBJETIVOS DE LOS CÓDIGOS:	13
1.2.1. INCENDIO NORMALIZADO:	15
1.2.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESARROLLO DE UN INCENDIO:	18
1.2.3. DESARROLLO DE UN INCENDIO:	22
1.2.4. LIBERACIÓN DE CALOR:	24
1.2.5. ANÁLISIS DE RIESGO:	25
1.3. ESTADOS LÍMITE DE LAS ESTRUCTURAS DE ACERO BAJO LA ACCIÓN DE INCENDIO:	27
1.3.1. ESTADO LÍMITE DE COLAPSO:	27
1.3.2. ESTADO LÍMITE DE DEFORMACIÓN:	28
1.4. ANÁLISIS DEL PROBLEMA:	28
1.4.1. DISEÑO BASADO EN PRESTACIONES (DESEMPEÑO):	32
1.4.2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA:	33
1.4.4. MARCO NORMATIVO INTERNACIONAL:	36
1.5. TIEMPO DE FUEGO REQUERIDO. MÉTODO SIMPLIFICADO II- TIEMPO EQUIVALENTE:	37
1.5.1. CAMPO DE APLICACIÓN DEL MÉTODO NIVEL II:	38
1.6. DISEÑO POR NOMOGRAMAS. MÉTODO SIMPLIFICADO II- TIEMPO EQUIVALENTE:	38
1.6.1. BASES DE CÁLCULO:	38
1.7. CURVAS PARAMÉTRICAS DE TEMPERATURA (MÉTODO DE NIVEL III- SIMPLIFICADO):	40
1.8. ¿COMO SE EVALÚA, LA RESISTENCIA DEL ACERO BAJO LA ACCIÓN DEL INCENDIO?:	41
CAPITULO II: EJEMPLO N.º 1, CORRESPONDIENTE AL MÉTODO DEL NIVEL I (PRESCRIPTIVO): RESISTENCIA REQUERIDA PARA UN EDIFICIO (USO: LUGAR DE REUNIONES Y COMERCIO), SEGÚN NSR, NFPA E IBC.	43
2.1 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO	43

2.1.1 EVALUACIÓN DE CARGAS UNITARIAS	45
2.1.2 PARÁMETROS DEL ESPECTRO DE DISEÑO, SEGÚN NSR-10:	45
2.1.3 RESUMEN DE DERIVAS:	46
2.1.4 RESULTADOS DEL DISEÑO ETABS:	47
2.2 DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO DE LA EDIFICACIÓN, SEGÚN NSR-10	48
2.2.1 PASO 1	48
2.2.2 PASO 2:	49
2.2.3 PASO 3:	49
4.2.6 PASO 5:	53
4.2.7 PASO 6:	53
2.3 DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO DE LA EDIFICACIÓN, SEGÚN NFPA 101:	56
2.4 DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO DE LA EDIFICACIÓN, SEGÚN IBC	62
2.5 COMPARACIÓN DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS SEGÚN NSR, NFPA E IBC.	68
CAPITULO III: EJEMPLOS: DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO (USO: HOTEL).	69
3.1 EJEMPLO N.º 2: TIEMPO DE FUEGO REQUERIDO. MÉTODO SIMPLIFICADO III, CURVAS PARAMÉTRICAS DE TEMPERATURA. SEGÚN UNE - EN 1991-1-2:2004.	69
3.1.1 ASUME PARA PERCENTIL DE CARGA COMBUSTIBLE DEL 80%, CON FACTOR DE ABERTURA O=5,10%:	69
3.2 EJEMPLO N.º 3: TIEMPO DE FUEGO REQUERIDO. MÉTODO SIMPLIFICADO III, CURVAS PARAMÉTRICAS DE TEMPERATURA, TENIENDO EN CUENTA LAS MEDIDAS ACTIVAS. SEGÚN UNE - EN 1991-1-2:2004.	72
3.2.1 ESCENARIO B, CON MEDIDAS ACTIVAS ANTE INCENDIO:	72
3.2.2 COMPARACIÓN CON CURVA PARAMÉTRICA DE TEMPERATURA - TIEMPO, SEGÚN UNE- EN 1991-1-2:2004.	77
3.2.3 RESUMEN DE DISTINTOS ESCENARIOS Y COMPARACIÓN SIN Y CON MEDIDAS DE PROTECCIÓN ACTIVAS DE CURVA PARAMÉTRICA DE TEMPERATURA TIEMPO SEGÚN UNE – EN – 1991 – 1 – 2, VARIANDO FACTORES DE ABERTURA Y CARGA COMBUSTIBLE EN LOS PERCENTILES 80 Y 95.	80
3.2.4 RESUMEN DE DISTINTOS ESCENARIOS Y COMPARACIÓN DE MEDIDAS DE SEGURIDAD ACTIVAS CON CURVA PARAMÉTRICA DE TEMPERATURA TIEMPO SEGÚN UNE – EN – 1991 – 1 – 2, CON DIFERENTE VENTILACIÓN (FACTOR DE ABERTURA) Y VARIANDO LA CARGA COMBUSTIBLE EN LOS PERCENTILES 80 Y 95, PARA USO VIVIENDA:	84
CAPITULO IV: EJEMPLOS: DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO, POR TIEMPO EQUIVALENTE Y TEMPERATURA CRITICA	87
4.1 EJEMPLO N.º 4 (CONTINUACIÓN DEL EJEMPLO N.º1). TIEMPO DE FUEGO REQUERIDO. MÉTODO SIMPLIFICADO II, TIEMPO EQUIVALENTE, SEGÚN DOCUMENTO BÁSICO SI “SEGURIDAD EN CASO DE INCENDIO” DEL MINISTERIO DE GOBERNACIÓN DE ESPAÑA. (USO: LUGAR DE REUNIONES Y COMERCIO).	87

4.1.1 CURVA NORMALIZADA TIEMPO - TEMPERATURA	88
4.1.2 VENTILACIÓN:	88
4.1.3 VALOR CARACTERÍSTICO DE LA DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO	90
4.1.4 VALOR DE CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO	91
	93
4.1.5 TIEMPO EQUIVALENTE:	93
4.2 EJEMPLO N.º 5: TIEMPO DE FUEGO REQUERIDO. MÉTODO GRAFICO (SIMPLIFICADO II) PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL FUEGO DE LAS ESTRUCTURAS DE ACERO SEGÚN EN 1993-1-2:2005 POR TEMPERATURA CRITICA (NOMOGRAMAS).	98
4.2.1 CHEQUEO VIGA IPE 330 SIN PROTECCIÓN:	99
4.2.2 CHEQUEO VIGA IPE 330 CON PROTECCIÓN:	103
	105
4.2.3 CHEQUEO COLUMNA HEA 320 (CENTRAL) CON PROTECCIÓN:	111
4.2.4 CHEQUEO COLUMNA HEA 320 (ESQUINERA) CON PROTECCIÓN:	119
4.2.5 RESUMEN DE ESPESORES DE PROTECCIONES PARA LOS DISTINTOS PERFILES:	127
4.3 EJEMPLO N.º 6: CURVAS DE INCENDIO REAL. SEGÚN UNE - EN 1991-1-2:2004. MODELADO EN PROGRAMA OZONE VERSIÓN 3.0.4.	128
LIMITACIONES DE LOS MÉTODOS:	137
LISTA DE TABLAS:	139
LISTA DE ILUSTRACIONES:	142
BIBLIOGRAFÍA:	145

Introducción

La ingeniería de protección contra incendios, es una especialidad de diseño, que brinda la estabilidad en las edificaciones, cuando los elementos estructurales, se someten a altas temperaturas durante el incendio.

La historia, de la ingeniería de protección contra incendios, se remonta a la antigua Roma. Cuando Nerón ordena escribir un código constructivo, en el que se requiere, la utilización de materiales resistentes al fuego, en las paredes exteriores de las viviendas. Sin embargo, no fue hasta la Revolución Industrial, en Gran Bretaña (Siglo XVIII) y más tarde en E.E.U.U (XIX), que se desarrollan nuevas tecnologías, de Protección contra Incendios. Después de múltiples y aterradores incendios, nace en E.E.U.U. la NFPA, en el siglo XIX. Siendo el prelude de lo que hoy conocemos, como **Ingeniería de Protección Contra Incendios**.

Para el diseño de una estructura, en condición de incendio, existen actualmente dos enfoques (o dos tipos de metodologías) cuando se afronta la seguridad en caso de incendio: Los prescriptivos y los basados en prestaciones (por desempeño).

El enfoque prescriptivo, consiste en seguir una curva normalizada tiempo – temperatura, obteniendo a partir de ella, los requerimientos de resistencia de los elementos estructurales. El dimensionamiento de un elemento estructural, frente a la acción del fuego, debe satisfacer los códigos vigentes, nacionales e internacionales. Se debe contemplar el tiempo designado y aplicado, a la curva de fuego apropiada.

Las soluciones prestacionales, son posibles de acuerdo a las técnicas de ingeniería de fuego, o cálculos utilizando modelos de zona y la dinámica de fluidos computacional (CFD).

Los códigos, son un conjunto de medidas dispuestas, para tres fines esenciales:

- ❖ Salvar vidas humanas.
- ❖ Minimizar pérdidas económicas, producidas en el incendio.
- ❖ Lograr que el edificio, reanude sus actividades, en el menor tiempo posible.

En un incendio, se deben analizar los siguientes aspectos:

- ❖ Comportamiento del fuego (modelización),
- ❖ Comportamiento de la estructura, que a su vez surgen dos problemas: el térmico y el mecánico.

Con el aumento, importante de construcciones en área y en altura en Colombia (Dane, 2016); así mismo el potencial de riesgo por sus contenidos, el número de incendios probables, también ha aumentado. Por lo tanto, la protección contra incendios, en edificaciones es un aspecto de gran importancia, en el marco de la Ingeniería Estructural actualmente.

Puesto que, en los actuales programas universitarios, no se incluyen dentro del plan de estudios, la formación en temas de resistencia a incendios en estructuras; los estudiantes y los profesionales, no conocen el tema. Como resultado de la presente tesis, se elaborará un manual, titulado. “Manual Educativo para la protección contra incendios en edificaciones y guía de curvas de incendio”; con el fin de aplicarlo con criterio técnico, velar por la seguridad de vidas humanas y contribuir con un criterio técnico económico, **en obra al implementar los títulos F, J y K del reglamento NSR.**

Este manual, se enfocará en el método de aproximación prescriptivo. Mostrando en los diferentes escenarios de incendio, como el uso, la altura, la ventilación, los sistemas de detección, de protección pasiva; permiten establecer una guía, para diferentes curvas de fuego y como esto influye en la estructura. Estas curvas servirán, para establecer el tiempo equivalente y tiempo de protección, al fuego requerido, según condiciones del proyecto, con la intención de hacer una transición, del análisis prescriptivo al análisis por desempeño.

Actualmente, el enfoque prescriptivo, es visto como insuficiente y en muchos casos como demasiado costoso, como método de diseño, de protección contra incendio, para el diseño de estructuras y por el contrario se recomiendan, los métodos prestacionales (por desempeño), como óptimos en la Ingeniería de protección contra incendio. Por lo tanto, en este manual, se mostrará la eficiencia y las bondades del enfoque prescriptivo, cuando se tienen en cuenta varios escenarios de incendio. El método, como cualquier otro cuenta con algunas limitaciones, sí se realiza el análisis correctamente, permite comprender de una mejor manera el comportamiento del incendio.

CAPITULO I: Marco teórico:

1.1 Fundamentos de dinámica de fuego:

1.1.1. Definición del incendio:

Según (Martinez, 2015, p.22); en la Norma de la Unión Europea UNE 23026, el fuego se define, como una combustión caracterizada por la emisión del calor, humo y llamas. La misma norma, define la combustión como una reacción química exotérmica, de oxidación en la que combina un elemento que arde (combustible) y otro que produce combustión (comburente), generalmente el oxígeno en forma de O₂ gaseoso y en la que se desprende calor (exotérmica), luz, humo y gases.

Se define que el incendio, “es un fuego no controlado en el espacio ni en el tiempo.” (Navarra, 2001, p.15). En el lenguaje común, se emplea de manera indiferente fuego o incendio, el termino correcto, para efectos de análisis es el de diseño estructural en condiciones de incendio.

El incendio, es un fenómeno complicado, en el que se deben analizar los siguientes aspectos:

- *Comportamiento del fuego (modelización del fuego).*
- *Comportamiento de la estructura: calentamiento de secciones (problema térmico) e influencia en esfuerzos mecánicos (problema mecánico).*

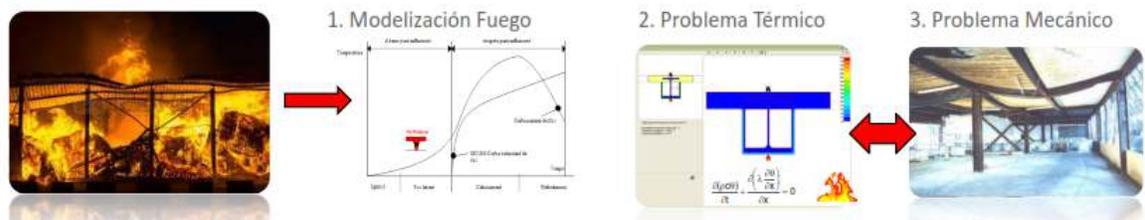


Ilustración 1:El problema real de incendio.

(Albert Jimenez, n.d.)

Existen varios métodos para analizar la capacidad de resistencia de la estructura bajo la acción del incendio. **(Ver numeral 1.3)**

1.1.2. Transferencia de calor:

“La transferencia de calor es aquella ciencia que busca predecir la transferencia de energía que puede ocurrir entre cuerpos materiales, como resultado de una diferencia de temperatura. La termodinámica enseña que esta transferencia de energía se define como calor.” (Holman, 1999)

Este se transmite por 3 métodos: (Macari, 2015, p.17)

- ❖ **Conducción:** Transmisión de calor a través de un sólido. Los objetos metálicos, tales como vigas, columnas, tuberías, clavos y cables son excelentes conductores del calor. De igual manera, el calor puede ser conducido de una habitación ardiendo, a otra adyacente a través de una tubería de metal, lo cual puede inflamar material combustible presente en la otra habitación.
- ❖ **Convección:** Transmisión de calor a través del movimiento del humo, gases, aire y partículas calientes. El humo y los gases calientes, tienden a subir desde el lugar del incendio, al igual que el aire cercano al fuego que se va calentando. Estos transportan ascuas y partículas calientes, lejos del incendio, las cuales, caen posteriormente sobre materiales combustibles, ocasionando fuegos colaterales, creando nuevos puntos de origen de fuego.
- ❖ **Radiación:** Transmisión de calor a través de ondas invisibles, que se propagan por el espacio al igual que la luz. Se mueven a través del aire y no se ven afectadas por el viento; penetran superficies transparentes y traslúcidas, y son absorbidos por cualquier sólido opaco, con el que entran en contacto. El calor absorbido, genera vapores inflamables, que se mezclan con el aire circulante y que posteriormente, se inflaman por nuevas aportaciones de calor radiante.
- ❖ **Contacto directo:** El calor se transmite por contacto directo, cuando una llama o ascua alcanza un objeto. Si el contacto se mantiene durante suficiente tiempo, el objeto puede comenzar a arder.

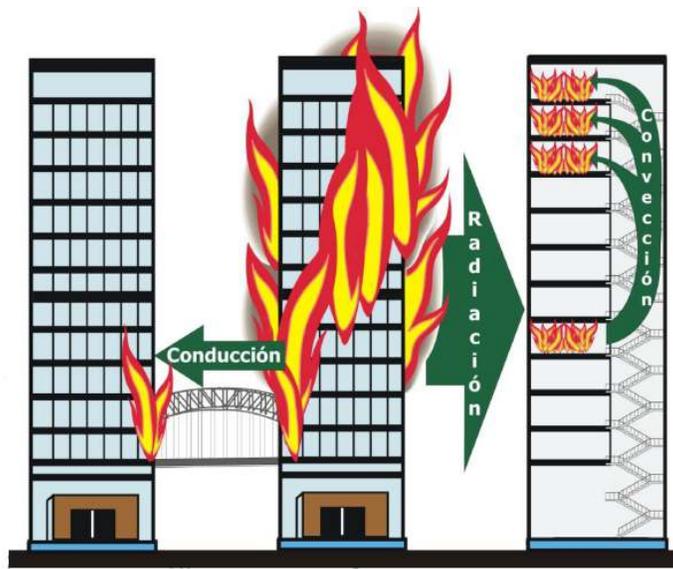


Ilustración 2: Flujo de transferencia de calor neto

(ZIGURAT, 2010)

1.1.3. Leyes de la termodinámica:

- ❖ Primera ley: “Aunque la energía tome muchas formas, la cantidad total de energía es constante, y cuando la energía desaparece en una forma, aparece simultáneamente en otras formas.”(Smith, 1997, p.22).

- ❖ La primera ley establece, que la energía se conserva en cualquier proceso y no impone ninguna restricción, con respecto a la dirección en la que ocurre éste. Sin embargo, la experiencia indica la existencia de esta restricción, cuya formulación completa los fundamentos de la termodinámica y cuya expresión concisa constituye la segunda ley. (Smith, 1997, p.171).

- ❖ Segunda ley: En un balance de energía, el calor y el trabajo se incluyen como términos aditivos simples, lo que implica que una unidad de calor, es decir, un joule, equivale a la misma unidad de trabajo. Aunque lo anterior es válido para el balance de energía, la experiencia muestra que hay diferencias entre el calor y el trabajo en lo que respecta a la calidad. Esta experiencia se resume en los siguientes hechos. (Smith, 1997, p.171).

El trabajo se transforma rápidamente en otras formas de energía; por ejemplo, en energía potencial, al elevar un peso, en energía cinética, mediante la aceleración de una masa o en energía eléctrica, por el funcionamiento de un generador. Estos procesos, pueden realizarse con una eficiencia en la conversión próxima al 100 por ciento, cuando se elimina la fricción, la cual es un proceso disipativo que transforma el trabajo en calor. De hecho, el trabajo se transforma completamente en calor, tal y como lo demostraron los experimentos de Joule. (Smith, 1997, p.171).

Las observaciones descritas anteriormente, son resultado de la restricción impuesta por la segunda ley, a las direcciones en las que ocurren los procesos reales. Es posible, formular muchos enunciados que describan esta restricción y que, por tanto, sirvan como enunciados de la segunda ley. Dos de los más comunes son los siguientes: (Smith, 1997, p.172).

Ningún equipo, puede funcionar de modo tal que su único efecto (en el sistema y sus alrededores), sea convertir completamente todo el calor absorbido, por el sistema en trabajo hecho por el sistema.

No existe ningún proceso, que consista exclusivamente en la transferencia de calor, de un nivel de temperatura a otro mayor. (Smith, 1997, p.172).

- ❖ Tercera ley: Que la entropía absoluta es cero para todas las sustancias cristalinas perfectas a la temperatura del cero absoluto. Si bien las ideas esenciales fueron planteadas por Nernst y Planck al inicio del siglo XX, estudios más recientes a muy bajas temperaturas han aumentado la confianza en la veracidad de este postulado, que ahora se acepta como la tercera ley. (Smith, 1997, p.195).

1.1.4. Balance térmico en edificaciones:

- ❖ Conducción: Es necesario colocar sellos o barreras, las cuales impiden la propagación del incendio dentro de un tiempo determinado, regulado por los requisitos normativos. (Remontiro, 2018)

- ❖ Convección: Es imprescindible, controlar patios interiores y exteriores o atrios, con el fin de direccionar ascendentemente los gases calientes, en las estructuras.
- ❖ Radiación: Es necesario controlar, las separaciones entre estructuras.

1.2. Objetivos de los códigos:

“Conjunto de medidas dispuestas en los edificios para protegerlos contra la acción del fuego. Con esto se persiguen tres fines esenciales:” (Macari, 2015, p.21)

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

Las medidas fundamentales contra incendios pueden clasificarse en dos tipos:

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

Los elementos de construcción o sus revestimientos, pueden ser de materiales no combustibles, con capacidad propia de aislamiento o por efecto intumescente o sublimante, frente a la acción del fuego. (Macari, 2015, p.21)

Los tres criterios para los ensayos, de resistencia al fuego son estabilidad, integridad y aislamiento. Para cumplir con el criterio de estabilidad, el elemento estructural, debe ser capaz de mantener sus funciones, de soporte de cargas y aguantar cargas aplicadas, durante toda la duración del ensayo, sin colapso estructural. Muchas normas de ensayo, tienen un límite en la deformación del elemento, así, el ensayo puede ser detenido, antes de que se produzca la falla. (Macari, 2015, p.39)

Los criterios de integridad y aislamiento, están destinados, a probar la habilidad de una barrera, a contener el fuego, para prevenir la propagación del incendio, desde el recinto de origen. Para cumplir con el criterio de integridad, el elemento ensayado no debe desarrollar grietas o fisuras, que puedan permitir el paso de humo y gases calientes. Para cumplir con el criterio de aislamiento, la temperatura del lado no expuesto al fuego, durante el ensayo, no debe exceder un límite específico de temperatura. (Macari, 2015, p.39)

Dependiendo de la función, que cumpla cada elemento estructural, dentro de la estructura, estos deben cumplir uno o más de los criterios de falla, nombrados anteriormente. (Macari, 2015, p.39)

El efecto intumescente o sublimante, frente a la acción del fuego, se explica a continuación:

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. (Carrera, Irigoyen, Hernández, & Luna, 2019)

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). (Carrera, Irigoyen, Hernández, & Luna, 2019)

- ❖ Activas: Compuesta por sistemas, que, conectados a sensores o dispositivos de detección y extinción, entran automáticamente en funcionamiento frente a determinados rangos de partículas y temperatura del aire, descargando agentes extintores de fuego, tales como agua, gases, espumas o polvos químicos. (Macari, 2015, p.21)

Los elementos constructivos deben brindar:

Estabilidad estructural: Con el fin de facilitar la evacuación de personas, el acceso por parte de los bomberos al lugar y proteger los bienes, para que exista continuidad en la operación.

Compartimentación o sectorización: Actúan como barrera ante las llamas o gases durante un incendio. Pueden ser muros o barrera, entre pisos cortafuegos estructurales o no estructurales. También pueden tener una función, como barreras corta humo únicamente.

Protección de los medios de evacuación: La protección no debe permitir el traspaso de llamas, ni gases y además evitar el traspaso de calor, del lado expuesto al fuego, al lado no expuesto.

1.2.1. Incendio Normalizado:

En los códigos prescriptivos, el requisito de resistencia al fuego, suficiente de los elementos estructurales, se expresa como el tiempo, que deben ser capaces de soportar esos elementos, en un incendio definido por una temperatura, en un sector dada por la curva de fuego normalizada, que tiene la expresión:(Cervera, 2004)

Para ISO 834, se tiene la siguiente ecuación:

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

Dónde:

- ❖ T_0 : Temperatura ambiente (°C).
- ❖ T : Tiempo (minutos).

Para ASTM E119, se tiene la siguiente ecuación:

$$T = 750 \left[1 - e^{-3.79553\sqrt{t_h}} \right] + 170.41\sqrt{t_h + T_0}$$

Dónde:

- ❖ T_0 : Temperatura ambiente (°C).
- ❖ t_h : Tiempo (horas).

tiempo (min)	ASTM E119 temperatura (°C)	ASTM 834 temperatura (°C)
0	20	20
5	538	576
10	704	678
30	843	842
60	927	945
120	1010	1049
240	1093	1153
480	1260	1257

Tabla 1: Curvas de tiempo – temperatura ASTM E119 e ISO 834.

(NIST Technical Note 1681, 2010)

En la curva estándar tiempo temperatura de la norma ASTM-119 e ISO 834 (**ilustración 3**), se aprecia que son muy similares sus trayectorias.

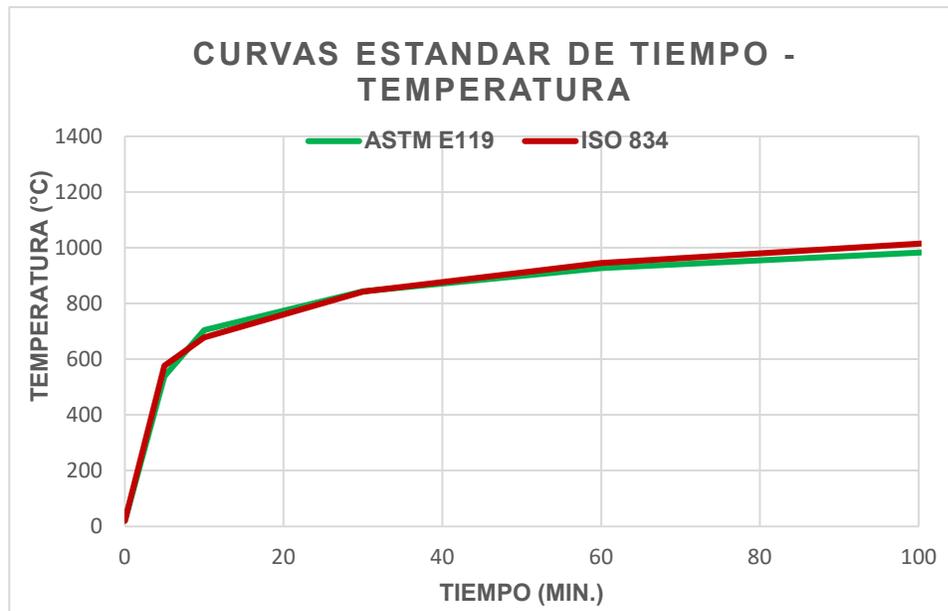


Ilustración 3: Curvas estándar de tiempo temperatura.

Elaboración propia.

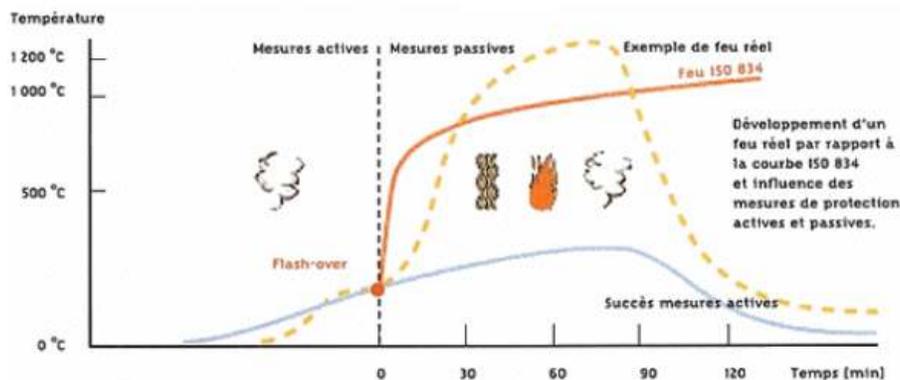


Ilustración 4: Curva ISO 834, comparada con un incendio real desarrollado y uno con medidas activas de protección.

(ZIGURAT, 2010)

En la **ilustración 3**, se aprecia que la curva ISO 834 Y ASTM E119, tienen casi la misma trayectoria.

En la **ilustración 4**, se grafica la curva normalizada ISO 834, que inicia justo en donde comienza el flashover. dicha curva tiende a crecer en temperatura a lo largo del tiempo, tiende a ser infinita, es decir como sí el combustible no se acabará.

En esta ilustración, también está la curva de incendio real en desarrollo, es la amarilla punteada. Esta curva incluso, crece un poco más que, la curva normalizada, pero al acabarse el combustible, tiende a caer la temperatura a lo largo del tiempo.

Por último, se encuentra la curva azul, que es la curva, pero teniendo en cuenta las medidas activas, como, pueden ser los rociadores. Gracias a lo anterior es un incendio fallido, por ende, es muy importante, la inclusión de las mismas en los diseños de protección contra incendios, en edificaciones.

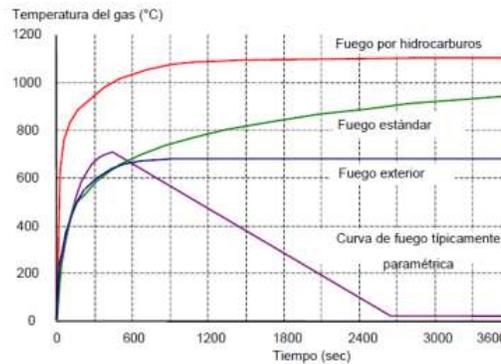


Ilustración 5: Curvas temperatura – tiempo, normalizadas ISO 834.

(ZIGURAT, 2010)

En la **ilustración 5**, se comparan las curvas normalizadas ISO 834, para fuego exterior, fuego estándar y fuego por hidrocarburos.

1.2.2. Factores que influyen en el desarrollo de un incendio:

Un incendio real, difiere notablemente en su desarrollo del incendio normalizado.

En su evolución, intervienen parámetros fundamentales:

- ❖ **Carga combustible:** La cantidad, tipo de material, área superficial, y disposición de la carga combustible, influyen en las características de la combustión de un incendio. La carga combustible, es una medida de la cantidad de energía, que proporcionan los combustibles por unidad de superficie del recinto. Este factor, influye de forma decisiva en la duración de un incendio. La carga combustible, debe proveer suficiente energía calorífica, para desarrollar las condiciones de flashover. Además, si la carga combustible es baja, no se alcanzará un incendio limitado por la ventilación. (Ligan, 2018)

El flashover, es un fenómeno producido en incendios, en los cuales existe un aporte suficiente de oxígeno, producto de esto, la energía térmica que se libera, es la máxima posible para el combustible presente. También se le llama, combustión súbita generalizada. (Gutierrez, 2016)

Se debe evaluar, la carga combustible para el diseño. Existe la posibilidad de determinarla estadísticamente. (Gutierrez, 2016)

La densidad de carga de fuego, se puede estimar, sumando todas las cargas de fuego presentes en un edificio: es un enfoque determinista. Este enfoque estadístico, solo es válido para los tipos de edificios, donde se pueden esperar cantidades similares de carga de fuego. En esos casos, la densidad de carga de fuego, se puede dar como una distribución estadística, con un valor medio y una desviación estándar.

En la siguiente tabla, para varios tipos de edificios, se dan estos valores. Los valores se basan en Distribución de Gumbel tipo I. Los valores (para 80, 90 y 95% de percentiles/fractiles), se calculan utilizando esta distribución, asumiendo un coeficiente de variación de 0,3.

Cuando se habla de percentil 50, es el equivalente al promedio, cuando habla de percentil 8,0 se considera que solo el 20% supera ese valor. Lo óptimo, es que no debe usarse el valor medio de la carga de combustible, sino un percentil 80 o 90, con lo cual cambian las cargas. Ver tabla 2.

	Standard Deviation	Mean	80 % fractile	90 % fractile	95 % fractile
Dwelling	234	780	948	1085	1217
Hospital	69	230	280	320	359
Hotel (room)	93	310	377	431	484
Library	450	1500	1824	2087	2340
Office (standard)	126	420	511	584	655
School	85,5	285	347	397	445
Shopping centre	180	600	730	835	936
Theatre (cinema)	90	300	365	417	468
Transport (public space)	30	100	122	139	156

Tabla 2: Datos sobre la densidad de carga de fuego, para diferentes edificios (MJ/m²), con distribución Gumbel tipo I

(European Commission , 2014)

- ❖ Superficie abierta de ventilación o factor de aberturas: El desarrollo de un incendio, depende tanto del aporte de oxígeno, a través de las aberturas del recinto, como de la evacuación de humos y calor. (Orta, 2010)

Entonces, si la ventilación es insuficiente, el fuego, puede no alcanzar nunca el punto máximo, de liberación de calor de un incendio, totalmente desarrollado. En este caso, se produciría una fase de ardido lento y sin llama, a temperaturas menores, que las de un incendio típico, hasta la eventual extinción. (Ligan, 2018)

Los cambios en la ventilación, pueden ser causados por el propio incendio (rotura del vidrio de ventanas, o destrucción de la membrana en el caso de estructuras con este tipo de cubierta), por la acción de los ocupantes (al abrir puertas o ventanas), o bien por la acción de bomberos. (Ligan, 2018)

- ❖ La naturaleza de las paredes, que delimitan el sector de incendio, puede impedir o retrasar la progresión del mismo, hacia otras áreas o sectores de incendio. (ZIGURAT, 2010)
- ❖ Relación ventilación carga combustible: Ambos factores se encuentran estrechamente interrelacionados, pues la carga combustible, requiere de oxígeno para quemarse, mientras que la ventilación, aporta a la combustión, siempre que haya elementos combustibles para quemar. (Ligan, 2018)

En un incendio controlado por el combustible (no hay limitación de oxígeno), la tasa de liberación de calor, está limitada por la superficie combustible disponible. Las temperaturas, son mayores que en un incendio controlado por la ventilación y mucha energía calorífica, se pierde por las aberturas del recinto. En un incendio controlado por la ventilación (área de ventilación restringida), el suministro de aire se reduce y la tasa de liberación de calor, se encuentra limitada. Esto causa, que el combustible se queme de manera más lenta, más ineficiente, a menores temperaturas y por más largo tiempo.

La demarcación, entre un incendio controlado por la ventilación y uno controlado por la carga combustible, depende de la proporción entre estos factores. Los incendios controlados por la ventilación, son más comunes en incendios de edificios y usualmente producen las condiciones más severas para la estructura. Es por esto, que normalmente se da por hecho, que existe una combustión controlada por la ventilación, en un incendio completamente desarrollado.

En la **Tabla 3**, se resumen los cambios, que se generarían en ciertas características del incendio, si la ventilación se aumenta o disminuye, cuando no hay limitación por carga combustible; o si la carga combustible, se aumenta o disminuye, cuando no hay limitación por ventilación.

En la **Tabla 4**, por otra parte, se comparan los incendios, controlados por la ventilación y por la carga combustible, indicando en cuál de ellos ocurre la mayor duración y temperaturas, respectivamente.

Característica incendio	Variación de parámetros			
	Aumento ventilación	Disminución ventilación	Aumento carga combustible	Disminución carga combustible
Duración	Disminuye	Aumenta	Aumenta	Disminuye
Temperatura	Aumenta	Disminuye	Aumenta	Disminuye
HRR	Aumenta	Disminuye	Aumenta	Disminuye

Tabla 3: Influencia de la ventilación y la carga combustible en la duración, temperaturas y tasas de liberación de calor de un incendio.

(Ligan, 2018)

Parámetros comparativos	
Incendio controlado por la ventilación	Incendio controlado por la carga combustible
Mayor duración	Menor duración
Menor temperatura	Mayor temperatura

Tabla 4: Comparación de la duración y temperaturas de un incendio según si es controlado por la ventilación o por la carga combustible.

(Ligan, 2018)

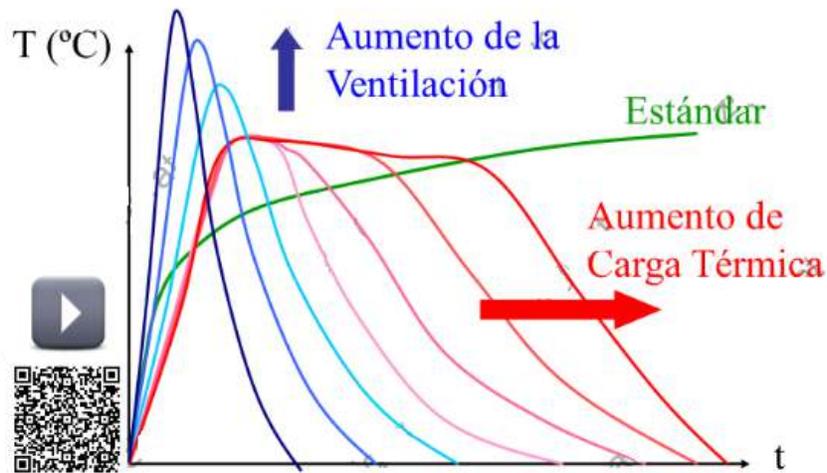


Ilustración 6: Diferentes curvas de incendio reales, con diversos parámetros de ventilación y carga térmica.

(ZIGURAT, 2010)

En la **ilustración 6**, se muestran las diferentes curvas de incendio reales. Cuando aumenta ventilación, mayor temperatura y menor duración. Cuando aumenta la carga térmica, mayor duración, mayor temperatura.

1.2.3. Desarrollo de un incendio:

Un típico incendio compartimentado ocurre en cuatro etapas o fases: ignición, crecimiento y decaimiento. Además, se identifica un proceso denominado flashover. (Ligan, 2018)

- ❖ Fase de ignición: se produce el calentamiento del (los) elemento(s) combustible(s), por medio de procesos de combustión con llamas, sin llamas o por radiación, hasta su ignición. El fuego inicialmente se encuentra localizado y la distribución de temperaturas, en el compartimento es muy poco uniforme. Si no existen limitaciones de combustible y oxígeno, el incendio crece, emitiendo gases calientes que se acumulan en la parte superior del recinto, formando un estrato caliente en crecimiento.

- ❖ Fase de crecimiento: aumenta rápidamente la velocidad de calentamiento, alcanzándose la temperatura máxima y la participación total, del compartimento en el incendio, como resultado del flashover.
- ❖ Flashover: se define, como una fase de transición, en el desarrollo de un incendio compartimentado, en que las superficies expuestas a la radiación térmica, alcanzan la temperatura de ignición, de forma aproximadamente simultánea y el fuego se propaga, rápidamente en el espacio. De este proceso, resulta un incendio generalizado, cuya duración depende de la carga combustible y la ventilación del recinto.
- ❖ Fase de decaimiento: la mayor parte del combustible, se ha consumido y comienza a disminuir la tasa de combustión, llegando eventualmente a la extinción del fuego.

La curva tiempo-temperatura idealizada, de un incendio natural compartimentado, se muestra en la **Ilustración 7**, donde se la compara con una curva nominal estándar. Un incendio real, tiene características, que no son tomadas en cuenta en la curva estándar.

La escala de tiempo, está acorde a la curva nominal, que comienza cuando el incendio está totalmente desarrollado. La duración de cada fase del incendio natural, varía dependiendo de las condiciones en que se produce.

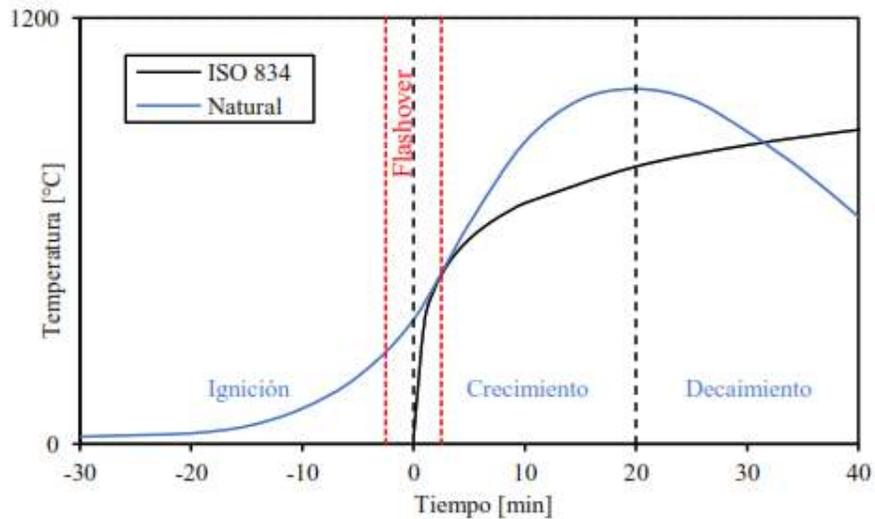


Ilustración 7: Curva tiempo – temperatura de un incendio natural compartimentado y tiempo – temperatura nominal ISO 834

(Ligan, 2018)

1.2.4. Liberación de calor:

La energía térmica o calorífica, es una forma de energía que se caracteriza, por la vibración de las moléculas de los materiales, siendo capaz de iniciar y sustentar cambios químicos y cambios de estado. Corresponde a la energía necesaria, para cambiar la temperatura de un objeto: al añadir energía térmica, la temperatura aumenta; al quitarla, la temperatura disminuye.

Para que se produzca la combustión, se requiere la suficiente cantidad de oxígeno, para reaccionar con el combustible disponible, como se vio anteriormente. La liberación de calor, está directamente relacionada, con la cantidad de oxígeno necesaria, para la combustión, completa de una sustancia. La energía liberada, por gramo de oxígeno consumido durante la combustión completa de materiales combustibles naturales y orgánicos, es aproximadamente constante, promediando 13,1 kJ/g.

La tasa de liberación de calor (HRR, por sus siglas en inglés), corresponde a la cantidad de energía térmica liberada, en un incendio por unidad de tiempo. Es considerada una de las más importantes variables, al describir el peligro que supone un incendio. La tasa de liberación de calor, es influenciada por la cantidad de combustible y sus características, la

ventilación y la eficiencia en la combustión. Alguna parte de la energía calorífica, es liberada a través de aberturas, y otra permanece sin quemar.

La **ilustración 8**, muestra, el desarrollo de la tasa de liberación de calor en el tiempo, considerando los escenarios descritos. De no existir limitaciones de oxígeno, la tasa de liberación de calor aumenta, hasta un punto determinado por la carga combustible, que es la que controla la combustión en dicho caso.

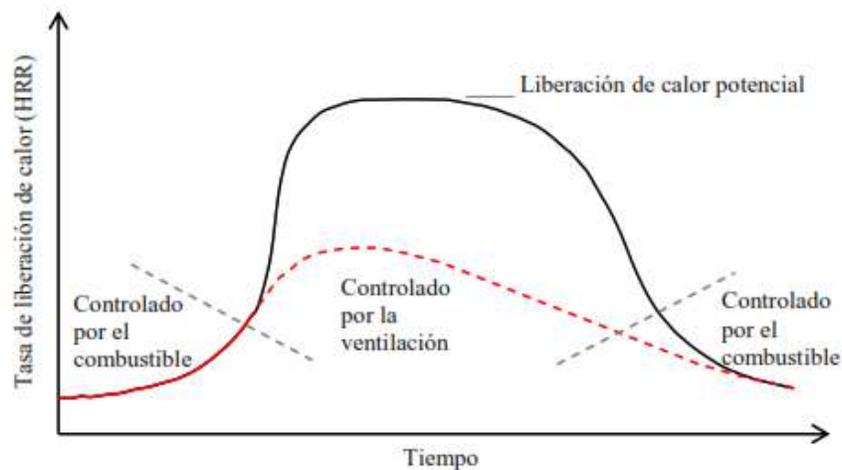


Ilustración 8: Tasa de liberación de calor en función del tiempo, en diferentes escenarios de incendio.

(Ligan, 2018)

1.2.5. Análisis de riesgo:

Los riesgos de incendio, se encuentran asociados, a la evaluación de la posibilidad de que se produzca un incendio o explosión en un recinto. Esta evaluación, se realiza en función de la combustibilidad, de los materiales presentes (grado de reacción al fuego), carga calorífica de los mismos, exposición a la ignición (o posibilidades de que dichos materiales obtengan la energía de activación suficiente para comenzar a arder), facilidades de propagación del incendio y colocación de los materiales dentro del edificio. (fullseguridad, 2017)

El análisis del riesgo, además mide las muertes, los heridos y el daño a la propiedad, en lugar de detenerse, en mediciones sobre cuántos cuartos o cuántos metros

cuadrados, alcanzaron una temperatura en particular, o tenían niveles de humo o gas por encima de un umbral específico.(Macari, 2015, p.30)

“El análisis del riesgo para la ingeniería de protección contra incendios se basa en la introspección de tres preguntas: ¿qué podría pasar?, ¿qué tan malo podría ser si eso pasara? y ¿qué tan probable podría ser? “(Alcazar, 2019, p.46)

La primera, se refiere a la serie de eventos, que conllevan a las pérdidas por incendio. Esta secuencia completa, se conoce como escenario. La segunda pregunta, se refiere a la consecuencia, llamada peligro, que es la medida potencial de lo que se podría perder. La tercera pregunta, finalmente se refiere a la probabilidad y tiene una componente aleatoria. Sin embargo, se requiere que el análisis contenga al menos estos elementos fundamentales: (Alcazar, 2019, p.46)

- ❖ Existen, un gran número de tipos y modelos, para análisis del riesgo debido a la versatilidad, que ofrece en términos de desempeño, ya que el riesgo, que se trata de minimizar, se aborda desde diferentes tipos de metodologías, logrando así, una alta eficacia del análisis. Sin embargo, para fines del análisis del proyecto se estudiaron los sugeridos por la NFPA 101, Código de Seguridad Humana (2018), del Capítulo 5, el cual solicita, cumplir como mínimo con 8 escenarios de fuego, los cuales, son resumidos a continuación.(Alcazar, 2019, p.46)

Escenario de incendio	Descripción del escenario, extraído de la NFPA 101
1	Escenario para el diseño específico de la ocupación, representativo del número y tipo de ocupantes. Tendrá en cuenta la actividad, ocupación, tamaño de estancias, contenido, combustibles y ventilación
2	Incendio de desarrollo ultra-rápido, con las puertas interiores abiertas al iniciarse el incendio. Incluye las consecuencias en la reducción de las vías de evacuación
3	Inicio del incendio en una habitación vacía que pone en riesgo a un espacio próximo con gran número de ocupantes por crecimiento del fuego
4	Inicio del incendio en un espacio confinado de pared o falso-techo adyacente a una sala grande ocupada. El incendio incluirá las consecuencias de no disponer sistema de detección ni supresión allí donde se origina el incendio
5	Incendio que se desarrolla lentamente, muy próximo a un área ocupada y donde no llegan los sistemas de supresión automática. Fuente de ignición pequeña que ocasiona un incendio importante
6	Incendio más severo resultante de la máxima carga combustible que el edificio puede contener en un uso habitual del mismo. Incendio de desarrollo rápido con los ocupantes
7	Incendio de exposición exterior, que se produce en una ubicación alejada del área de estudio, pero que bloquea las vías de evacuación o se desarrolla en condiciones inaceptables
8	Incendio con combustibles habituales en un espacio donde fallan todos los sistemas contraincendios

Tabla 5: Número mínimo de escenarios.

(C & I, 2017)

- ❖ El Manual de Protección Contra Incendios de la **SFPE 2016**, brinda una serie de métodos, que pueden ser revisados, para la selección del escenario de diseño y estos son los siguientes: (Alcazar, 2019, p.47)

“Análisis de efectos y modo de falla, donde los diferentes tipos de falla que podrían ocurrir son estudiados y los efectos de estas fallas son analizadas.” (Alcazar, 2019, p.47)

“Análisis de efectos y modo de falla, donde los diferentes tipos de falla que podrían ocurrir son estudiados y los efectos de estas fallas son analizadas.” (Alcazar, 2019, p.47)

“Análisis “¿qué pasaría sí?”, donde la opinión experta, es usada para considerar eventos posibles y las consecuencias de estos. (Alcazar, 2019, p.47)

1.3. Estados límite de las estructuras de acero bajo la acción de incendio:

En situación de incendio, el aumento de la temperatura, provoca una pérdida considerable, de la capacidad estructural y un incremento importante, de la deformación de los elementos estructurales. A continuación, se comentan los aspectos más relevantes, de los dos estados límites Últimos:(ZIGURAT, 2010)

1.3.1. Estado límite de colapso:

Se considera, que la estructura ha alcanzado su límite de agotamiento, cuando la pieza o estructura expuesta a temperatura elevada, ha alcanzado su máxima capacidad resistente, como resultado de transformación de la estructura, en un mecanismo e inestabilidad elástica, existen 2 métodos de cálculo:

- ❖ Método comparación sollicitación/resistencia: El procedimiento de cálculo, basado en la comparación de la sollicitación, respecto a la resistencia es apropiada para:
 - Piezas con fenómenos de inestabilidad.
 - Piezas con protecciones, irregulares en su perímetro o condiciones de exposición muy diferentes.

- Además, de todas las piezas, en las que el método de la temperatura crítica, es adecuado.
- ❖ Método de la temperatura crítica: La temperatura crítica de una pieza, es la temperatura, en la que se alcanza la temperatura límite de colapso. Esta definición, requiere considerar el estado de cargas ponderado, en situación de incendio y la disminución del límite elástico, en el aumento de la temperatura. En los métodos simplificados de cálculo, se realiza una simplificación adicional, que consiste en considerar, la distribución espacialmente uniforme, de la temperatura en una pieza estructural metálica.

El método, tiene las siguientes limitaciones, por sus simplificaciones:

- Procedimiento restrictivo en estructuras, con geometrías irregulares, en donde la distribución de temperaturas no sea homogénea. Por ejemplo, en piezas metálicas, parcialmente embebidas en concreto, perfiles protegidos con espesores variables o irregulares, etc.
- No es procedimiento adecuado para piezas susceptibles a fallar por fenómenos de inestabilidad.
- No es apropiado para elementos mixtos.

1.3.2. Estado límite de deformación:

En la mayoría de las ocasiones, se puede prescindir, de la consideración del estado límite de deformación excesiva. Tan solo, se tendrá en cuenta, cuando la deformación de la estructura, afecte el funcionamiento de los mecanismos de propagación y protección activa contra incendios.

1.4. Análisis del problema:

Actualmente, existen dos metodologías del diseño de las estructuras cuando se afronta la seguridad en caso de incendio: Las prescriptivas y los métodos basados en prestaciones.

- ❖ Prescriptivo: “Se limitan a dar soluciones preestablecidas, determinando unos límites y unas medidas para lograr la seguridad exigida, pero sin permitir la incorporación de soluciones innovadoras, aunque cumplan con las exigencias mínimas requeridas.” (Cervera, 2004)

En el “método prescriptivo, no se deja flexibilidad alguna al proyectista para modificar esa exigencia, variando alguno de los requisitos (por ejemplo, con el uso de medidas activas o condiciones de los sectores de incendio.” (Cervera, 2004)

- ❖ Prestaciones (Desempeño): “Son una tendencia actual en la mayoría de los países.” (Cervera, 2004). “Se basa en el planteamiento de unas medidas de protección particularizadas a cada edificio, con base en el conocimiento relativo al desarrollo que tendrá el incendio en cada escenario probable” (Blanc & Navarro, 2017)

Para verificar la resistencia al fuego, según lo anteriormente expuesto, se puede hacer el análisis, mediante alguno de los siguientes métodos (**ver ilustración 9**):

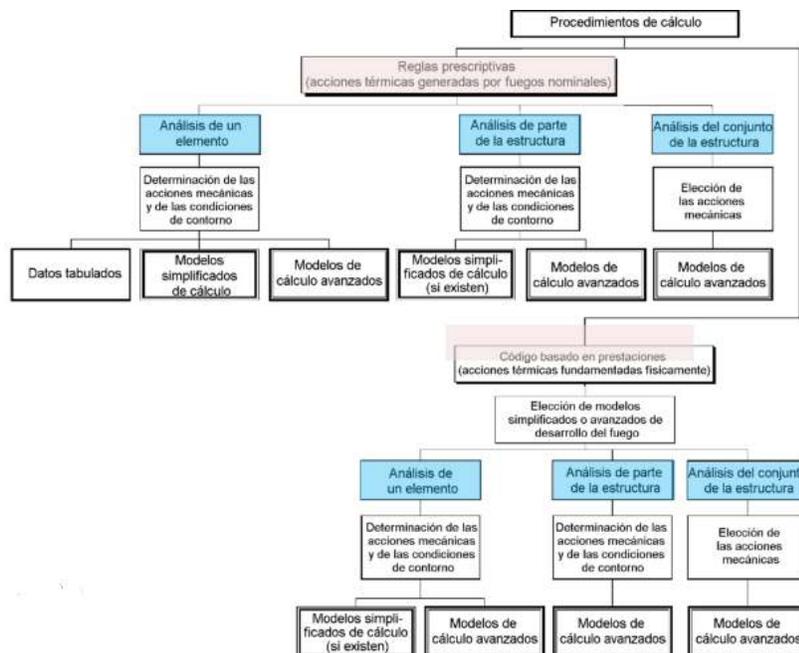


Ilustración 9: Métodos de análisis.

(ZIGURAT, 2010)

El análisis global de la estructura, en situación de incendio, deberá llevarse a cabo, teniendo en cuenta el posible modo de falla, ante la exposición al fuego, la influencia de temperatura en propiedades de materiales, en las rigideces de los elementos y deformaciones de origen térmico.

Se requieren de cálculos complejos, utilizando distribuciones no uniformes de temperatura y propiedades de variables de los materiales (módulo de elasticidad, coeficiente de dilatación y límite elástico).

El análisis de partes de la estructura, es una alternativa en la cual la sub estructura se expone al fuego. Requiere de cálculos complejos también. Se analizan sus elementos y las propiedades de los materiales, como dependientes de la temperatura. Las acciones que actúan en la estructura, se consideran constantes, a lo largo de la exposición del fuego.

El análisis de elementos, permite verificar el comportamiento de una estructura, sometida a la acción del fuego. Se consideran constantes las acciones de apoyos, restricciones ya acciones en el contorno.

Este método, permite desprestigiar las acciones indirectas del fuego, es fácil de aplicar. Para poder desprestigiar los efectos térmicos, se deben usar las curvas temperatura – tiempo, como la ISO 834. Esta, es la simplificación más grande que se hace, para analizar el comportamiento, de una estructura ante la acción de incendio. **(Ver ilustración 10)**

Siempre hay que determinar la temperatura Θ_g (masa gaseosa), posteriormente, se determina la temperatura, que alcanza la pieza resistente de acero, que dependerá de muchos factores, como la temperatura de la masa gaseosa Θ_g , el tipo de protección, de su masividad, etc.

En todo el proceso, interviene el tiempo de exposición al incendio.

Una vez determinada la temperatura del acero Θ_a , se determina la capacidad resistente del acero a esa temperatura.

	Prescriptivo	Basado en prestaciones
	fuego estándar 	fuego natural 
	clasificación	ingeniería de seguridad ante incendio
	ing. de seguridad ante incendio	ingeniería de seguridad ante incendio

Ilustración 10: Clasificación vs. Ingeniería de seguridad ante incendios en estructuras.

(ZIGURAT, 2010)

Para la determinación de la temperatura de la masa gaseosa Θ_g , se puede recurrir a tres métodos de análisis:

- ❖ Método de nivel I-Simplificado
- ❖ Método de nivel II-Simplificado
- ❖ Método de nivel III

Los dos primeros métodos, son simplificados y se basan en el incendio normalizado, comentado anteriormente.

El tercer método, se basa en la determinación del incendio real, lo cual hace más complejos los cálculos.

La clasificación general, se puede ver en la **ilustración 11**:

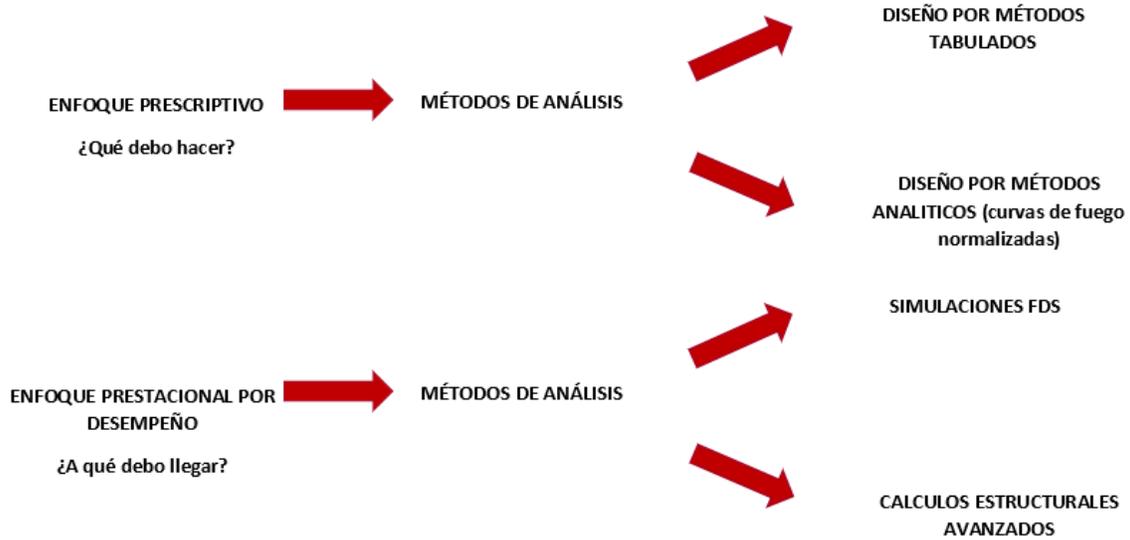


Ilustración 11: metodologías del diseño de las estructuras cuando se afronta la seguridad en caso de incendio.

Elaboración propia.

1.4.1. Diseño basado en Prestaciones (Desempeño):

Uno de los objetivos fundamentales, del Diseño Basado en Prestaciones, es poder plantear las medidas de protección, más adecuadas para cada edificio en particular. En el caso del diseño de las estructuras, éste se realiza, a partir del conocimiento de las curvas temperatura-tiempo reales, que afectarán a los entramados resistentes. (Blanc & Navarro, 2017)

El Diseño Basado en Prestaciones, es único, para cada edificio analizado mediante esta metodología. Sin embargo, se puede establecer una metodología de trabajo estructurada y aplicable a cualquier estudio prestacional. (Blanc & Navarro, 2017)

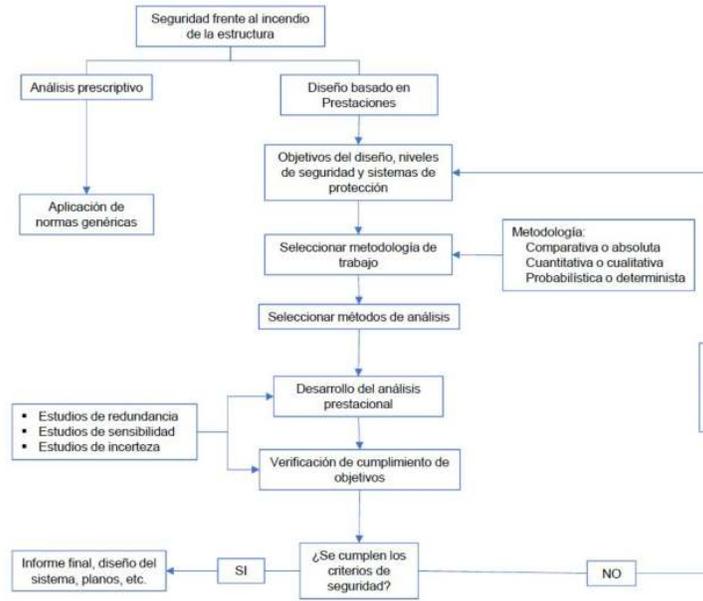


Ilustración 12: Metodología de análisis del diseño basado en Prestaciones (Desempeño).

(Blanc & Navarro, 2017)

1.4.2. Evolución histórica:

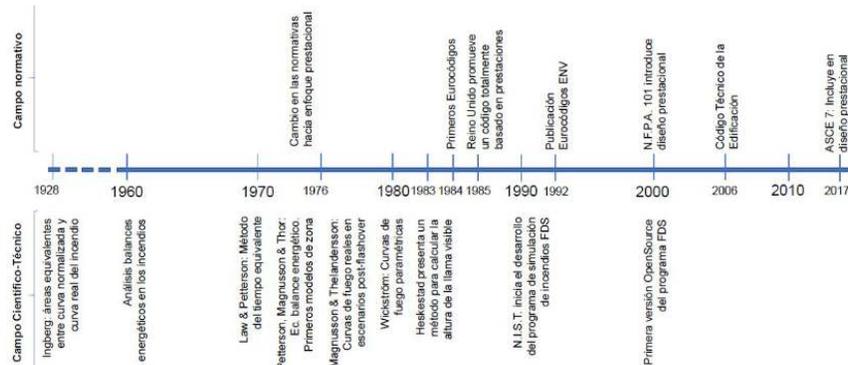


Ilustración 13: Línea del tiempo de los principales hitos en la implementación del diseño basado en prestaciones (Desempeño).

(C & I, 2017)

Los primeros pasos, para la implementación de un método basado en prestaciones surgen en 1928, cuando Simon H Ingberg (1877- 1971, jefe de División de Resistencia al Fuego, oficina de Normas de EE. UU) establece una relación de tiempo equivalente, a

partir de las áreas equivalentes que engloban, respectivamente, la curva normalizada y la curva real de fuego. Sin embargo, este método debe ser descartado. No existe ninguna correlación física o matemática, que pueda apoyar este método de equivalencia. Debido a que el flujo de calor por radiación, es directamente proporcional, a la temperatura de la superficie emisora a la 4.^a potencia, las consecuencias de dos incendios, con la misma área encerrada por la curva temperatura-tiempo, pero diferente potencia liberada, pueden ser completamente diferentes.(C & I, 2017)

Es durante los años setenta, cuando **Law y Petterson**, definen lo que hoy en día se conoce como el método del tiempo equivalente, que, si bien no se puede considerar un método prestacional, que representa un avance, en el tratamiento de las estructuras de acero protegido y de hormigón armado. Sin entrar en las particularidades del método, hay que indicar, que el mismo ya tiene en cuenta aspectos particulares de cada edificio, como son el factor de ventilación del escenario, algo que Ingberg no había considerado, y la densidad total de carga de fuego.(C & I, 2017)

Al mismo tiempo, entre 1970 y 1980 Magnusson y Thelandersson, realizan un profundo análisis de las leyes térmicas, que se producen en diversos escenarios, mediante el estudio del flujo de calor, emitido por radiación en función de la potencia del incendio. Esto lleva a la definición de unas curvas temperatura-tiempo, que definen el escenario de incendio, después de producirse la combustión súbita generalizada, con combustibles de origen celulósico y para diversos coeficientes de ventilación.(C & I, 2017)

Este estudio, permite obtener, lo que se puede definir como unas curvas temperatura-tiempo, de fuegos reales analíticos, pero, que posteriormente, ha sido contrastado con un gran número de ensayos de laboratorio y donde se ha obtenido una correlación de resultados excelente. Estas curvas, han sido adoptadas, por ejemplo, por la normativa sueca, y permiten evaluar de manera simplificada, conociendo la ventilación y la densidad total de carga de fuego, cuáles son las temperaturas, a las que se verán sometidos los elementos estructurales en caso de incendio.(C & I, 2017)

Con el mismo objetivo, de determinar cuáles son las temperaturas reales, que afectan a una estructura en caso de incendio Wickström, durante el periodo 1980-1981, define las curvas de fuego paramétricas, utilizando las curvas de Magnusson y Thelanderson, como elemento de contraste para su validación. Estas curvas, hay que decir, que no tienen

como objetivo, la definición de una ley real de temperaturas en función del tiempo, sino que su objetivo, es poder dictaminar sobre las máximas temperaturas, a las que se verán sometidos los elementos estructurales, en caso de incendio. Las limitaciones, del método son importantes. **Por ejemplo, no se pueden utilizar en sectores de incendio superiores a los 500 m², ni en alturas mayores de 4 m.** Sin embargo, cumpliendo estas condiciones y siendo conscientes, que únicamente se pueden utilizar en el caso de analizar incendios de origen celulósico, los resultados, obtenidos representan una buena aproximación a la realidad.(C & I, 2017)

Hasta ahora, todos los métodos que se han presentado son analíticos, y permiten obtener de manera simplificada las temperaturas, que se producen en un escenario de incendio. Sin embargo, a la vez que durante los años sesenta, se producen investigaciones relativas a los balances energéticos en los incendios y durante los años setenta, una serie de acontecimientos, promueve el cambio de las normativas, hacia un enfoque claramente prestacional, a nivel tecnológico, también se producen una serie de avances, que permitirían el estudio preciso de las consecuencias, de un incendio en un edificio concreto. El año 1976 Petterson, Magnusson y Thor, exponen con claridad las ecuaciones de balance energético, que definen claramente, el comportamiento del incendio en espacios cerrados y desarrollan los primeros modelos informáticos de zona, gracias a los cuales se permite analizar de manera particular las leyes temperatura-tiempo, que acontecen en un escenario. Teniendo en cuenta parámetros, como la geometría del escenario, las características de los cerramientos y las propiedades del combustible y el incendio, se pueden obtener las temperaturas en los gases calientes, considerando que tanto la temperatura, la densidad, la energía y la presión del gas, son homogéneas en todo el recinto del incendio.(C & I, 2017)

Actualmente, son las simulaciones basadas en la dinámica computacional de fluidos (CFD), las teorías de la termodinámica y las de la combustión las que permiten evaluar con un mayor grado de precisión, cuáles son las temperaturas que inciden en los elementos estructurales. Estas simulaciones, resuelven las ecuaciones diferenciales parciales de Navier Stokes, para gases compresibles, permitiendo evaluar variables como la temperatura, la densidad, la velocidad de los gases o la concentración de especies químicas, en función del espacio y del tiempo. Esto, unido a las teorías de la Mecánica de los Medios Continuos, la Resistencia de los Materiales y el método de los elementos

finitos, permite analizar con un nivel de detalle muy alto, el comportamiento de las estructuras en caso de incendio.(C & I, 2017)

Se puede apreciar, con este breve recorrido histórico, desde los años 1920 hasta la actualidad (**Ilustración 9**), como el objetivo, siempre ha sido poder garantizar la seguridad de las personas (y en paralelo, evaluar el grado de seguridad real de las estructuras), a través del diseño prestacional, particularizando las curvas temperatura-tiempo, concretas para cada edificio.(C & I, 2017)

1.4.4. Marco normativo Internacional:

“Una, cada vez más importante demanda de flexibilidad, por parte de los arquitectos en el diseño de las construcciones, así como la rápida, evolución de las tecnologías de la edificación, ha promovido que desde el año 2006, el Código Técnico de la Edificación, haya promovido, la utilización del Diseño Basado en Prestaciones, es decir, la incorporación, de soluciones alternativas con prestaciones equivalentes, a las exigencias básicas del Código Técnico.”(C & I, 2017)

Este carácter prestacional del diseño, de las estructuras frente a la acción del fuego, tiene a día de hoy, un breve recorrido en España, escasamente diez años. Sin embargo, existen acontecimientos en diferentes países, desde los años setenta, que vienen promoviendo esta metodología de trabajo. Países como el Reino Unido, Japón, Estados Unidos, Australia o Nueva Zelanda, se pueden considerar precursores, en la introducción de los métodos prestacionales, en sus códigos de protección, frente al fuego de las estructuras. En todos estos países, se realizaron importantes esfuerzos, para adaptar sus códigos prescriptivos, durante las décadas de los años setenta y ochenta. (C & I, 2017)

Un importante ejemplo de ello es el Reino Unido, donde los Códigos de Edificación, habían tenido una importante componente prescriptiva, con el objetivo de evitar incendios, como el que destruyó Londres el año 1666. Sin embargo, unas reglas prescriptivas, cada vez más costosas de aplicar, tanto a nivel técnico como económico, promueven un cambio en el marco legislativo, fomentando el año 1985 un Código, basado en Prestaciones. (C & I, 2017)

Como ya se mencionó a modo de ejemplo, la guía NFPA 101, Código de Seguridad Humana, contiene en su capítulo 5 lo que denomina el Diseño Basado en Desempeño. En este no se especifican reglas concretas para llevar a cabo el diseño, sino que se establecen unas metodologías y unos objetivos de desempeño, que deberán ser evaluados a partir del diseño propuesto. En esta importante guía americana, se recogen algunos aspectos que deben ser básicos, en cualquier diseño basado en prestaciones. En primer lugar, establece en ocho, el número mínimo de escenarios de incendio, que deben ser analizados (**Tabla 5**), a no ser, que las características particulares del edificio, determinen que un número inferior de escenarios, son suficientes, para garantizar la seguridad de los ocupantes. (C & I, 2017)

Una de las últimas incorporaciones, al marco normativo internacional de los métodos prestacionales, es un anexo, no mandatorio, titulado «**Performance-based Design Procedures for Fire Effects on Structures**», publicado en la nueva versión de la ASCE-7, Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. Este anexo E, aporta los procedimientos, para la evaluación prestacional de los elementos estructurales y sus conexiones. Esto, constituye una clara alternativa, al diseño tradicionalmente prescriptivo, para alcanzar los requerimientos de diseño de la estructura. (C & I, 2017)

De manera complementaria, a todo este marco normativo internacional, actualmente existe un conjunto de documentos, considerados fundamentales, en el desarrollo de los estudios prestacionales. Se trata del conjunto de normas, publicadas por el Comité Técnico internacional ISO TC 92/SC-4 «Fire safety». Dichas normas están siendo actualmente traducidas como normas UNE-ISO, españolas por el Comité Técnico de Normalización 23 de AENOR, Subcomité 8 «Ingeniería de protección contra incendios» (AEN/CTN23/SC8). (C & I, 2017)

1.5. Tiempo de fuego requerido. Método simplificado II- Tiempo equivalente:

El tiempo equivalente de fuego normalizado (t_e), es el tiempo de exposición a la curva normalizada tiempo – temperatura, que se supone que tiene un efecto térmico, igual al de un incendio real, en el sector de incendio considerado (UNE – EN – 1993 – 1 – 2:2005), se determina mediante la siguiente expresión:

$$t_e = q_{f,k} * \gamma_n * \gamma_s * W * K * M = q_{f,d} * w_f * k_b * k_c \text{ (minutos)}$$

Siendo:

$q_{f,k}$ = Valor característico de la carga de fuego (MJ/m²)

w_f = Coeficiente de ventilación.

k_b = Factor relacionado con las propiedades térmicas, de los materiales que forman el sector de incendio.

k_c = Factor de corrección, según el material del elemento estructural.

1.5.1. Campo de aplicación del método Nivel II:

- ❖ No es aplicable a estructuras mixtas de acero y concreto.
- ❖ No es aplicable a estructuras de madera.

El método del nivel II, se caracteriza, por no imponer temperaturas en el acero, superiores a la máxima temperatura alcanzada, en dicho material durante el incendio real.

1.6. Diseño por nomogramas. Método simplificado II- Tiempo equivalente:

Método gráfico, para determinar la resistencia al fuego, de las estructuras de acero según EN 1993-1-2:2005.(Apta, 2005).

1.6.1. Bases de Cálculo:

El instante de colapso de una estructura de acero depende de (Apta, 2005):

- ❖ La temperatura crítica del acero $\theta_{a,cr}$: las propiedades del acero dependen de la temperatura - ver (figura 3.5.). La temperatura crítica es la temperatura de colapso de la estructura de acero. Ésta depende del grado de utilización del grado de utilización μ_0 :

$$\mu_0 = \frac{E_{f,i,d}}{R_{f,i,d,0}}$$

$E_{fi,d}$ Efecto de cálculo de las acciones para la situación de incendio.

$R_{fi,d,0}$ Resistencia de cálculo en situación de incendio en el instante $t=0$. Para las vigas y los elementos sometidos a tracción, $R_{fi,d,0}$ es igual a la resistencia a temperatura ambiente R_d ya que $\gamma_{Mfi}=1,0$. Para los soportes continuos de varias plantas, en el caso de que cada planta sea un sector de incendio distinto, la longitud de pandeo considerada en el cálculo puede reducirse a un valor:

$l_{fi}=\alpha L_{cr}$, donde

$\alpha = 0,5$ Para los soportes de plantas intermedias;

$\alpha = 0,7$ Para los soportes de la planta superior;

En el resto de los casos de longitud de pandeo, permanece al igual a la considerada a temperatura ambiente ($\alpha = 1$).

❖ La velocidad de calentamiento: Que depende de tres factores:

- La evolución de la temperatura del incendio;
- El factor de sección $P[m^{-1}]$, cociente entre la superficie expuesta al fuego (A) y el volumen de acero (V) por unidad de longitud;
- La contribución a la resistencia del acero al fuego, de los posibles materiales de protección. Dicha contribución viene determinada por su espesor d_p y por las características térmicas:

Conductibilidad térmica λ_p [W/mK]

Calor específico c_p [J/kgK]

Densidad ρ_p [kg/m³]

La influencia sobre la resistencia al fuego se determinará según ENV 13381-4 O ENV 13381-8, o según la normatividad nacional.

1.7. Curvas paramétricas de temperatura (método de nivel III- simplificado):

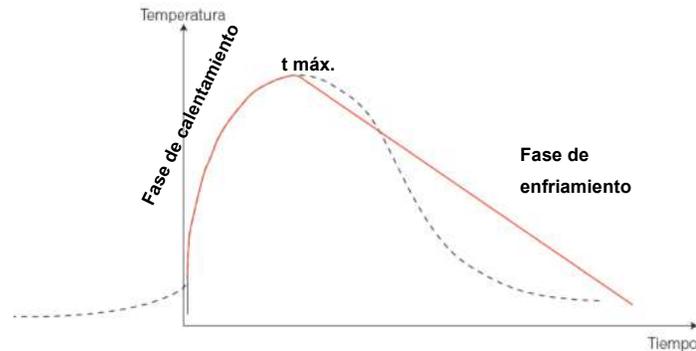


Ilustración 14: Curva paramétrica y su aproximación a la curva de fuego natural.

(ZIGURAT, 2010)

En la **ilustración 14**, se grafican dos fases, la fase de calentamiento que consiste en una curva logarítmica y la fase de enfriamiento, que consiste, en una pendiente. La curva paramétrica, es un intento matemático, por representar, la curva real de incendio. La intersección entre la fase de calentamiento y fase de enfriamiento, se denomina, temperatura máxima.

Se puede emplear, con las siguientes restricciones en edificaciones con:

- ❖ Áreas menores o iguales a 500 m².
- ❖ Alturas libres de máximo de 4m.
- ❖ Sin aberturas en la cubierta.

Los cálculos matemáticos, parten de la siguiente fórmula:

$$\theta_g = 20 + 1325 \left(1 - 0.324e^{-0.2t^*} - 0.204e^{-1.7t^*} - 0.472e^{-19t^*} \right)$$

En donde θ_g = Temperatura de los gases en el sector incendio °C.

1.8. ¿Como se evalúa, la resistencia del acero bajo la acción del incendio?:

En la norma Europea EN - 1993-1-2, existe un apartado, que hace referencia, a la variación de las propiedades mecánicas con la temperatura, agrupándose, como factores de reducción de la resistencia, el límite elástico y el módulo de elasticidad, tal y como se evidencia en la **Tabla 6**. Dichos factores, también se visualizan en la **Ilustración 15**, en la que se puede apreciar cómo hasta los 400°C, la resistencia de los aceros prácticamente se mantiene constante. Entre 400°C y 600°C, se produce una reducción de la resistencia, que puede ser superior al 50%. (Irene, 2014)

Según los Eurocódigos, son varios los métodos simples de cálculo, que pueden utilizarse para evaluar la resistencia al fuego, de las estructuras en situación de incendio. Uno de ellos, es la temperatura crítica, que se aplica fundamentalmente, en el análisis de los elementos estructurales de acero. (Irene, 2014)

La temperatura crítica, se calcula teniendo en cuenta, las acciones mecánicas aplicadas, la resistencia de cálculo a temperatura normal y la pérdida de resistencia del acero, a temperaturas elevadas. Esta temperatura, normalmente varía entre 500 y 800 °C. Se puede calcular, siguiendo las sencillas expresiones que se dan en la norma EN - 1993-1-2 (Irene, 2014). En el capítulo IV del manual, se realizan ejemplos al respecto.

Temperatura del Acero °C	Factores de reducción a una temperatura relativa de 20 °C		
	Para rendimiento efectivo de resistencia $k_{y,\theta} = f_{y,\theta} / f_y$	Para límite proporcional $k_{p,\theta} = f_{p,\theta} / f_y$	Para la pendiente en un rango lineal elástico $k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_a$
20	1,000	1,000	1,000
100	1,000	1,000	1,000
200	1,000	0,807	0,900
300	1,000	0,613	0,800
400	1,000	0,420	0,700
500	0,780	0,360	0,600
600	0,470	0,180	0,310
700	0,230	0,075	0,130
800	0,110	0,050	0,090
900	0,060	0,038	0,068
1000	0,040	0,025	0,045
1100	0,020	0,013	0,023

Tabla 6: Coeficientes de corrección de las características mecánicas del acero en función de la temperatura, según EN – 1993 – 1 – 2.

Elaboración propia.

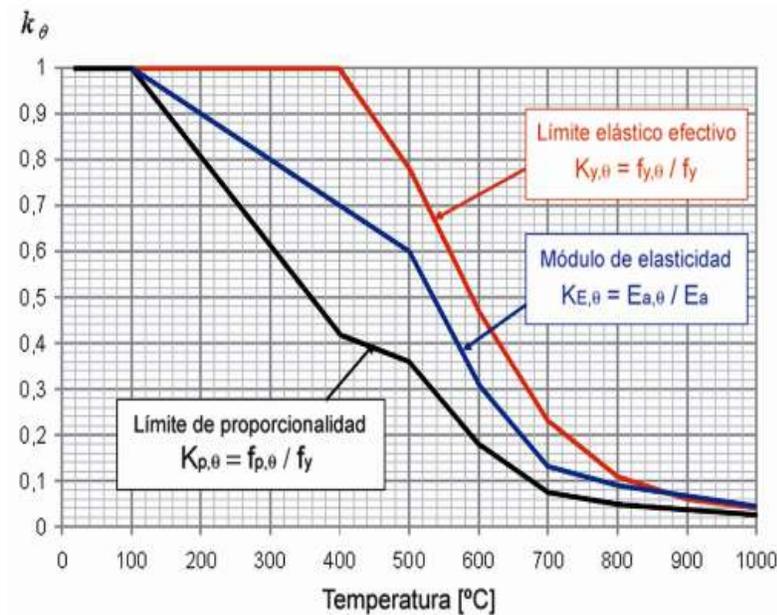


Ilustración 15: Coeficientes de corrección de las características mecánicas del acero en función de la temperatura.

(Apta, 2005)

CAPITULO II: Ejemplo N.º 1, correspondiente al método del Nivel I (prescriptivo): Resistencia requerida para un edificio (uso: Lugar de reuniones y comercio), según NSR, NFPA e IBC.

2.1 Descripción del edificio

- ❖ Uso: Lugar de Reuniones y Comercio
- ❖ Localización: Barrio San Fernando - Bogotá – Colombia

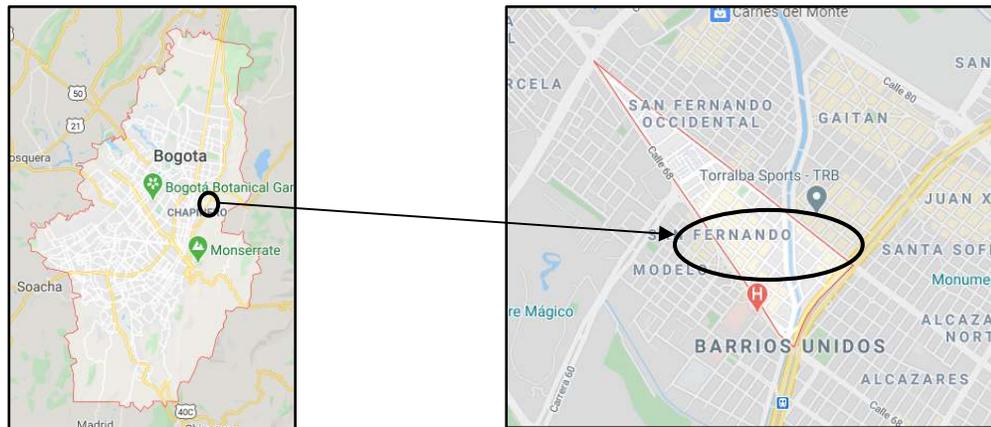


Ilustración 16: Ubicación del proyecto en la ciudad de Bogotá, D.C.

Elaboración propia.

Es un (1) edificio, sin sótano, con un área aproximada por piso de 238 m², a partir del segundo piso se da implantación general a dos (2) salones de comercio, desde el tercer piso hasta el cuarto piso, dos (2) salones de reuniones, para un total de 6 salones. El lote, en donde se encuentra establecido el edificio, cuenta con un área del orden de 328 m².

Arquitectónicamente hablando, la estructura cuenta con áreas de comercio, parqueaderos y demás requeridos para uso comercial.

La estructura de la edificación, está constituida por una placa en steeldeck soportada en viguetas metálicas, que transmiten la carga a las vigas principales; estas, junto con las columnas que las soportan, conforman pórticos en acero.

La estructura descrita, se puede clasificar dentro del tipo “SISTEMA ESTRUCTURAL DE PÓRTICOS EN ACERO”, según la Tabla A.3-3 (AIS, 2010, p. A - 55), el cual es

compuesto por pórticos espaciales, resistentes a momentos, esencialmente completos, sin diagonales, que resisten todas las cargas verticales y fuerzas horizontales.

El edificio, tiene una planta rectangular de 12.90 x 24.00 m, consta de 4 niveles: planta de primer piso, planta de segundo piso, planta de tercer piso, planta de cuarto piso y cubierta liviana.

La estructura principal, se compone de 3 pórticos metálicos, separados 5.18 m y 7.26 m. En el otro sentido 5 pórticos metálicos, separados 4.48 m, 4.17 m, 4.45 m y 4.45 m. La estructura horizontal de la cubierta, se realiza mediante unas cerchas metálicas con aferencia de 4.45 m y una luz de 12.90 m. Los niveles son: placa de segundo piso + 4.68, placa de tercer piso + 7.74, placa de cuarto piso + 10.80 y cubierta + 13.86. Existen 3 franjas de arriostramientos horizontales (6 contravientos), cuya función es estabilizar la cubierta, ante eventos eólicos.

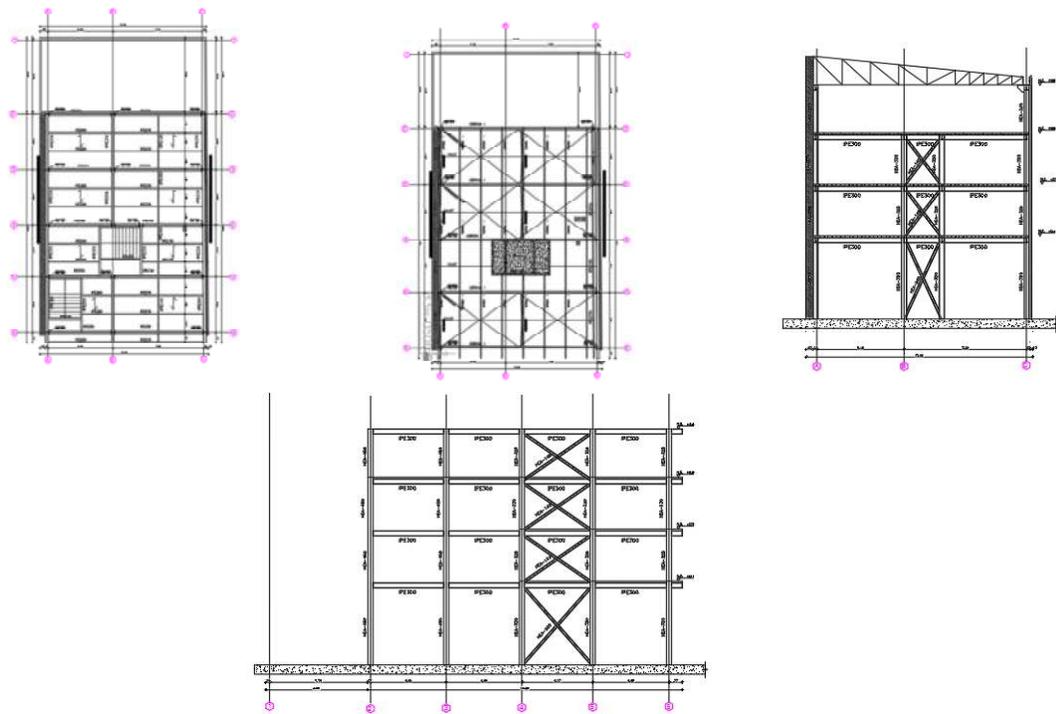


Ilustración 17: Planta tipo, planta cubierta, alzado ejes A y C, alzado diagonales eje 4 (ver de izquierda a derecha y de arriba abajo).

Elaboración propia.

2.1.1 Evaluación de cargas unitarias

❖ Carga unitaria piso 2 a piso 4:

Losa de concreto e=0.12 + lámina steeldeck	:	236 kg/m ²
Acabados : 0.05 x 2.200	:	110 kg/m ²
Muros (particiones livianas):	:	200 kg/m ²
Instalaciones y otros	:	40 kg/m ²
QM	:	586 kg/m²
QV	:	500 kg/m²

❖ Carga unitaria cubierta (liviana):

Teja perfil 7	:	18 kg/m ²
Iluminaciones y varios:	:	17 kg/m ²
Estructura	:	15 kg/m ²
QM	:	50 kg/m²
QV	:	50 kg/m²
G	:	100 kg/m²

2.1.2 Parámetros del espectro de diseño, según NSR-10:

PARAMETROS SISMICOS DE LA ZONA LACUSTRE - 300	
A_h =	Aceleración horizontal pico efectiva de diseño. $A_a = 0.15$ g.
A_v =	Aceleración que representa la velocidad horizontal pico efectiva de diseño. $A_v = 0.20$ g
A_0 =	Aceleración horizontal pico efectiva del terreno en superficie (g)
F_s =	Coefficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos
F_v =	Coefficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedio
I =	Coefficiente de importancia
S_a =	Aceleración espectral (g)
T =	Periodo de vibración (s)
T_c =	Periodo corto (s)
T_l =	Periodo largo (s)
η_a =	Irregularidades en la altura (Tabla A.3-7)
η_p =	Irregularidades en planta (Tabla A.3-6)
η =	Irregularidad Por uniones Soldadas en Obra
η_r =	Ausencia de redundancia en el sistema estructural de resistencia sísmica (A.3.3.8)
R_0 =	coeficiente de capacidad de disipación de energía básico
R =	coeficiente de capacidad de disipación de energía para ser empleado en el diseño
M =	Masa total de la edificación (Ton)
V =	fuerza cortante sísmica. Véase A.3.6.6 (Ton)
A_h =	0,15
A_v =	0,2
$A_0(225)$ (g)	0,16
$F_a(225)$ =	1,05
$F_v(225)$ =	2,90
I =	1,10
S_a (g) =	0,394
T (S) =	0,590
T_c (S) =	1,77
T_l (S) =	5,00
η_a =	1,00
η_p =	1,00
η =	0,90
η_r =	1,00
R_0 =	5,00
R =	4,50
$1/R \times I$	0,244
M =	656,50
0.9^*V_s =	232,65



Ilustración 18: Espectro elástico de diseño.

Elaboración propia.

Se presentan, los datos del análisis sísmico del modelo, por el método del análisis dinámico espectral.

2.1.3 Resumen de derivas:

	COL A-2		COL A-6		COL C-2		COL C-6		
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
DERIVA 1 CUBIERTA	0,02 CUMPLE	0,02 CUMPLE	0,03 O.K						
PISO 4	0,03 CUMPLE	0,03 CUMPLE	0,04 CUMPLE	0,04 CUMPLE	0,03 CUMPLE	0,03 CUMPLE	0,04 CUMPLE	0,04 CUMPLE	0,04 O.K
PISO 3	0,03 CUMPLE	0,04 CUMPLE	0,04 CUMPLE	0,04 O.K					
PISO 2	0,01 CUMPLE	0,01 CUMPLE	0,02 CUMPLE	0,02 CUMPLE	0,01 CUMPLE	0,01 CUMPLE	0,02 CUMPLE	0,02 CUMPLE	0,02 O.K
DERIVA 2 CUBIERTA	0,02 CUMPLE	0,02 CUMPLE	0,03 O.K						
PISO 4	0,03 CUMPLE	0,03 CUMPLE	0,04 CUMPLE	0,04 CUMPLE	0,03 CUMPLE	0,03 CUMPLE	0,04 CUMPLE	0,04 CUMPLE	0,04 O.K
PISO 3	0,03 CUMPLE	0,04 CUMPLE	0,04 CUMPLE	0,04 O.K					
PISO 2	0,01 CUMPLE	0,01 CUMPLE	0,02 CUMPLE	0,02 CUMPLE	0,01 CUMPLE	0,01 CUMPLE	0,02 CUMPLE	0,02 CUMPLE	0,02 O.K
DERIVA 3 CUBIERTA	0,72 CUMPLE	0,69 CUMPLE	0,80 CUMPLE	0,75 CUMPLE	0,72 CUMPLE	0,69 CUMPLE	0,80 CUMPLE	0,76 CUMPLE	0,80 O.K
PISO 4	0,69 CUMPLE	0,65 CUMPLE	0,76 CUMPLE	0,70 CUMPLE	0,69 CUMPLE	0,65 CUMPLE	0,76 CUMPLE	0,70 CUMPLE	0,76 O.K
PISO 3	0,80 CUMPLE	0,76 CUMPLE	0,87 CUMPLE	0,81 CUMPLE	0,80 CUMPLE	0,76 CUMPLE	0,87 CUMPLE	0,81 CUMPLE	0,87 O.K
PISO 2	0,67 CUMPLE	0,66 CUMPLE	0,72 CUMPLE	0,70 CUMPLE	0,67 CUMPLE	0,66 CUMPLE	0,72 CUMPLE	0,70 CUMPLE	0,72 O.K
DERIVA 4 CUBIERTA	0,21 CUMPLE	0,19 CUMPLE	0,22 CUMPLE	0,19 CUMPLE	0,21 CUMPLE	0,17 CUMPLE	0,21 CUMPLE	0,18 CUMPLE	0,22 O.K
PISO 4	0,33 CUMPLE	0,31 CUMPLE	0,33 CUMPLE	0,30 CUMPLE	0,32 CUMPLE	0,28 CUMPLE	0,32 CUMPLE	0,28 CUMPLE	0,33 O.K
PISO 3	0,36 CUMPLE	0,33 CUMPLE	0,36 CUMPLE	0,34 CUMPLE	0,35 CUMPLE	0,31 CUMPLE	0,34 CUMPLE	0,31 CUMPLE	0,36 O.K
PISO 2	0,29 CUMPLE	0,28 CUMPLE	0,29 CUMPLE	0,28 CUMPLE	0,27 CUMPLE	0,26 CUMPLE	0,27 CUMPLE	0,25 CUMPLE	0,29 O.K
DERIVA 5 CUBIERTA	0,71 CUMPLE	0,70 CUMPLE	0,79 CUMPLE	0,77 CUMPLE	0,71 CUMPLE	0,69 CUMPLE	0,79 CUMPLE	0,77 CUMPLE	0,79 O.K
PISO 4	0,68 CUMPLE	0,66 CUMPLE	0,75 CUMPLE	0,72 CUMPLE	0,68 CUMPLE	0,66 CUMPLE	0,75 CUMPLE	0,72 CUMPLE	0,75 O.K
PISO 3	0,79 CUMPLE	0,77 CUMPLE	0,86 CUMPLE	0,83 CUMPLE	0,79 CUMPLE	0,77 CUMPLE	0,86 CUMPLE	0,83 CUMPLE	0,86 O.K
PISO 2	0,67 CUMPLE	0,66 CUMPLE	0,71 CUMPLE	0,70 CUMPLE	0,67 CUMPLE	0,66 CUMPLE	0,71 CUMPLE	0,70 CUMPLE	0,71 O.K
DERIVA 6 CUBIERTA	0,21 CUMPLE	0,19 CUMPLE	0,21 CUMPLE	0,20 CUMPLE	0,20 CUMPLE	0,18 CUMPLE	0,20 CUMPLE	0,19 CUMPLE	0,21 O.K
PISO 4	0,33 CUMPLE	0,31 CUMPLE	0,32 CUMPLE	0,31 CUMPLE	0,31 CUMPLE	0,29 CUMPLE	0,31 CUMPLE	0,29 CUMPLE	0,33 O.K
PISO 3	0,35 CUMPLE	0,35 CUMPLE	0,36 CUMPLE	0,34 CUMPLE	0,34 CUMPLE	0,32 CUMPLE	0,34 CUMPLE	0,32 CUMPLE	0,36 O.K
PISO 2	0,29 CUMPLE	0,28 CUMPLE	0,29 CUMPLE	0,28 CUMPLE	0,27 CUMPLE	0,26 CUMPLE	0,27 CUMPLE	0,26 CUMPLE	0,29 O.K

Tabla 7: Resumen de derivas.

Elaboración propia.

❖ Ajuste de la fuerza sísmica:

$$W = 656,5 \text{ TN}$$

$$Vs * 0,9 = 232,65 \text{ TN}$$

$$Fx = \frac{232,65}{243,56} \times 9,81 = 9,370$$

$$Fy = \frac{232,65}{242,2} \times 9,81 = 9,423$$

Se usa mínimo 9,81

2.1.4 Resultados del diseño ETABS:

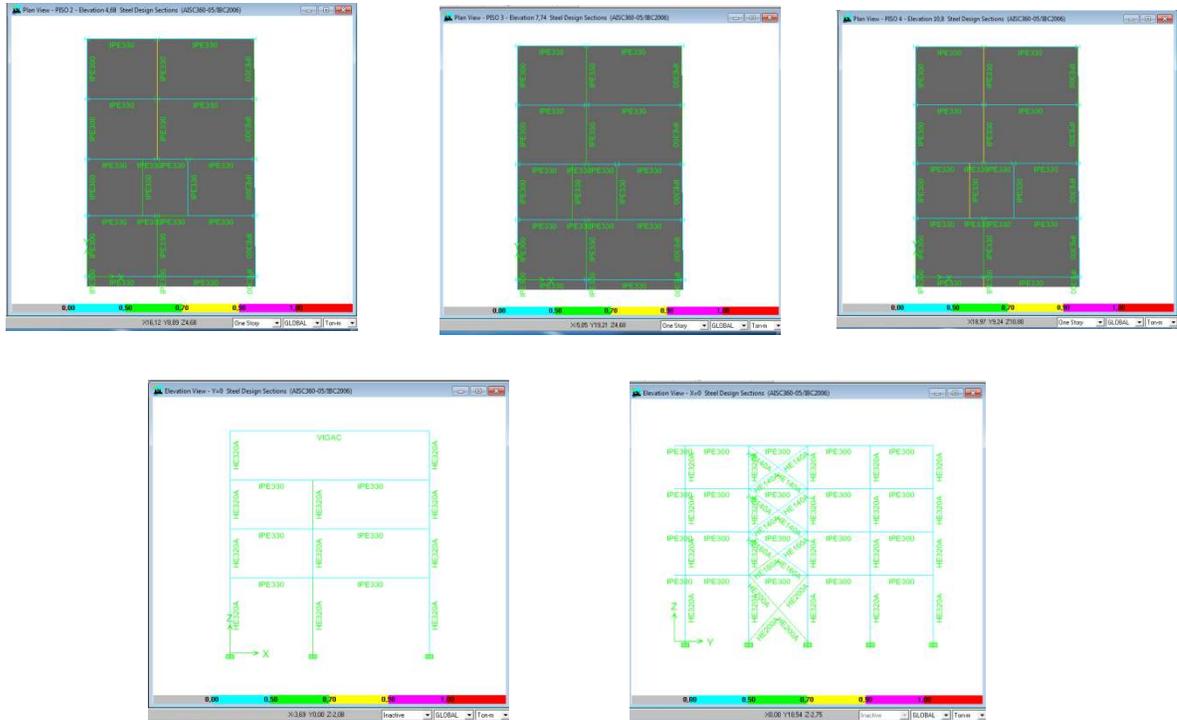


Ilustración 19: Piso 2, piso 3, piso 4, eje 6 (A - C), eje A (1 – 6) (ver de izquierda a derecha y de arriba abajo).

Elaboración propia.

En las cuatro plantas, las vigas longitudinales y transversales son de sección IPE 330, tiene viguetas IPE 200 e IPE 270 y arriostramientos laterales de secciones HEA 140, HEA 160 y HEA 200.

La sección de las columnas en todo el edificio, es HEA 320.

Las columnas, tienen una interacción equivalente al 0,65, es decir 65% de la capacidad de trabajo de la columna. Las vigas, tienen una interacción equivalente al 0,73, es decir 73% de la capacidad de trabajo de la viga.

Los arriostramientos laterales, tienen una interacción equivalente al 0,88; es decir 88% de la capacidad de trabajo de la riostra.

Todas las secciones de la estructura al ser diseñadas, muestran que cumplen satisfactoriamente.

2.2 Diseño de protección contra incendio de la edificación, según NSR-10

Los siguientes pasos en el diseño, han sido tomados de la revista de la Sociedad Colombiana de Ingenieros (Ingenieros, 2020, p.11).

2.2.1 Paso 1

Clasificación de las edificaciones: Se verifica J.1, K.1 y K.2.

Grupos y Subgrupos de ocupación	Clasificación	Sección
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 REUNION	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

Tabla 8: K.2.1-1 Grupos y subgrupos de ocupación.

(AIS, 2010)

La estructura, se clasifica a partir de los criterios de protección al fuego, no necesariamente urbanísticos. Los aspectos principales para considerar son:

- ❖ Capacidad de reacción (Sí se encuentran dormidos o vigilantes).
- ❖ Conocimientos de las personas sobre la edificación.
- ❖ Capacidad de evacuar por sus propios medios.
- ❖ Amenaza de combustión,

- ❖ Cantidad de personas.
- ❖ Altura de la edificación.

Grupo y Subgrupo de ocupación: Lugares de reunión (L-3) y Comercial (C-2) Piso a nivel de la calle o inferiores.

2.2.2 Paso 2:

Definir si la edificación es nueva o existente: Debe cumplir con A.10.1.3.7, K.3.3.2.NSR-10.

Tipo de edificación: Nueva.

2.2.3 Paso 3:

Establecer el número o carga de ocupantes: K.3.3.1, K.3.3.2.

Nomenclatura	Grupos de Ocupación	Área neta de piso en metros cuadrados por ocupante
A	ALMACENAMIENTO	26
C	COMERCIAL	
C-1	Servicios	10
	Bienes y Productos	
C-2	Piso a Nivel de la Calle e inferiores	2
	Otros pisos	6
E	ESPECIAL	según ocupación
F	FABRIL E INDUSTRIAL	9

Tabla 9: K.3.3-1 Índice de ocupación

(AIS, 2010)

Nomenclatura	Grupos de Ocupación	Área neta de piso en metros cuadrados por ocupante
I	INSTITUCIONAL	
I-1	Reclusión	11
I-2	Salud o Incapacidad	7
I-3	Educación (Salones de Clase)	2
I-4	Seguridad Pública	2.8
I-5	Servicio Público	0.3
L	LUGARES DE REUNIÓN	
L-1	Deportivos (Sin asientos fijos)	0.7
L-2	Culturales y Sociales (Sin asientos fijos)	1.3
L-3	Sociales y Recreativos	0.7
L-4	Religiosos	0.7
L-5	De transporte (No menos de 1.5 veces la capacidad de todos los vehículos que puedan descargarse simultáneamente)	0.3
M	MIXTO Y OTROS	La mayor área exigida para las ocupaciones que conforman la ocupación mixta de la edificación.
P	ALTA PELIGROSIDAD	9
R	RESIDENCIAL	18
T	TEMPORAL Y MISCELANEO	según ocupación

Tabla 10: K.3.3-1 (continuación) Índice de Ocupación.

(AIS, 2010)

Grupo y Subgrupo de ocupación: Lugares de reunión (L-3) y Comercial (C-2) Piso a nivel de la calle o inferiores.

INDICE DE OCUPACIÓN			
L-3	Area neta de piso en m ² x ocupante	0,7	Según Tabla K,3,3-1 NSR-10
C-2	Area neta de piso en m ² x ocupante (otros pisos)	6	Según Tabla K,3,3-1 NSR-10

Tabla 11: Índices de ocupación, según grupo y subgrupo de ocupación.

Elaboración propia.

Según las **Tablas 9 y 10**, el Grupo y Subgrupo de ocupación, es Lugares de reunión (L-3) y Comercial (C-2) piso a nivel de la calle o inferiores. Se establece, que el área neta de piso, en metros cuadrados por ocupante es de 0.7 y de 6, respectivamente.

		Espacio	m ²	pie ²	Carga de ocupación	Carga de ocupación por piso
P.2	Local comercial 1		51,02	549,17	9	31
	Local comercial 2		120,00	1291,67	22	
P.3	Salon de reuniones 1		51,02	549,17	78	263
	Salon de reuniones 2		120,00	1291,67	185	
P.4	Salon de reuniones 3		51,02	549,17	78	263
	Salon de reuniones 4		120,00	1291,67	185	
		TOTAL	462,04	4973,36	547	

Carga de Ocupación= $\frac{\text{m}^2}{\text{Indice de ocupación}}$

Tabla 12: Carga de ocupación para edificio uso C-2 y L-3.

Elaboración propia.

La carga de ocupación por piso, según cálculos es de 263 personas, redondeando 260 personas.

Medios de evacuación, del K.3.1 a K.3.18.

Grupo o Subgrupo de ocupación de la edificación o área considerada	Anchura por persona, mm	
	Corredores, puertas y pasajes de salidas	Escaleras
ALMACENAMIENTO (A)	5	8
COMERCIAL (C)	5	10
ESPECIAL (E)	según ocupación	según ocupación
FABRIL, E INDUSTRIAL (F)	6	10
INSTITUCIONAL (I-1)	6	10
INSTITUCIONAL (I-2, I-3, I-4 e I-5)	13	15
LUGARES DE REUNIÓN (L)	5	10
MIXTO Y OTROS (M)	El menor número exigido para las ocupaciones que conforman la ocupación mixta de la edificación.	
ALTA PELIGROSIDAD (P)	10	18
RESIDENCIAL (R)	5	10
TEMPORAL (T)	Según la ocupación	

Tabla 13: K.3.3-2 Índices de ancho de salida por persona.

(AIS, 2010)

Según la **Tabla 13**, al pertenecer a Comercio (C-2) y Lugares de reunión (L-3), la capacidad de evacuación de cada escalera es de 130 personas, es decir 1 persona por cm (10 mm). Por tratarse de 2 escaleras, estaríamos hablando de evacuación para 260 personas.

Ancho de escalera: 1.30m.

Personas por escalera: 130 personas (1 persona por cm).

Cantidad de escaleras: 2 unidades.

Personas x 2 escaleras: 260 personas.

Según K.3.3.3.1 En cuanto a la capacidad de las salidas:

“Cuando la edificación o espacio considerados, estén provistos de un sistema automático, de rociadores para extinción de incendios, los valores para el ancho por persona, dados en la Tabla K.3.3-2, pueden reducirse en un 50%.” (AIS, 2010)

Según Tabla K.3.3-2, para ocupación Comercial (C-2) y lugares de reunión (L-3), el ancho por persona se puede reducir en un 50%, es decir: la capacidad de evacuación de cada escalera es de 260 personas, es decir 1 persona por cm (5 mm). Por tratarse de 2 escaleras, estaríamos hablando de evacuación para 520 personas.

Según calculó la carga de ocupación de 263 personas en el edificio, se redondea a 260 personas, con lo cual estaría cumpliendo. Sin embargo, para mejorar la seguridad de los ocupantes, se podrían colocar sistemas de protección contra incendios (rociadores). El código NSR – 10, no hace énfasis en el uso de los rociadores.

Según K.3.4 Número de salidas:

K.3.4.1.1 “En toda edificación, o área de esta, cuya ocupación, tamaño y disposición sea tal que la seguridad de sus ocupantes se vea comprometida por el boqueo de alguno de los medios de evacuación en caso de incendio u otra emergencia, estos deben ubicarse tan alejados entre sí como sea posible y de tal manera que se minimice la posibilidad de que ambos medios se bloqueen simultáneamente. Las salidas deben estar separadas entre sí a una distancia no inferior a la mitad de la diagonal del edificio o área a evacuar. En caso de contar con un sistema de rociadores la distancia se puede reducir a un tercio de la diagonal del edificio o el área a evacuar.” (AIS, 2010)

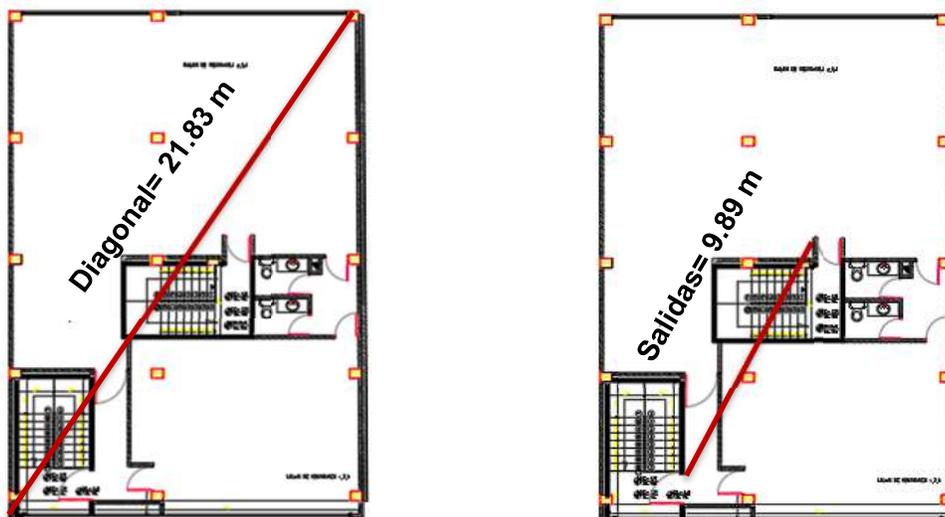


Ilustración 20: Medida de la diagonal del área servida y separación de las salidas.

Elaboración propia.

Diagonal: 21,83 m

Separación de salidas: $\frac{21,83 \text{ m}}{2} = 10,92 \text{ m}$

Como cuenta con sistema de rociadores, la distancia se puede reducir a un tercio:

$$\frac{21,83\text{m}}{3} = 7,27 \text{ m (valor mínimo).}$$

Separación de  salidas del edificio: 9.89 m.

7,27 m < 9,89m

4.2.6 Paso 5:

Normas generales para protección contra incendio en las edificaciones J.2.

“La prevención del fuego se reglamenta principalmente con las sectorizaciones y tipos de acabados interiores para evitar que sean combustible o tengan una gran liberación de humo que pueda afectar la vida de las personas.” (Ingenieros, 2020, p.12).

4.2.7 Paso 6:

Riesgo de los contenidos J.3.

Según J.3.3 .1 “Categorías de riesgo de las edificaciones: Con el fin de evaluar la resistencia requerida en fuego todas las edificaciones se clasificarán, en función de los grupos de ocupación definidos en la Tabla J.1.1-1, en una de las categorías de riesgo de pérdida de vidas humanas o amenaza de combustión que se definen a continuación.” (AIS, 2010)

Grupos y Subgrupos de ocupación	Clasificación	Sección del Reglamento	Grupos y Subgrupos de ocupación	Clasificación	Sección del Reglamento
A	ALMACENAMIENTO		L	LUGARES DE REUNION	K.2.7
A-1	Riesgo moderado	K.2.2	L-1	Deportivos	
A-2	Riesgo bajo		L-2	Culturales y teatros	
C	COMERCIAL	K.2.3	L-3	Sociales y recreativos	
C-1	Servicios		L-4	Religiosos	
C-2	Bienes		L-5	De transporte	
E	ESPECIALES	K.2.4	M	MIXTO Y OTROS	K.2.8
F	FABRIL E INDUSTRIAL	K.2.5	P	ALTA PELIGROSIDAD	K.2.9
F-1	Riesgo moderado		R	RESIDENCIAL	K.2.10
F-2	Riesgo bajo		R-1	Unifamiliar y bifamiliar	
I	INSTITUCIONAL	K.2.6	R-2	Multifamiliar	
I-1	Reclusión		R-3	Hoteles	
I-2	Salud o incapacidad		T	TEMPORAL	K.2.11
I-3	Educación				
I-4	Seguridad pública				
I-5	Servicio público				

Tabla 14: J.1.1-1 Grupos y subgrupos de ocupación.

(AIS, 2010)

La estructura pertenece a grupos y subgrupos de ocupación C-2 y L-3, de acuerdo con la Tabla J.3.3-1, que se encuentra en función del área construida, se realiza la clasificación:

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	II	I	I	I	I	I
	A _T < 500	II	II	II	I	I	I	I
(I)	Unidades > 140 m ²	III	III	III	II	II	II	I
	A _T > 1000	III	II	II	I	I	I	I
(I-2), (I-4)	500 < A _T < 1000	III	III	II	II	I	I	I
	A _T < 500	III	III	III	II	II	II	I
(I-3)	A _T > 1000	II	II	I	I	I	I	I
	A _T < 1000	III	II	II	I	I	I	I
(L-1), (L-2), (L-3), (L-4)	A _T > 1000	II	I	I	I	I	I	I
	500 < A _T < 1000	II	II	I	I	I	I	I
(L-5), (I-1), (I-5)	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	III	III	III	II	II	II	I
	Unidades ≤ 140 m ²	III	III	II	II	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

Notas: (1). En edificios para vivienda, el límite de 140 m² por unidad corresponde al promedio aritmético de las áreas de todas las unidades, sin tener en cuenta las zonas comunes.

Tabla 15: 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.

(AIS, 2010)

Grupos y subgrupos de ocupación: (C-2)

Área total construida, AT m²: AT < 500, se escoge para 4 pisos.

Categoría: I

Elementos de la construcción	Categoría según la clasificación dada en J.3.3.1		
	I	II	III
Muros Cortafuego	3	2	1
Muros de cerramiento de escaleras, ascensores, buitrones, ductos para basuras y corredores de evacuación protegidos	2	2	1
Muros divisorios entre unidades	1	1	1
Muros interiores no portantes	½	¼	-
Elementos estructurales de los materiales cubiertos por los Títulos C a G del Reglamento NSR-10	2	1	1
Cubiertas	1	1	½
Escaleras interiores no encerradas con muros	2	1	1

Tabla 16: J.3.4- 3 Resistencia requerida al fuego normalizado NTC 1480 (ISO 834), en horas, de elementos de una edificación de todos los grupos de ocupación excepto R-1 y R-2.

(AIS, 2010)

Según el numeral J.3.5.4 e la NSR-10, los elementos de acero sin ninguna protección, poseen máximo 15 minutos, de resistencia contra el fuego. Se verifica el numeral J.3.3.3,

que señala las edificaciones o recintos con usos, que no requieren protección contra el fuego. (AIS, 2010).

El edificio se encuentra dentro de la categoría I, ver **Tabla 16**, en el caso de elementos estructurales para su resistencia contra el fuego, requieren de 2 horas (Este requisito es para garantizar estabilidad y aislamiento).

2.3 Diseño de protección contra incendio de la edificación, según NFPA 101:

Los recintos del edificio, se clasifican como espacios de comercio y de reunión, según su carga de ocupación. Los espacios de reunión, se caracterizan por una alta afluencia de personas, quienes no están familiarizados con el edificio.

Uso	(pie ² / persona) ^a	(m ² / persona) ^a
Uso de reunión, público		
Uso concentrado, sin asientos fijos	7 netos	0.65 netos
Uso menos concentrado, sin asientos fijos	15 netos	1.4 netos
Asientos tipo banco	1 persona/18 pulg. lineales	1 persona/455 mm lineales
Asientos fijos	Cantidad de asientos fijos en uso	Cantidad de asientos fijos en uso
Espacios de espera	Ver 12.1.7.2 y 13.1.7.2.	Ver 12.1.7.2 y 13.1.7.2.
Cocinas	100	9.3
Áreas de estanterías en bibliotecas	100	9.3
Salas de lectura en bibliotecas	50 netos	4.6 netos
Piscinas	50 (superficie del agua)	4.6 (superficie del agua)
Áreas alrededor de piscinas	30	2.8
Salas de ejercicios con equipos	50	4.6
Salas de ejercicios sin equipos	15	1.4
Escenarios	15 netos	1.4 netos
Pasarelas, galerías y andamios para iluminación y acceso	100 netos	9.3 netos
Casinos y áreas de juego similares	11	1
Pistas de patinaje	50	4.6
Uso de negocios (distintos de los siguientes)	150	14
Uso de negocios concentrado ^f	50	4.6
Niveles de observación en torres de control de tráfico de aeropuertos	40	3.7
Salas/Espacios de colaboración ≤450 pies ² (41.8 m ²) de área ^f	30	2.8
Salas/Espacios de colaboración >450 pies ² (41.8 m ²) de área ^f	15	1.4
Uso de guardería	35 netos	3.3 netos
Uso de detención y correccional	120	11.1
Uso educacional		
Aulas	20 netos	1.9 netos
Talleres, laboratorios, salas vocacionales	50 netos	4.6 netos
Uso para cuidado de la salud		
Áreas para tratamiento de pacientes internados	240	22.3
Áreas de habitaciones para dormir	120	11.1
Cuidado de la salud para pacientes ambulatorios	150	14
Uso industrial		
Uso industrial general y de riesgo elevado	100	9.3
Uso industrial, propósito especial	NA	NA
Uso mercantil		
Área de ventas en piso a nivel de calle ^g	30	2.8
Área de ventas en dos o más pisos a nivel de calle ^g	40	3.7

(continúa)

Tabla 17: Factor de carga de ocupantes.

(NFPA, 2018)

El factor de carga de ocupación del edificio, se obtiene de la siguiente manera:

USO	FACTOR DE CARGA		
Reunión pública	Area neta de piso en m ² x ocupante	0,65	Según Tabla 7.3.1.2 NFPA-101
Mercantil	Area neta de piso en m ² x ocupante	3,7	Según Tabla 7.3.1.2 NFPA-101

	Espacio	m ²	Carga de ocupación	Carga de ocupación por piso
P-2	Local comercial 1	51,02	14	46
	Local comercial 2	120,00	32	
P-3	Salon de reuniones 1	51,02	78	263
	Salon de reuniones 2	120,00	185	
P-4	Salon de reuniones 3	51,02	78	263
	Salon de reuniones 4	120,00	185	
TOTAL		513,06	572	

Tabla 18: Factor de carga según uso y carga ocupación

Elaboración propia.

$$\text{Carga de Ocupación} = \frac{\text{m}^2}{\text{Índice de ocupación}}$$

En este edificio, existen dos tipos de usos, sin embargo, el uso principal es el de reuniones, por ser el que más área ocupa y tiene mayor carga. Los recintos se encuentran aislados, deben estar separados por barreras resistentes al fuego, con una resistencia mínima según la ocupación de cada uno.

Ocupación	Reunión pública ≤300	Reunión pública >300 a ≤1000	Reunión pública >1000	Educacional	Guardería >12 clientes	Guardería	Cuidado de la salud	Cuidado de la salud para pacientes ambulatorios	Detención y correccional	Viviendas unifamiliares y bifamiliares	Casas de huéspedes o pensiones	Hoteles y dormitorios
Reunión pública ≤ 300	—	0	0	2	2	1	2 ¹	2	2 ¹	2	2	2
Reunión pública >300 a ≤1000	0	—	0	2	2	2	2 ¹	2	2 ¹	2	2	2
Reunión pública >1000	0	0	—	2	2	2	2 ¹	2	2 ¹	2	2	2
Educacional	2	2	2	—	2	2	2 ¹	2	2 ¹	2	2	2
Guardería >12 clientes	2	2	2	2	—	1	2 ¹	2	2 ¹	2	2	2
Guardería	1	2	2	2	1	—	2 ¹	2	2 ¹	2	2	2
Cuidado de la salud	2 ¹	2 ¹	2 ¹	2 ¹	2 ¹	2 ¹	—	2 ¹	2 ¹	2 ¹	2 ¹	2 ¹
Cuidado de la salud para pacientes ambulatorios	2	2	2	2	2	2	2 ¹	—	2 ¹	2	2	2
Detención y correccional	2 ¹	2 ¹	2 ¹	2 ¹	2 ¹	2 ¹	2 ¹	2 ¹	—	2 ¹	2 ¹	2 ¹
Viviendas unifamiliares y bifamiliares	2	2	2	2	2	2	2 ¹	2	2 ¹	—	1	1
Casas de huéspedes o pensiones	2	2	2	2	2	2	2 ¹	2	2 ¹	1	—	1
Hoteles y dormitorios	2	2	2	2	2	2	2 ¹	2	2 ¹	1	1	—
Edificios de apartamentos	2	2	2	2	2	2	2 ¹	2	2 ¹	1	1	1
Asilos y centros de acogida, pequeños	2	2	2	2	2	2	2 ¹	2	2 ¹	1	2	2
Asilos y centros de acogida, grandes	2	2	2	2	2	2	2 ¹	2	2 ¹	2	2	2
Mercantil	2	2	2	2	2	2	2 ¹	2	2 ¹	2	2	2
Mercantil, centros comerciales	2	2	2	2	2	2	2 ¹	2	2 ¹	2	2	2
Mercantil, venta minorista a granel	3	3	3	3	3	3	2 ¹	2 ¹	2 ¹	3	3	3
Negocios	1	2	2	2	2	2	2 ¹	1	2 ¹	2	2	2
Industrial, propósito general	2	2	3	3	3	3	2 ¹	2	2 ¹	2	2	2
Industrial, propósito especial	2	2	2	3	3	3	2 ¹	2	2 ¹	2	2	2
Industrial, riesgo elevado	3	3	3	3	3	3	2 ¹	2 ¹	NP	3	3	3
Almacenamiento, riesgo leve y ordinario	2	2	3	3	3	2	2 ¹	2	2 ¹	2	2	2
Almacenamiento, riesgo elevado	3	3	3	3	3	3	2 ¹	2 ¹	NP	3	3	3

NP: No permitido.

Tabla 19: 6.1.14.4.1 (a) Separación requerida para los ocupantes (en horas), Parte I

(NFPA, 2018)

De todas maneras, en la Tabla 19 se evalúan los dos usos: Reunión pública < pública <300 y mercantil, para reunión pública resulta indiferente y para mercantil son 2 horas, tomamos las 2 horas.

Las 2 horas, pueden ser reducidas a 1 hora, pero no menos de 1 hora, si el edificio se encuentra protegido por un sistema de rociadores automáticos.

La norma NFPA 5000 “Building Construction and Safety Code”, señala que existen 5 tipos de edificaciones:

- ❖ Tipo 1: Construcción en concreto.
- ❖ Tipo 2: Acero con y sin ignifugación.
- ❖ Tipo 3: Mampostería, madera ordinaria, mixta.
- ❖ Tipo 4: Madera pesada, tal como estructuras de molino.
- ❖ Tipo 5: Construcción con Tablas de madera 2x4, tal como estructuras residenciales.

La Norma NFPA 220-2018, indica en la siguiente Tabla la resistencia al fuego (horas), para elementos estructurales, como muros de carga, columnas, vigas, pisos y techos, en numeral 4.1.1.

Tabla 4.1.1 Certificaciones de resistencia al fuego para los Tipos I a V de construcción (en horas)

Elemento de construcción	Tipo I		Tipo II			Tipo III		Tipo IV		Tipo V		
	442	332	222	111	000	211	200	2HH	111	000		
Muros portantes exteriores'												
Sostienen más de un piso, columnas u otros muros portantes	4	3	2	1	0 ^b	2	2	2	1	0 ^b		
Sostienen solamente un piso	4	3	2	1	0 ^b	2	2	2	1	0 ^b		
Sostienen solamente un techo	4	3	1	1	0 ^b	2	2	2	1	0 ^b		
Muros portantes interiores												
Sostienen más de un piso, columnas u otros muros portantes	4	3	2	1	0	1	0	2	1	0		
Sostienen solamente un piso	3	2	2	1	0	1	0	1	1	0		
Sostienen solamente techos	3	2	1	1	0	1	0	1	1	0		
Columnas												
Sostienen más de un piso, columnas u otros muros portantes	4	3	2	1	0	1	0	H	1	0		
Sostienen solamente un piso	3	2	2	1	0	1	0	H	1	0		
Sostienen solamente techos	3	2	1	1	0	1	0	H	1	0		
Vigas, vigas maestras, cabriadas y arcos												
Sostienen más de un piso, columnas u otros muros portantes	4	3	2	1	0	1	0	1	0	H	1	0
Sostienen solamente un piso	2	2	2	1	0	1	0	1	0	H	1	0
Sostienen solamente techos	2	2	1	1	0	1	0	1	0	H	1	0
Conjuntos de montaje piso-cielloraso												
Conjuntos de montaje piso-cielloraso	2	2	2	1	0	1	0	1	0	H	1	0
Conjuntos de montaje techo-cielloraso												
Conjuntos de montaje techo-cielloraso	2	1½	1	1	0	1	0	1	0	H	1	0
Muros interiores no portantes												
Muros interiores no portantes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Muros exteriores no portantes'												
Muros exteriores no portantes'	0 ^b											

Tabla 20: Certificación de resistencia al fuego para los Tipos I a V de construcción (en horas)

(NFPA, 2018)

A los cinco tipos de edificaciones, se agregan tres números arábigos; por ejemplo: Tipo 1 (442), Tipo II (111), o Tipo III (200), que indican el tiempo de resistencia al fuego (en horas), de tres (3) elementos estructurales:

- ❖ Primer número: Muros exteriores
- ❖ Segundo número: Columnas y vigas
- ❖ Tercer número: Pisos

La estructura se clasifica Tipo II de construcción, en la Tabla 20 se señalan, las horas necesarias de resistencia al fuego, para columnas y vigas en este caso son 2 horas.

La NFPA 101 Clasifica las estructuras de acuerdo con su altura en el numeral 12.1.6:

Tipo de construcción	Con rociadores ^a	Pisos situados debajo		Pisos en altura ^b				
		1	2	3	4	≥5		
I (442) ^{c, d, e}	Sí	X	X	X	X	X	X	X
	No	NP	X4	X4	X4	X4	X4	X4
I (332) ^{c, d, e}	Sí	X	X	X	X	X	X	X
	No	NP	X4	X4	X4	X4	X4	X4
II (222) ^{c, d, e}	Sí	X	X	X	X	X	X	X
	No	NP	X4	X4	X4	X4	X4	X4
II (111) ^{c, d, e}	Sí	X1	X	X	X	X3	NP	NP
	No	NP	X4	X4	X4	NP	NP	NP
II (000)	Sí	X2	X	X4	NP	NP	NP	NP
	No	NP	X4	NP	NP	NP	NP	NP
III (211) ^d	Sí	X1	X	X	X	X3	NP	NP
	No	NP	X4	X4	X4	NP	NP	NP
III (200)	Sí	X2	X3	X4	NP	NP	NP	NP
	No	NP	X4	NP	NP	NP	NP	NP
IV (2HH)	Sí	X1	X	X	X	X3	NP	NP
	No	NP	X4	X4	X4	NP	NP	NP
V (111)	Sí	X1	X	X	X	X3	NP	NP
	No	NP	X4	X4	X4	NP	NP	NP
V (000)	Sí	X2	X3	X4	NP	NP	NP	NP
	No	NP	X4	NP	NP	NP	NP	NP

X: Permitido para reuniones públicas con cualquier carga de ocupantes.
X1: Permitido para reuniones públicas con cualquier carga de ocupantes, pero limitadas a un piso por debajo del nivel de descarga de salida.
X2: Permitido para reuniones públicas limitadas a una carga de ocupantes de mil o menos, y limitadas a un piso por debajo del nivel de descarga de salida.
X3: Permitido para reuniones públicas limitadas a una carga de ocupantes de mil o menos.
X4: Permitido para reuniones públicas limitadas a una carga de ocupantes de trescientos o menos.
NP: No permitido.

Tabla 21: Limitaciones según el tipo de construcción.

(NFPA, 2018)

Para la estructura con 4 pisos de altura y tipo 2 de construcción no se requieren rociadores. Se escoge X₄ porque la carga de ocupantes es menor a 300.

La NFPA 5000, clasifica las estructuras, de acuerdo con su altura y áreas permitidas en el edificio. Es una construcción Tipo II, con carga ocupación menor a 300 personas, de 4 pisos y menor a 160 pies de altura. Lo cual indica que es permitida la estructura sin sistema de rociadores.

Construction Type	TYPE I				TYPE II				TYPE III		TYPE IV		TYPE V							
	442		332		222		111		000		211	200	2HH	111	000					
	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N				
Maximum building height (ft)	UL	UL	420	400	180	160	85	65	75	55	85	65	75	55	85	65	70	50	60	40
OCCUPANCY																				
Assembly >1000	UL	4	UL	4	12	4	5	2	1	NP	5	2	NP	NP	3	2	3	2	NP	NP
Assembly >300	UL	UL	UL	15,500	8,500	14,000	NP	15,000	11,500	NP										
	UL	4	UL	4	12	4	4	5	2	1	4	2	1	1	4	2	4	2	1	1
	UL	UL	UL	15,500	8,500	14,000	8,500	15,000	11,500	5,500										
Assembly ≤300	UL	7	UL	7	12	11	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	4	3	2	1
	UL	UL	UL	15,500	8,500	14,000	8,500	15,000	11,500	5,500										
Assembly, outdoor	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	4	3	3	2	4	3	3	2	2	1
	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL										
Business	UL	UL	UL	UL	12	11	6	5	5	4	6	5	5	4	6	5	4	3	3	2
	UL	UL	UL	37,500	23,000	28,500	19,000	36,000	18,000	9,000										
Board and care, large	UL	NP	UL	NP	12	NP	3	NP	2	NP	2	NP	1	NP	2	NP	2	NP	1	NP
	UL	UL	UL	55,000	19,000	10,000	16,500	10,000	18,000	10,500	4,500									
Board and care, small	UL	UL	UL	UL	12	11	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	3	3	2
	UL	UL	UL	24,000	16,000	24,000	16,000	20,500	12,000	7,000										
Day care	UL	2	UL	2	12	2	6	1	4	1	4	1	2	1	2	1	4	1	2	1
	UL	UL	UL	60,500	26,500	13,000	23,500	13,000	25,500	18,500	9,000									
Detention and correctional	UL	7	UL	7	12	7	2	2	2	NP	2	2	2	NP	2	2	2	2	2	NP
	UL	UL	UL	15,000	10,000	10,500	7,500	12,000	7,500	5,000										
Educational	UL	UL	UL	UL	12	5	4	3	3	2	4	3	3	2	4	3	2	1	2	1
	UL	UL	UL	26,500	14,500	23,500	14,500	25,500	18,500	9,500										
Health care	UL	NP	UL	NP	12	NP	3	NP	1	NP	1	NP	NP	NP	1	NP	1	NP	NP	NP
	UL	UL	UL	15,000	11,000	12,000	NP	12,000	9,500	NP										
Health care, ambulatory	UL	UL	UL	UL	12	11	6	5	5	1	6	5	5	1	6	5	4	3	3	1
	UL	UL	UL	37,500	23,000	28,500	19,000	36,000	18,000	9,000										

Tabla 22: Altura y áreas permitidas del edificio.

(NFPA, 2015)

- ❖ S: Altura permitida del edificio en pies y número permitido de pisos en edificios protegidos con un sistema de rociadores.
- ❖ N: Altura permitida del edificio en pies y número permitido de pisos en edificios no protegidos con un sistema de rociadores automáticos.
- ❖ UL: Ilimitado
- ❖ NP: No permitido

En cuanto a las escaleras:

Característica	Criterios dimensionales	
	pie/pulg.	mm
Ancho mínimo	Ver 7.2.2.2.1.2.	
Altura máxima de las contrahuellas	7 pulg.	180
Altura mínima de las contrahuellas	4 pulg.	100
Profundidad mínima de las huellas	11 pulg.	280
Altura libre mínima	6 pies 8 pulg.	2030
Altura máxima entre los descansos	12 pies	3660
Descanso	Ver 7.2.1.3, 7.2.1.4.3.1 y 7.2.2.3.2.	

Tabla 23: 7.2.2.2.1.1 (a) Escaleras nuevas.

(NFPA, 2018)

Carga total de ocupantes acumulada, asignada a la escalera	Ancho	
	pulg.	mm
<2000 personas	44	1120
≥2000 personas	56	1420

Tabla 24:7.2.2.1.2 (B) Ancho para escaleras nuevas.

(NFPA, 2018)

Según 7.6 (NFPA, 2018) La medición de la distancia de recorrido a las salidas, se mide de la siguiente manera:

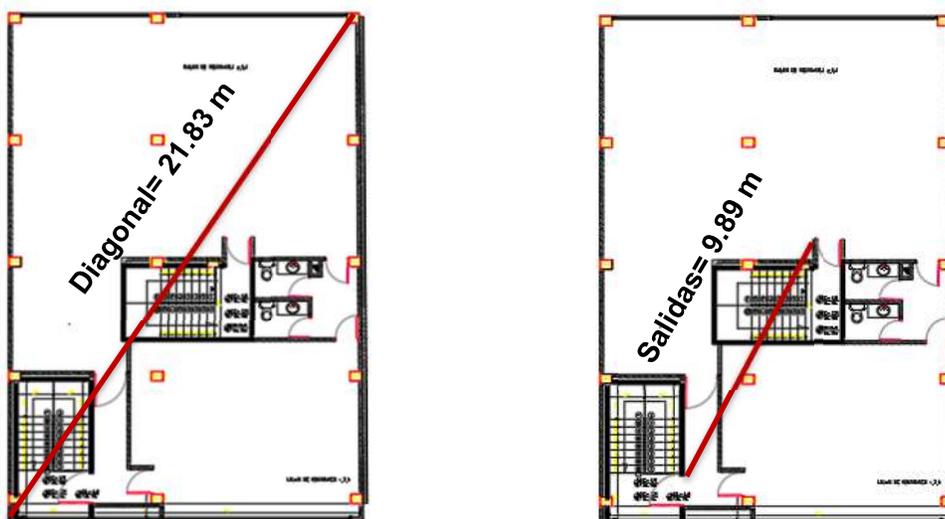


Ilustración 21: medida de la diagonal del área servida y separación de las salidas.

Elaboración propia.

Diagonal: 21,83 m.

Separación de salidas: $\frac{21.83 \text{ m}}{2} = 10,915 \text{ m}$.

Como cuenta con sistema de rociadores, la distancia se puede reducir a un tercio:

$\frac{21,83\text{m}}{3} = 7,27 \text{ m}$ (valor mínimo).

Separación de salidas del edificio: 9,89 m (cumple).

7,27 m < 9,89m



2.4 Diseño de protección contra incendio de la edificación, según IBC

En la mayor parte de los Estados Unidos, la construcción está regulada por los códigos del International Code Council (ICC). Estos son el International Building Code (IBC) [24] y el International Fire Code (IFC) [25], en lo que se refiere a protección contra incendios. En ellos, además, se hace referencia a estándares ISO, ASTM, y de la NFPA (National Fire Protection Association). (Ligan, 2018)

El IBC, establece, los requerimientos mínimos, para salvaguardar la vida y el bienestar público, además, de la seguridad de propiedad, ante incendios u otros peligros del entorno construido. Ha sido adoptado, en la mayoría de las jurisdicciones de los Estados Unidos, como también, en los países de la comunidad del Caribe y Arabia Saudita, entre otros. (Ligan, 2018)

Según la sección 303.3 “Grupo de reunión A”, la ocupación del Grupo A-2 incluye usos de montaje, destinados al consumo de alimentos y / o bebidas, incluidos, entre otros:

- ❖ Salones de banquetes
- ❖ Casinos (áreas de juego)
- ❖ Discotecas
- ❖ Restaurantes, cafeterías y restaurantes similares instalaciones (incluyendo cocinas comerciales asociados)
- ❖ Tabernas y bares

La estructura se clasifica en el grupo A-2, uso de reunión y mercantil.

La norma IBC señala que existen 4 tipos de clasificaciones:

- ❖ Tipo I y II: Construcción hecha de materiales no combustibles
- ❖ Tipo III: Los elementos exteriores de construcción son de materiales incombustibles y las interiores son de cualquier material permitidos por el código.
- ❖ Tipo IV: Los elementos exteriores de construcción son de materiales incombustibles y las interiores son de madera.
- ❖ Tipo V: Los elementos de construcción exteriores y las interiores son de cualquier material permitidos por el código.

Las ocupaciones se clasifican:

- ❖ A: Lugar de reuniones.
- ❖ B: Negocios.

❖ HT: Madera pesada.

BUILDING ELEMENT	TYPE I		TYPE II		TYPE III		TYPE IV	TYPE V	
	A	B	A	B	A	B	HT	A	B
Primary structural frame ^f (see Section 202)	3 ^a	2 ^a	1	0	1	0	HT	1	0
Bearing walls									
Exterior ^{h, f}	3	2	1	0	2	2	2	1	0
Interior	3 ^a	2 ^a	1	0	1	0	1/HT	1	0
Nonbearing walls and partitions Exterior	See Table 602								
Nonbearing walls and partitions Interior ^d	0	0	0	0	0	0	See Section 602.4.8	0	0
Floor construction and associated secondary members (see Section 202)	2	2	1	0	1	0	HT	1	0
Roof construction and associated secondary members (see Section 202)	1 1/2 ^b	1 ^{b, c}	1 ^{b, c}	0 ^c	1 ^{b, c}	0	HT	1 ^{b, c}	0

Tabla 25: 2.19:601 Requisitos de clasificación de resistencia al fuego, para elementos de construcción (horas).

(International Code Council, 2015)

La estructura principal se clasifica Tipo II de construcción, por lo tanto, requiere 1 hora de resistencia al fuego.

GRUPO DE DESTINO	CLASIFICACIÓN DE RESISTENCIA AL FUEGO (horas)
H-1, H-2	4
F-1, H-3, S-1	3
A, B, E, F-2, H-4, H-5, I, M, R, S-2	2
U	1

Tabla 26:706.3.9 Requisitos de clasificación de resistencia al fuego, para sistemas de barrera contra incendio entre áreas de incendio.

(International Code Council, 2015)

La estructura según el grupo destino, requiere para el sistema de barrera contra incendio, 2 horas de resistencia al fuego.

FUNCIÓN DEL ESPACIO	FACTOR DE CARGA DEL OCUPANTE ^a
Áreas de almacenamiento de accesorios, sala de equipos mecánicos	300 brutos
Edificio agrícola	300 brutos
Hangares de aviones	500 brutos
Terminal de aeropuerto	
Recogida de equipaje	20 brutos
Manejo de equipaje	300 brutos
Concurso	100 brutos
Zonas de espera	15 brutos
Montaje	
Pisos de juego (keno, tragamonedas, etc.)	11 bruto
Museo y galería de exposiciones	30 netos
Montaje con asientos fijos	Consulte la Sección 1004.4
Montaje sin asientos fijos	
Concentrado (solo sillas, no fijo)	7 neto
Espacio de pie	5 neto
No concentrado (mesas y sillas)	15 netos
Los centros de bolos permiten 5 personas por cada carril, incluidos 15 pies de pista, y para áreas adicionales	7 neto
Áreas de negocio	100 brutos
Salas de audiencias: distintas de las áreas de asientos fijas	40 netos
Guardería	35 neto
Dormitorios	50 brutos
Educativo	
Área del aula	20 neto
Tiendas y otras áreas de salas de formación profesional	50 netos
Áreas institucionales	
Áreas de tratamiento para pacientes hospitalizados	240 bruto
Zonas ambulatorias	100 brutos
Áreas para dormir	120 brutos
Cocinas comerciales	200 brutos
Biblioteca	
Salas de lectura	50 netos
Área de pila	100 brutos
Vestidores	50 brutos
Edificios de centros comerciales: cubiertos y abiertos	Consulte la Sección 402.8.2

Mercantil	60 brutos
Áreas de almacenamiento, stock, envío	300 brutos
Garajes de estacionamiento	200 brutos
Residencial	200 brutos
Pistas de patinaje, piscinas	
Pista y piscina	50 brutos
Cubiertas	15 brutos
Etapas y plataformas	15 netos
Almacenes	500 brutos

Para SI: 1 pie cuadrado = 0.0929 m², 1 pie = 304.8 mm.

a. Área de piso en pies cuadrados por ocupante.

Tabla 27:1004.1.2 Asignaciones máximas de área de piso por ocupante.

(International Code Council, 2015)

FUNCIÓN DEL ESPACIO	FACTOR DE CARGA DEL OCUPANTE		
Montaje sin asientos fijos	Area neta de piso en pie ² x ocupante	7	Según Tabla 1004.1.2 IBC
Mercantil	Area neta de piso en pie ² x ocupante	60	Según Tabla 1004.1.2 IBC

	Espacio	m ²	pie ²	Carga de ocupación	Carga de ocupación por piso
P-2	Local comercial 1	51,02	549,17	9	31
	Local comercial 2	120,00	1291,67	22	
P-3	Salon de reuniones 1	51,02	549,17	78	263
	Salon de reuniones 2	120,00	1291,67	185	
P-4	Salon de reuniones 3	51,02	549,17	78	263
	Salon de reuniones 4	120,00	1291,67	185	
TOTAL		462,04	4973,36	547	

Tabla 28: Factor de carga según función del espacio y factor de carga del ocupante.

Elaboración propia.

La carga de ocupación por piso es de 263.

OCCUPANCY	MAXIMUM OCCUPANT LOAD OF SPACE	MAXIMUM COMMON PATH OF EGRESS TRAVEL DISTANCE (feet)			
		Without Sprinkler System (feet)		With Sprinkler System (feet)	
		Occupant Load			
		OL ≤ 30	OL > 30		
A, E, M	49	75	75	75 ^a	
B	49	100	75	100^a	
F	49	75	75	100 ^a	
H-1, H-2, H-3	3	NP	NP	25 ^b	
H-4, H-5	10	NP	NP	75 ^b	
I-1, I-2 ^c , I-4	10	NP	NP	75 ^c	
I-3	10	NP	NP	100 ^a	
R-1	10	NP	NP	75 ^c	
R-2	20	NP	NP	125 ^a	
R-3 ^e	20	NP	NP	125 ^{a, f}	
R-4 ^e	20	NP	NP	125 ^{a, f}	
S ^g	29	100	75	100 ^a	
U	49	100	75	75 ^a	

For SI: 1 foot = 304.8 mm.

NP = Not Permitted.

a. Buildings equipped throughout with an automatic sprinkler system in accordance with Section 903.3.1.1 or 903.3.1.2. See Section 903 for occupancies where automatic sprinkler systems are permitted in accordance with Section 903.3.1.2.

b. Group H occupancies equipped throughout with an automatic sprinkler system in accordance with Section 903.2.5.

c. For a room or space used for assembly purposes having fixed seating, see Section 1029.8.

d. For the travel distance limitations in Group I-2, see Section 407.4.

e. The common path of egress travel distance shall only apply in a Group R-3 occupancy located in a mixed occupancy building.

f. The length of common path of egress travel distance in a Group S-2 open parking garage shall be not more than 100 feet.

g. For the travel distance limitations in Groups R-3 and R-4 equipped throughout with an automatic sprinkler system in accordance with Section 903.3.1.3, see Section 1006.2.2.6.

Tabla 29:1006.2.1 Espacios con una salida, o puerta de acceso de salida.

(International Code Council, 2015)

Se deben proporcionar dos salidas, de acuerdo con la Tabla 29, porque supera la carga máxima de espacio por ocupante.

Sección 903.2.1, “Se debe proporcionar un sistema de rociadores automáticos, en todos los edificios y partes de estos que se utilicen como destinos del Grupo A, según se dispone en esta sección. Para destinos de los Grupos A-1 , A-2 , A-3 y A-4 , el sistema de rociadores automáticos, se debe proporcionar en todo el piso, donde el área que contiene el Grupo A-1 , A-2 , A-3 o A- 4, se encuentra la ocupación, y en todos los pisos desde la ocupación del Grupo A hasta, e incluyendo, los niveles de salida de descarga, que sirve a la ocupación del Grupo A.”(International Code Council, 2015)

Para la estructura clasificada en el grupo A-2, se deben proporcionar un sistema de rociadores automáticos.

Sección 903.2.1.2, “Se debe proporcionar, un sistema de rociadores automáticos, para las áreas de incendio que contengan destinos del Grupo A-2 y pisos intermedios del edificio, donde exista una de las siguientes condiciones:

El área del incendio excede los 5.000 pies cuadrados (464.5 m²).

El área de incendio tiene una carga de ocupantes de 100 o más.

El área de incendio, está ubicada, en un piso que no sea un nivel de descarga de salida que sirva a tales destinos.” (International Code Council, 2015)

Adicionalmente a pertenecer al grupo A-2, su carga de ocupantes es mayor a 100.

Según sección 10006.2.1(International Code Council, 2015). La medición de salida, basada en la carga de ocupantes y la distancia de viaje, de la ruta común de salida, se mide de la siguiente manera:

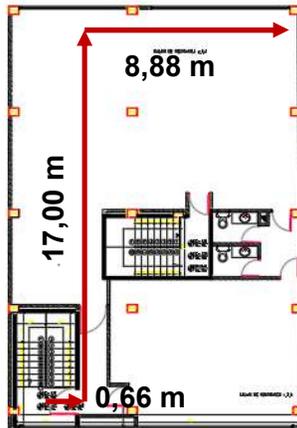


Ilustración 22: Medida de la distancia de viaje, de la ruta común de salida.

Elaboración propia.

Carga de ocupación total (tercer y cuarto piso): $78 + 185 = 263$

Distancia a la salida: $8,88 \text{ m} + 17,00 + 0,66 \text{ m} = 26,54 \text{ m} = 87,00 \text{ pies} > 75 \text{ pies}$



La distancia de viaje supera 75 pies, de tal manera que se requiere sistema de rociadores.

En la siguiente Tabla se estima, la altura permitida en pies:

OCCUPANCY CLASSIFICATION	SEE FOOTNOTES	TYPE OF CONSTRUCTION								
		TYPE I		TYPE II		TYPE III		TYPE IV	TYPE V	
		A	B	A	B	A	B	HT	A	B
A, B, E, F, M, S, U	NS ^b	UL	160	65	55	65	55	65	50	40
	S	UL	180	85	75	85	75	85	70	60
H-1, H-2, H-3, H-5	NS ^{c,d}	UL	160	65	55	65	55	65	50	40
	S	UL	160	65	55	65	55	65	50	40
H-4	NS ^{c,d}	UL	160	65	55	65	55	65	50	40
	S	UL	180	85	75	85	75	85	70	60
I-1 Condition 1, I-3	NS ^{l,e}	UL	160	65	55	65	55	65	50	40
	S	UL	180	85	75	85	75	85	70	60
I-1 Condition 2, I-2	NS ^{l,e,f}	UL	160	65	55	65	55	65	50	40
	S	UL	180	85	75	85	75	85	70	60
I-4	NS ^{h,i}	UL	160	65	55	65	55	65	50	40
	S	UL	180	85	75	85	75	85	70	60
R ^h	NS ^g	UL	160	65	55	65	55	65	50	40
	S13D	60	60	60	60	60	60	60	50	40
	S13R	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	S	UL	180	85	75	85	75	85	70	60

Tabla 30:504.3 Altura permitida del edificio en pies.

(International Code Council, 2015)

- ❖ S: Edificios equipados en su totalidad con rociadores automáticos.
- ❖ NS: Edificios no equipados con un sistema de rociadores automáticos.
- ❖ UL: Ilimitado
- ❖ A: Lugar de reuniones.

❖ B: Negocios.

La estructura, pertenece al grupo de ocupación A, subgrupo A-2, h=13.86 m =45,47 pies, construcción tipo II (A). Como $45.47 < 65$, no requiere rociadores automáticos, por altura del edificio.

2.5 Comparación diseño de protección contra incendios según NSR, NFPA e IBC.

CODIGO	GRUPO	SUB-GRUPO	INDICE DE OCUPACIÓN	CARGA DE OCUPACIÓN	SALIDAS REQUERIDAS (ESCALERAS PROTEGIDAS)	RESISTENCIA REQUERIDA ELEMENTOS ESTRUCTURALES (horas)	¿REQUIERE SISTEMA DE ROCIADORES?
NSR	Lugar de reuniones (L)	L-3	0.7	31	2	2	NO
	Comercio (C)	C-2	6	263			
NFPA	Reunión pública		0.65	46	2	2	NO
	Mercantil		3.7	263			
IBC	Reunión	A-2	7	31	2	2	SI
	Mercantil		60	263			

Tabla 31: Comparación diseño de protección contra incendio NSR, NFPA e IBC.

Elaboración propia.

Al comparar las 3 normas; se deduce que NSR e IBC, son muy similares, en cuanto a coeficientes de grupos y subgrupos. Como también muy parecidos, los requerimientos en la cantidad de salidas requeridas.

Las restricciones para recintos destinados a reuniones y/o comercio, en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR, son insuficientes.

Es importante que, se adopten los requerimientos establecidos en los códigos internacionales, especialmente acerca del diseño y protección de vías de evacuación. Debido a su gran experiencia en la materia, al igual que, el material complementario, como, manuales técnicos, desarrollado para que instruir a los profesionales y personas interesadas en el tema.

CAPITULO III: Ejemplos: Diseño de protección contra incendio (uso: Hotel).

3.1 Ejemplo N.º 2: Tiempo de fuego requerido. Método simplificado III, curvas paramétricas de temperatura. Según UNE - EN 1991-1-2:2004.

A continuación, se realizan por tiempo equivalente, varios ejemplos para una habitación de hotel, tomado de (Real, 1993), variando la ventilación, a través de las medidas de la ventana (factor de abertura) y el percentil de carga combustible, comenzamos por $O=0,051$ y percentil 80 (Ver Tabla 2).

3.1.1 Asume para percentil de carga combustible del 80%, con factor de abertura $O=5,10\%$:

Calcule y trace la curva de tiempo-temperatura paramétrica, para la habitación de hotel, que se describe a continuación.

La habitación, es una habitación en un hotel. La vista en planta, es rectangular con dimensiones de 3.20 m por 6.40 m.

La altura del piso al techo es de 2,60 m. El piso y el techo, están hechos de concreto de peso normal y las paredes están hechas de concreto de peso normal, cubierto por una capa de yeso de 12,6 mm de espesor.

	En planta		abertura puerta
a=	3,20 m.	h muro= 2,60 m.	b= 1,10 m.
L=	6,40 m.		h= 2,20 m.
			abertura ventana
			b= 1,00 m.
			h= 1,00 m.

Análisis del techo

c= 1000,00 Calor específico
 ρ = 2300,00 Densidad específica
 λ = 1,60 Conductividad térmica

$$b = \sqrt{c\rho\lambda}$$

b= 1918 J/m²s^{0.5}K
 Area= 40,96 m²

Análisis del muro

c= 1000,00 Calor específico
 ρ = 1150,00 Densidad específica
 λ = 0,49 Conductividad térmica

$$b = \sqrt{c\rho\lambda}$$

b= 749 J/m²s^{0.5}K

Nota: debido a que el factor b de la cubierta de yeso, es más bajo que el factor de la pared de concreto, solo se considera el factor de la capa expuesta al fuego para las paredes.

Área sin ABERTURA = 2 * (3,2 + 6,4) * 2,6 - 1,1 * 2,2 - 1,0 * 1,0 = 46,5 m²

Área Total At = 2 * (3,2 + 6,4) * 2,6 + 2* 3,2 = 90,88 m²

b= Parámetro de material en las paredes, ancho de una sección de acero, ancho de una placa.

$$b = \frac{\sum b_i A_i}{\sum A_i}$$

$$b = \frac{(1918 * 40,96 + 749 * 46,50)}{40,96 + 46,50} = \frac{113410}{87} = 1297 \text{ J/m}^2 \text{ s}^{0.5} \text{ K}$$

Cuando varias aberturas rectangulares están presentes en el compartimiento, el factor de ABERTURA se calcula a partir de

$$h_{eq} = \frac{\sum A_{vi} h_i}{A_v}$$

A_v= área total de las aberturas verticales

h_{eq}= altura promediada de las aberturas de la ventana

$$h_{eq} = \frac{(1,1 * 2,2 * 2,2 + 1,0 * 1,0 * 1,0)}{(1,1 * 2,2 + 1,0 * 1,0)} = \frac{6,32}{3,42} = 1,85$$

O= Factor de ABERTURA de una ABERTURA

A_t = Área total del recinto (m^2).

$$O = \frac{A_v \sqrt{h_{eq}}}{A_t}$$

$$O = \frac{(1,1 * 2,2 + 1,0 * 1,0) * 1,85^{0,5}}{90,88} = \frac{4,65}{90,88} = 0,0512m^{0,5}$$

Γ = Coeficiente de expansión

$$\Gamma = \left(\frac{O/0,04}{b/1160} \right)^2$$

$$\Gamma = \frac{\left(\frac{0,0512}{0,04} \right)^2}{\left(\frac{1297}{1160} \right)^2} = \frac{1,637}{1,25} = 1,31$$

Nota: Un valor de Γ inferior a 1,0 significa, que la curva de fuego aumentará más lentamente, que la curva estándar de tiempo-temperatura.

En este caso, Γ es mayor a 1.0, significa que la curva de fuego aumentará más rápido, que la curva estándar de tiempo-temperatura.

La Tabla E. 4 del Eurocódigo 1, da a los hoteles un valor de q_f, k igual a 377 MJ / m^2 . Suponiendo que la influencia de las medidas activas no se tiene en cuenta, esto conduce a $q_f, d = q_f, k = 377$ MJ / m^2 .

Un factor de combustión, está entre 0 y 1. En los casos en que se tenga material celulósico (madera, papel, etc), podría tomarse como $m = 0,8$. Sin embargo, aquí se consideró un valor del factor $m = 1,0$.

$$q_{t,d} = q_{f,k} = 377,00 \text{ MJ/m}^2 \cdot A$$

$$q_{t,d} = q_{f,d} \frac{A_f}{A_t}$$

$A_f = \text{Área de piso (m}^2\text{)}$

$$A_f = 3,2 * 6,4 = 20,48 \text{ m}^2$$

$$q_{t,d} = \frac{377 * 20,48}{90,88} = 84,96 \text{ MJ/m}^2$$

3.2 Ejemplo N.º 3: Tiempo de fuego requerido. Método simplificado III, curvas paramétricas de temperatura, teniendo en cuenta las medidas activas. Según UNE - EN 1991-1-2:2004.

A continuación, se realiza por tiempo equivalente un ejemplo para una habitación de hotel, asumiendo la ventilación con coeficiente de abertura $O=5,10\%$. Se plantean 2 escenarios, se desarrolla el escenario más completo, el B (**Ver tabla 36**):

3.2.1 Escenario B, con medidas activas ante incendio:

Determinando, la densidad de carga de fuego como valor estadístico, a partir de la fórmula:

$$q_{f,d} = q_{f,k} \frac{A_f}{A_t} \delta_{q1} \delta_{q2} \delta_n m$$

m = Factor de combustión. Entre 0 y 1, Cuando se tenga material celulósico (madera, papel, etc.) puede tomarse como $m=0,8$

Se toma $m= 0,80$

δ_{q1} = Coeficiente, que tiene en cuenta el riesgo de inicio de incendio, que está relacionado con el tamaño del recinto.

δ_{q2} = Coeficiente, que tiene en cuenta el riesgo de inicio de incendio, debido al tipo de uso o actividad.

$\frac{A_f}{A_t}$ = Diferencia entre área del suelo y área total.

Superficie de suelo del sector A_f (m ²)	Riesgo de inicio del incendio δ_{q1}
25.00	1.10
250	1.50
2500	1.90
5000	2.00
10000	2.13

Tabla 32: Coeficiente δ_{q1}

(ZIGURAT, 2010)

Riesgo de inicio del incendio δ_{q2}	Ejemplos de tipos de actividad
0.78	galería de arte, museo, piscina
1.00	oficina, residencia, hotel, industria papelera
1.22	fábrica de maquinaria y motores
1.44	laboratorio químico, taller de pintura
1.66	fabrica de fuegos artificiales o de pinturas

Tabla 33: Coeficiente δ_{q2}

(ZIGURAT, 2010)

δ_n = Coeficiente que tiene en cuenta las medidas de protección activa contra incendios (rociadores, detección, alarmas, bomberos, etc.), y es calculado como el producto de los diferentes factores δ_{ni} , cada uno representa el efecto de una medida de protección.

ESCENARIOS	Extinción automática			Detección automática			Extinción manual				δ_n		
	Sistema automático de extinción por agua	Fuentes independientes de suministro de agua			Detección y alarma automática de calor	Transmisión automática de la alarma a los bomberos	Equipos propios de bomberos	Bomberos ajenos	Vías seguras de acceso	Equipo de lucha contra incendios		Sistema de control de humos	
		0	1	2									δ_{n3}
	δ_{n1}	δ_{n2}			δ_{n3}	δ_{n4}	δ_{n5}	δ_{n6}	δ_{n7}	δ_{n8}	δ_{n9}	δ_{n10}	
	0,61	1	0,87	0,7	0,87	0,73	0,87-1	0,61	0,78	0,9-1-1,5	1-1,5	1-1,5	
A	1	1			1	1,00	1	1	1	1	1	1	1,000
B	0,61	1			0,87	0,73	1	1	1	1	1	1	0,387

Tabla 34: Coeficiente δ_{ni}

Elaboración propia.

$$\delta_n = \delta_{n1} \delta_{n2} \delta_{n3} \delta_{n4} \delta_{ni}$$

$$q_{f,d} = q_{f,k} \frac{A_f}{A_t} \delta_{q1} \delta_{q2} \delta_{ni} m$$

ESCENARIO B

La carga de fuego, en la Tabla E. 4 del Eurocódigo 1 da para los hoteles, un valor de $q_{f,k} = 377 \text{ MJ} / \text{m}^2$.

La densidad de carga por área de piso es:

$$q_{f,d} = 377 * \frac{3,2*6,4}{90,88} * 0,387 = 32,87 \text{ MJ/m}^2$$

Duración de la fase de calentamiento:

$$t_{\max} = 0.0002 q_{f,d} / O$$

$$t_{\max} = \frac{0,0002 * 32,87}{0,0512} = 0,129 \text{ horas} = 8 \text{ min}$$

Valores de t_{\lim} en función de la tasa de crecimiento:

Growth rate	t_{\lim} in minutes	t_{\lim} in hours
<i>Slow</i> (transport (public space))	25	0.417
<i>Medium</i> (dwelling, hospital room, hotel room, office, classroom of a school)	20	0.333
<i>Fast</i> (library, shopping centre, theatre/cinema)	15	0.250

Tabla 35: Valores de t_{\lim} en función de la tasa de crecimiento.

(Real, 1993)

$t_{\lim} = 0.33 \text{ horas}$ $t_{\lim} > t_{\max}$, **el fuego está controlado por la combustible.**

Temperatura al final de la fase de calentamiento, se obtiene así:

$$t_{\max}^* = \Gamma t_{\max}$$

$$t_{\max}^* = 1,31 * 0,129 \text{ horas}$$

$$t_{\max}^* = 0,168 \text{ horas} = 10,09 \text{ minutos}$$

$$\theta_g = 20 + 1325 \left(1 - 0,324 e^{-0,2t^*} - 0,204 e^{-1,7t^*} - 0,472 e^{-19t^*} \right)$$

θ_g = Temperatura de los gases en el sector incendio °C.

$$\theta_g = 20 + 1325 * (1 - 0,324 e^{(-0,2 * 0,168)} - 0,204 e^{(-1,7 * 0,168)} - 0,472 e^{(-19 * 0,168)})$$

$$\theta_g = 701 \text{ °C}$$

Tiempo al final de la fase de enfriamiento (el tiempo en que el recinto llega a 20°), se obtiene así:

$$t_{20}^* = 1,258 \quad \text{Para } t_{\max}^* \leq 0,5$$

$$t_{20}^* = 1,131 \quad \text{Para } 0,5 < t_{\max}^* < 2$$

$$t_{20}^* = 2,89 \quad \text{Para } 2 \leq t_{\max}^*$$

$$t_{20} = 0,961 \text{ horas} = 57,647 \text{ minutos}$$

$$O_{lim} = 0,0001 q_{t,d} / t_{lim}$$

$$O_{lim} = \frac{0,0001 * 32,88}{0,333} = \frac{0,0033}{0,333} = 0,0099 \text{ m}^{(1/2)}$$

Si $O > 0,04$ y $q_{t,d} < 75$ y $b > 1160$, entonces:

$$k = 1 + \left(\frac{O - 0,04}{0,04} \right) \cdot \left(\frac{q_{t,d} - 75}{75} \right) \cdot \left(\frac{1160 - b}{1160} \right)$$

$$K = 1$$

$$\Gamma_{lim} = k \frac{(O_{lim}/0,04)^2}{(b/1160)^2}$$

$$\Gamma_{lim} = \frac{\left(\frac{0,0099}{0,04}\right)^2}{\left(\frac{1297}{1160}\right)^2} = \frac{0,060}{1,249} = 0,049$$

Temperatura al final de la fase de calentamiento.

$$t_{max}^* = \Gamma_{lim} t_{lim}$$

$$t_{max}^* = 0,049 * 0,333 = 0,016 \text{ horas} = 0,97 \text{ min}$$

$$\theta_g = 20 + 1325 \left(1 - 0,324e^{-0,2t^*} - 0,204e^{-1,7t^*} - 0,472e^{-19t^*} \right)$$

$$\theta_{max} = 20 + 1325 * (1 - 0,324 e^{(-0,2 * 0,0162)} - 0,204 e^{(-1,7 * 0,0162)} - 0,472 e^{(-19 * 0,0162)})$$

$$\theta_{max} = 20 + 1325 * (1 - 0,3229 - 0,1984 - 0,3467)$$

$$\theta_{max} = 195 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tiempo al final de la fase de enfriamiento:

$$t_{max}^* = \Gamma t_{max}$$

$$t_{max}^* = 1,31 * 0,13 = 0,168 = 10 \text{ min}$$

Pendiente de la fase de enfriamiento:

$$250 (3,00 - 0,168) = 708 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\theta_g = \theta_{max} - 625 (t^* - t_{max}^*)$$

$$t_{max}^* = 0,5$$

t* = 20.00

$$t_{20} = \frac{(708 - 20) + 0,333 * 1,31}{708} = 0,972 + 0,436 = 1,408 \text{ horas}$$

$$t_{20} = \frac{1,408}{1,310} = 1,075 \text{ (64 minutos)}$$

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)
0,00	20,00
1,00	30,02
2,00	39,88
3,00	49,61
7,99	96,13
9,99	113,80
11,99	130,95
13,99	147,61
15,98	163,79
17,98	179,50
19,98	194,76
64,50	20,00
164,50	20,00

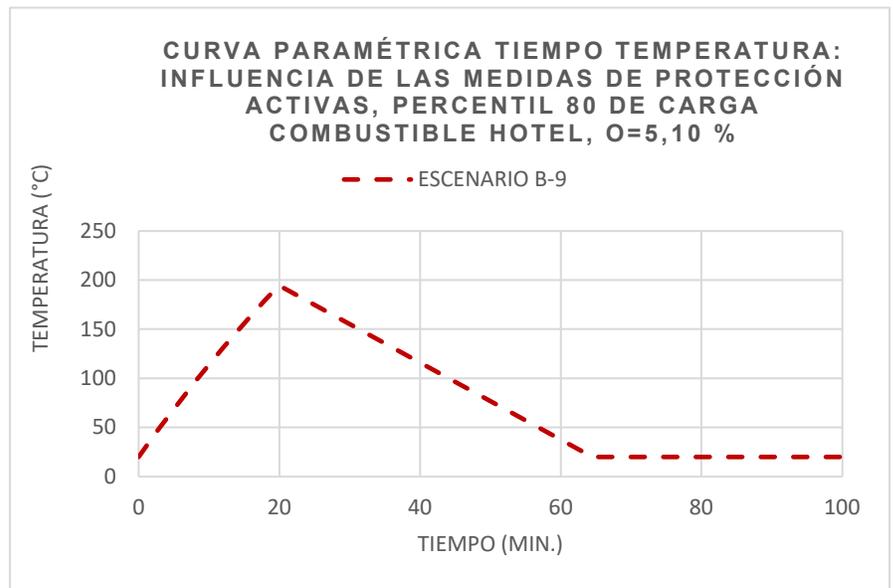


Ilustración 23: Curva paramétrica de tiempo-temperatura: Influencia de las medidas de protección activas, ante incendio, percentil 80 de carga combustible Hotel, O=5,10%, escenario B-9.

Elaboración propia.

3.2.2 Comparación con curva paramétrica de temperatura - tiempo, según UNE- EN 1991-1-2:2004.

Para simular, en lo posible las curvas reales de fuego, se calculan las curvas paramétricas. Con sectores de hasta 500 m² de superficie y hasta 4 m de altura.

Se muestran varias curvas paramétricas, según la ventilación (coeficiente de abertura O). Es decir, variando el coeficiente de abertura, con el fin de ser comparadas y se vea la influencia de la ventilación.

A mayor ventilación, mayor es la temperatura y menor es el tiempo.

Simultáneamente, se varia la carga combustible, en percentiles de 80 y 95, para escenario A:

ESCENARIO A

$$q_{f,d} = 377 * \frac{3,2*6,4}{90,88} * 1 = 84,96 \text{ MJ/m}^2$$

	ESCENARIOS	
	A	B
Hotel: Af= 20,48 m ²		
Carga de fuego q f,k= 377 MJ/m ²		
δ _{q1} = 1,1 δ _{q2} = 1		
O= 5,10% m ^{0,5} m= 0,8		
Sin medidas activas ante incendio		
Cuerpo de bomberos externo		
Detección Automática de incendios y Alarma de humos		
Transmisión Automática de Alarma al cuartel de bomberos		
Sistema Atomático de Extinción por agua		
δn	1,00	0,387

Tabla 36: Resumen de distintos escenarios sin y con medidas de protección activas.

Elaboración propia.

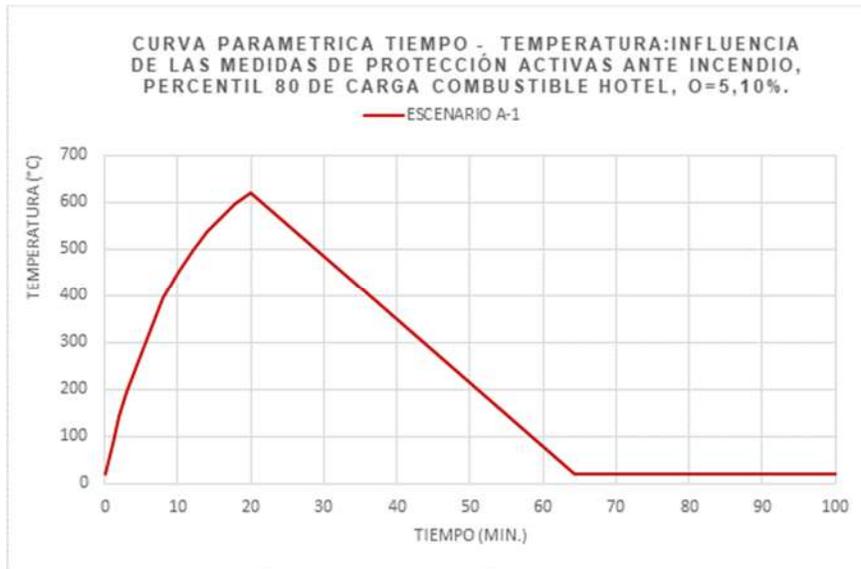


Ilustración 24: Curva paramétrica de tiempo-temperatura: Influencia de las medidas de protección activas, ante incendio, percentil 80 de carga combustible Hotel, O=5,10%, escenario A-1.

Elaboración propia.

3.2.3 Resumen de distintos escenarios y comparación sin y con medidas de protección activas de curva paramétrica de temperatura tiempo según UNE – EN – 1991 – 1 – 2, variando factores de abertura y carga combustible en los percentiles 80 y 95.

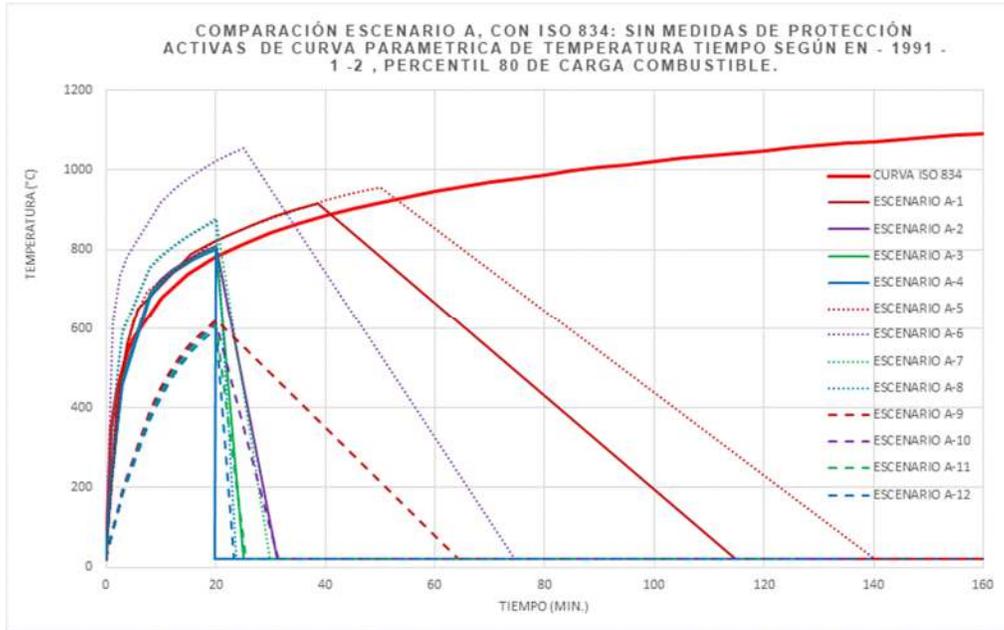


Ilustración 25: Comparación escenario A, con ISO 834: Sin medidas de protección activas de curva paramétrica de temperatura- tiempo, según EN – 1991 – 1 – 2, percentil 80 de carga combustible.

Elaboración propia.

ESCENARIO	FACTOR DE ABERTURA (O)	CARGA COMBUSTIBLE	PERCENTIL	MEDIAS ACTIVAS				CONTROLADA POR:
				ROCIADORES AUTOMATICOS	DETECCION AUTOMATICA	ALARMA AUTOMATICA	BOMBEROS AJENOS	
ESCENARIO A-1	5,10%	730,0	80,0	NO	NO	NO	NO	VENTILACION
ESCENARIO A-2	10,20%	730,0	80,0	NO	NO	NO	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO A-3	14,80%	730,0	80,0	NO	NO	NO	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO A-4	19,50%	730,0	80,0	NO	NO	NO	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO A-5	5,10%	948,0	80,0	NO	NO	NO	NO	VENTILACION
ESCENARIO A-6	10,20%	948,0	80,0	NO	NO	NO	NO	VENTILACION
ESCENARIO A-7	14,80%	948,0	80,0	NO	NO	NO	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO A-8	19,50%	948,0	80,0	NO	NO	NO	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO A-9	5,10%	377,0	80,0	NO	NO	NO	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO A-10	10,20%	377,0	80,0	NO	NO	NO	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO A-11	14,80%	377,0	80,0	NO	NO	NO	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO A-12	19,50%	377,0	80,0	NO	NO	NO	NO	COMBUSTIBLE

Tabla 37: Escenario A, sin medidas de seguridad activas con curva paramétrica de temperatura-tiempo, según EN – 1991 – 1 – 2.

Elaboración propia.

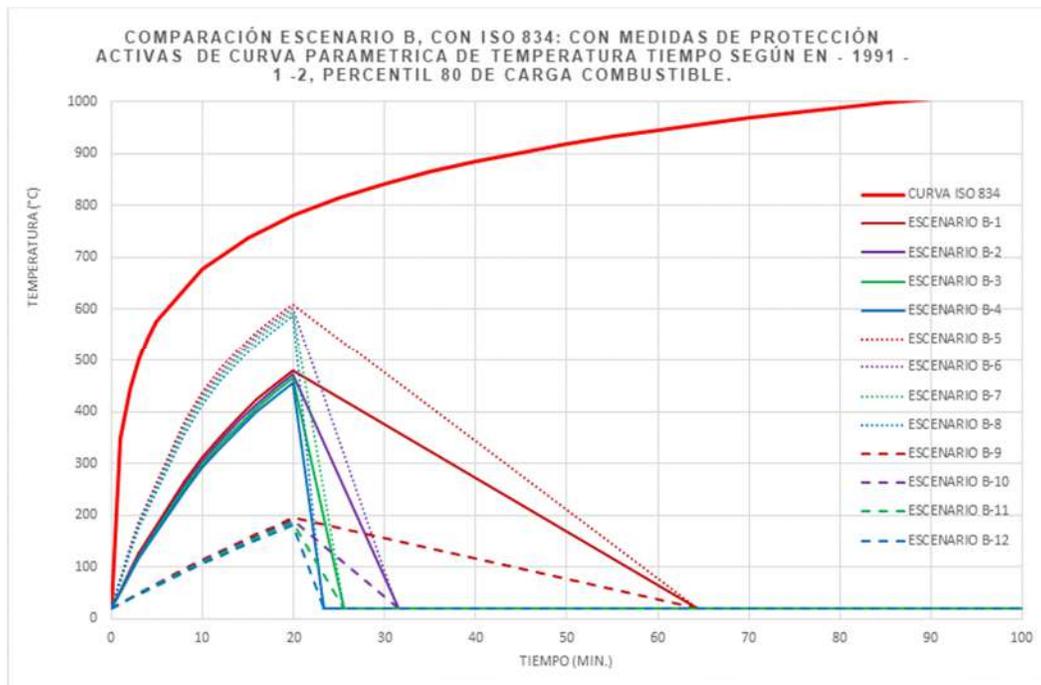


Ilustración 26: Comparación escenario B, con ISO 34: Con medidas de protección activas de curva paramétrica de temperatura- tiempo, según EN – 1991 – 1 – 2, percentil 80 de carga combustible.

Elaboración propia.

ESCENARIO	FACTOR DE ABERTURA (O)	CARGA COMBUSTIBLE	PERCENTIL	MEDIAS ACTIVAS				CONTROLADA POR:
				ROCIADORES AUTOMATICOS	DETECCION AUTOMATICA	ALARMA AUTOMATICA	BOMBEROS AJENOS	
ESCENARIO B-1	5,10%	730,0	80,0	SI	SI	SI	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO B-2	10,20%	730,0	80,0	SI	SI	SI	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO B-3	14,80%	730,0	80,0	SI	SI	SI	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO B-4	19,50%	730,0	80,0	SI	SI	SI	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO B-5	5,10%	948,0	80,0	SI	SI	SI	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO B-6	10,20%	948,0	80,0	SI	SI	SI	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO B-7	14,80%	948,0	80,0	SI	SI	SI	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO B-8	19,50%	948,0	80,0	SI	SI	SI	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO B-9	5,10%	377,0	80,0	SI	SI	SI	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO B-10	10,20%	377,0	80,0	SI	SI	SI	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO B-11	14,80%	377,0	80,0	SI	SI	SI	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO B-12	19,50%	377,0	80,0	SI	SI	SI	NO	COMBUSTIBLE

Tabla 38: Escenario B, con medidas de seguridad activas con curva paramétrica de temperatura- tiempo, según EN – 1991 – 1 – 2.

Elaboración propia.

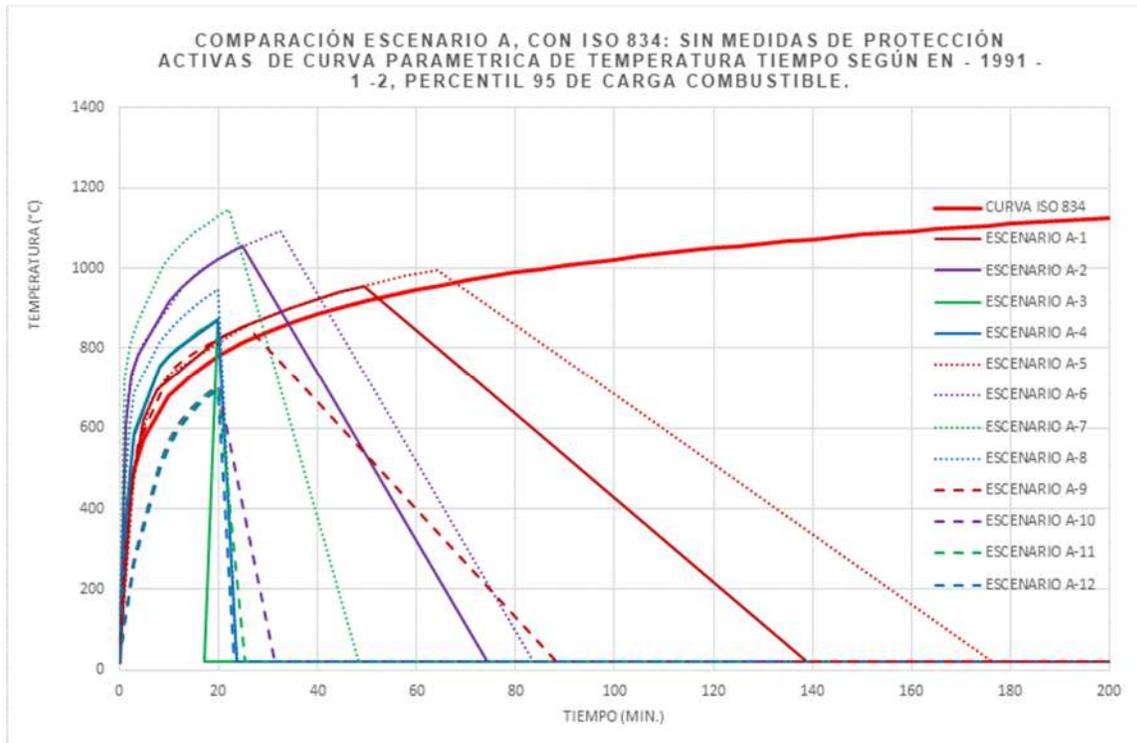


Ilustración 27: Comparación escenario A, con ISO 834: Sin medidas de protección activas de curva paramétrica de temperatura- tiempo, según EN – 1991 – 1 – 2, percentil 95 de carga combustible.

Elaboración propia.

ESCENARIO	FACTOR DE ABERTURA (O)	CARGA COMBUSTIBLE	PERCENTIL	MEDIAS ACTIVAS				CONTROLADA POR:
				ROCIADORES AUTOMATICOS	DETECCION AUTOMATICA	ALARMA AUTOMATICA	BOMBEROS AJENOS	
ESCENARIO A-1	5,10%	936,0	95,0	NO	NO	NO	NO	VENTILACION
ESCENARIO A-2	10,20%	936,0	95,0	NO	NO	NO	NO	VENTILACION
ESCENARIO A-3	14,80%	936,0	95,0	NO	NO	NO	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO A-4	19,50%	936,0	95,0	NO	NO	NO	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO A-5	5,10%	1217,0	95,0	NO	NO	NO	NO	VENTILACION
ESCENARIO A-6	10,20%	1217,0	95,0	NO	NO	NO	NO	VENTILACION
ESCENARIO A-7	14,80%	1217,0	95,0	NO	NO	NO	NO	VENTILACION
ESCENARIO A-8	19,50%	1217,0	95,0	NO	NO	NO	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO A-9	5,10%	484,0	95,0	NO	NO	NO	NO	VENTILACION
ESCENARIO A-10	10,20%	484,0	95,0	NO	NO	NO	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO A-11	14,80%	484,0	95,0	NO	NO	NO	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO A-12	19,50%	484,0	95,0	NO	NO	NO	NO	COMBUSTIBLE

Tabla 39: Escenario A, sin medidas de seguridad activas con curva paramétrica de temperatura-tiempo, según EN – 1991 – 1 – 2.

Elaboración propia.

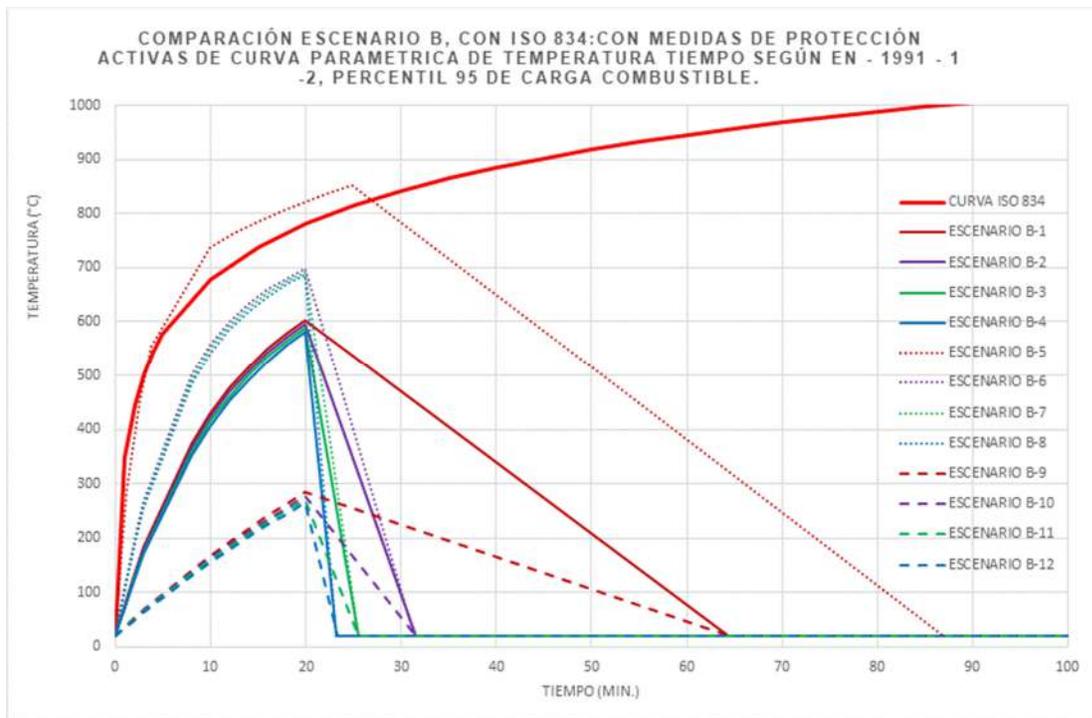


Ilustración 28: Comparación escenario B, con ISO 34: Con medidas de protección activas de curva paramétrica de temperatura- tiempo, según EN – 1991 – 1 – 2, percentil 95 de carga combustible.

Elaboración propia.

ESCENARIO	FACTOR DE ABERTURA (O)	CARGA COMBUSTIBLE	PERCENTIL	MEDIAS ACTIVAS				CONTROLADA POR:
				ROCIADORES AUTOMATICOS	DETECCION AUTOMATICA	ALARMA AUTOMATICA	BOMBEROS AJENOS	
ESCENARIO B-1	5,10%	936,0	95,0	SI	SI	SI	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO B-2	10,20%	936,0	95,0	SI	SI	SI	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO B-3	14,80%	936,0	95,0	SI	SI	SI	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO B-4	19,50%	936,0	95,0	SI	SI	SI	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO B-5	5,10%	1217,0	95,0	SI	SI	SI	NO	VENTILACION
ESCENARIO B-6	10,20%	1217,0	95,0	SI	SI	SI	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO B-7	14,80%	1217,0	95,0	SI	SI	SI	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO B-8	19,50%	1217,0	95,0	SI	SI	SI	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO B-9	5,10%	484,0	95,0	SI	SI	SI	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO B-10	10,20%	484,0	95,0	SI	SI	SI	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO B-11	14,80%	484,0	95,0	SI	SI	SI	NO	COMBUSTIBLE
ESCENARIO B-12	19,50%	484,0	95,0	SI	SI	SI	NO	COMBUSTIBLE

Tabla 40: Escenario B, con medidas de seguridad activas con curva paramétrica de temperatura- tiempo, según EN – 1991 – 1 – 2.

Elaboración propia.

3.2.4 Resumen de distintos escenarios y comparación de medidas de seguridad activas con curva paramétrica de temperatura tiempo según UNE – EN – 1991 – 1 – 2, con diferente ventilación (factor de abertura) y variando la carga combustible en los percentiles 80 y 95, para uso vivienda:

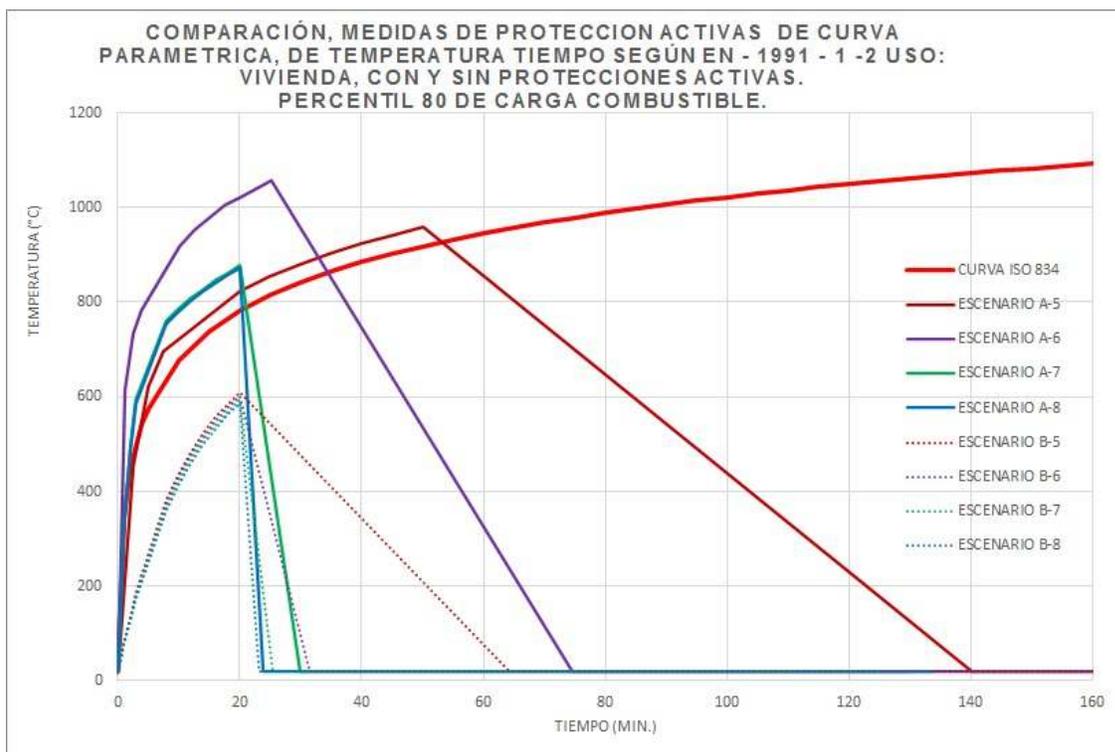


Ilustración 29: Comparación medidas de protección activas de curva paramétrica de temperatura tiempo, según EN – 1991 – 1- 2, percentil 80 de carga combustible, uso: vivienda, con y sin protecciones activas.

Elaboración propia.

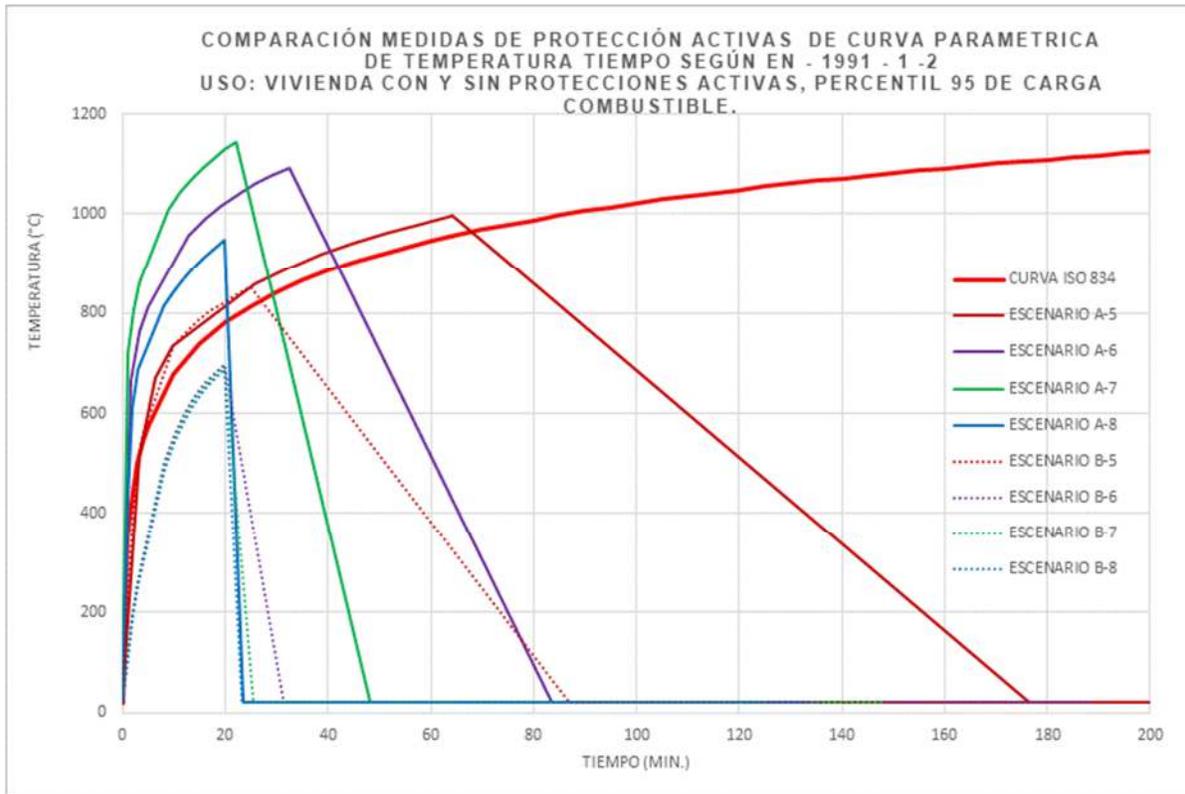


Ilustración 30: Comparación medidas de protección activas de curva paramétrica de temperatura tiempo, según EN – 1991 – 1- 2, percentil 95 de carga combustible, uso: vivienda, con y sin protecciones activas.

Elaboración propia.

En las **ilustraciones 25 y 26**, con percentil 80 de carga combustible y las **ilustraciones 27 y 28**, con percentil 95 de carga combustible, la influencia de las protecciones activas es evidente, a medida que aumentan, el tiempo del incendio y la temperatura disminuyen. La diferencia es muy clara al comparar el escenario A y el escenario B.

Al comparar los escenarios con la curva ISO 834; el escenario A que es el que no tiene ningún tipo de medida activa, posee una trayectoria muy similar.

Cabe resaltar, que la curva más exigente es la A-5, que tiene mayor carga combustible (ocurre con los dos percentiles 80 y 95), pertenece al uso Centro Comercial, controlada por ventilación, menor ventilación $O=5,10\%$ y sin medidas de protección activas.

CAPITULO IV: Ejemplos: Diseño de protección contra incendio, por tiempo equivalente y temperatura crítica

4.1 Ejemplo N.º 4 (continuación del ejemplo Nº1). Tiempo de fuego requerido. Método simplificado II, tiempo equivalente, según documento básico SI “Seguridad en caso de incendio” del Ministerio de Gobernación de España. (uso: Lugar de reuniones y comercio).

La resistencia al fuego de las estructuras, debe cumplir con las Tablas 28 y 29 del DB-SI-6(CTE, 2006), las cuales están en función de la altura de evacuación y del uso del sector.

En el **Anejo B** (termino español), se calcula el tiempo equivalente en minutos de exposición al fuego. Para el ejemplo específicamente, la altura de la edificación es menor de 15 m y el uso es catalogado como comercial o de pública concurrencia.

Uso del sector de incendio considerado ⁽¹⁾	Plantas de sótano	Plantas sobre rasante altura de evacuación del edificio		
		<15 m	<28 m	≥28 m
Vivienda unifamiliar ⁽²⁾	R 30	R 30	-	-
Residencial Vivienda, Residencial Público, Docente, Administrativo	R 120	R 60	R 90	R 120
Comercial, Pública Concurrencia, Hospitalario	R 120 ⁽³⁾	R 90	R 120	R 180
Aparcamiento (edificio de uso exclusivo o situado sobre otro uso)		R 90		
Aparcamiento (situado bajo un uso distinto)		R 120 ⁽⁴⁾		

⁽¹⁾ La resistencia al fuego suficiente de un suelo es la que resulte al considerarlo como techo del sector de incendio situado bajo dicho suelo.

⁽²⁾ En viviendas unifamiliares agrupadas o adosadas, los elementos que formen parte de la estructura común tendrán la resistencia al fuego exigible a edificios de uso Residencial Vivienda.

⁽³⁾ R 180 si la altura de evacuación del edificio excede de 28 m.

⁽⁴⁾ R 180 cuando se trate de aparcamientos robotizados.

Tabla 41: Resistencia al fuego suficiente de los elementos estructurales (en minutos).

(CTE, 2006)

Riesgo especial bajo	R 90
Riesgo especial medio	R 120
Riesgo especial alto	R 180

⁽¹⁾ No será inferior al de la estructura portante de la planta del edificio excepto cuando la zona se encuentre bajo una cubierta no prevista para evacuación y cuyo fallo no suponga riesgo para la estabilidad de otras plantas ni para la compartimentación contra incendios, en cuyo caso puede ser R 30.

La resistencia al fuego suficiente de un suelo es la que resulte al considerarlo como techo del sector de incendio situado bajo dicho suelo.

Tabla 42: Resistencia al fuego suficiente de los elementos estructurales de zonas de riesgo especial integradas en los edificios.

(CTE, 2006)

Dicha tabla, se encuentra en función del uso del sector, en este caso comercial y/o pública concurrencia, siendo la altura del edificio menor a 15m (altura de evacuación del edificio), entonces, la clase resistente es R90.

4.1.1 Curva normalizada tiempo - temperatura

En el **Anexo B**, en la curva normalizada tiempo – temperatura, se obtiene que en 90 minutos se alcanza una temperatura de 1000 °C.

Tiempo t, en minutos	15	30	45	60	90	120	180	240
Temperatura en el sector Θ_g , en °C	740	840	900	950	1000	1050	1100	1150

Tabla 43: Curva normalizada tiempo – temperatura.

(CTE, 2006)

Acudiendo a la curva normalizada tiempo – temperatura, se obtiene que, en 90 minutos, se alcanza una temperatura de 1000 °C. Debido a que la transferencia de calor, a la estructura sufre un retardo, la temperatura de la estructura puede estar entre 850 °C y 950°C, que implica, una resistencia de la estructura del orden del 10%, en relación al estado frío. Por lo tanto, la estructura sin proteger, no tiene la resistencia suficiente.

Se procede a calcular el Tiempo equivalente, el cual depende de características como: forma y tamaño del sector de incendios, vacíos de ventilación, tamaño de vacíos de ventilación, material de la estructura, existencia o no de medidas activas para protección contra incendios, carga combustible, etc.

4.1.2 Ventilación:

El coeficiente de ventilación w_f se calcula como:

$$W_f = (6/H)^{0.3} * \left[0.62 + \frac{90(0.4 - \alpha_v)^4}{1 + b_v \alpha_h} \right] \geq 5$$

w_f =coeficiente de ventilación en función de la forma y tamaño del sector

$\alpha_v = \frac{A_v}{A_f}$ = relación entre la superficie de las aberturas en fachada y la superficie del suelo del sector, con los límites $0,025 < \alpha_v < 0,25$.

$\alpha_h = \frac{A_h}{A_f}$ = relación entre la superficie de las aberturas en el techo y la superficie del suelo del sector, con los límites $0,025 < \alpha_h < 0,25$.

$$b_v = 12.5(1 + 10 \alpha_v - \alpha_v^2) \geq 10$$

H=altura del sector de incendio [m].

Para sectores pequeños ($A_f < 100 \text{ m}^2$), sin aberturas en el techo, el coeficiente w_f se puede calcular aproximadamente como:

$$w_f = O^{-1/2} \cdot A_f / A_t$$

Siendo:

$$O = \frac{(A_v * \sqrt{h})}{A_t} \text{ Coeficiente de aberturas con los límites } 0,02 \leq O \leq 0,20 \text{ [m}^{1/2}\text{]};$$

A_t = Superficie total de la envolvente del sector (paredes, suelo y techo), incluyendo aberturas [m^2];

h = Altura promedio de los huecos verticales, [m]

Como aberturas en fachada o en techo, se deben considerar los huecos, lucernarios, ventanas (practicables o no) superficies acristaladas y, en general, toda zona susceptible de facilitar la entrada de aire, a la zona en la que se desarrolle el incendio. (CTE, 2006)

El desarrollo de un incendio, depende tanto, de la aportación de oxígeno a través de las aberturas del recinto, como de la evaluación de humos y calor (Orta, 2010).

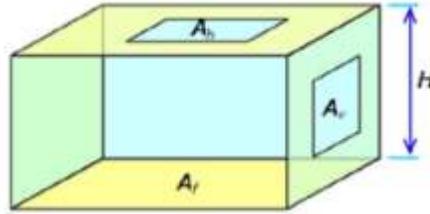


Ilustración 31: Parámetros para calcular el coeficiente de ventilación.

(García, 2017)

El coeficiente de ventilación se obtiene según el CTE:

Espacio	H [m]	A _v [m ²]	A _f [m ²]	$\alpha_v = A_v/A_f$	A _h [m ²]	$\alpha_h = A_h/A_f$	b _v	W _f
Piso 1	4,68	22,82	312	0,073	0,000	0,000	20,974	1,775
Piso 2	3,06	37,68	230	0,164	0,000	0,000	29,623	1,101
Piso 3	3,06	37,68	230	0,164	0,000	0,000	29,623	1,101
Piso 4	3,06	37,68	230	0,164	0,000	0,000	29,623	1,101

Tabla 44: Coeficiente de ventilación, discriminado por pisos.

Elaboración propia.

W_f = 1,775 (representativo de la estructura)

4.1.3 Valor característico de la densidad de carga de fuego

El valor de cálculo de la densidad de carga de fuego, según la Tabla:

	Valor característico [MJ/m ²]
Comercial ⁽¹⁾	730
Residencial Vivienda	650
Hospitalario / Residencial Público	280
Administrativo	520
Exposición	350
Pública Concurrencia (teatros, cines)	365
Garaje	280

Tabla 45: Tabla B.6. Cargas de fuego características según el uso previsto.

(CTE, 2006)

La carga de fuego, según el uso, para comercial es de 730 MJ/m² y para uso de pública concurrencia 365 MJ/m², siendo conservadora. Por lo tanto, se determinará la carga de fuego específica.

4.1.4 Valor de cálculo de la densidad de carga de fuego

El valor de cálculo de la densidad de carga de fuego, se determina, en función del valor característico de la carga de fuego del sector, así como la probabilidad de activación y de las previsible consecuencias del incendio, como(CTE, 2006):

$$q_{f,d} = q_{f,d} m \delta_{q1} \delta_{q2} \delta_n \delta_{qc}$$

Dónde:

$q_{f,d}$ Valor característico de la densidad de carga de fuego.

m Coeficiente de combustión, que tiene en cuenta la fracción del combustible, que arde en el incendio. **En los casos en que el material incendiado sea es de tipo celulósico (madera, papel, tejidos, etc), puede tomarse $m=0.8$.** Cuando se trate de otro tipo de material y no se conozca su coeficiente de combustión, puede tomarse $m=1$ del lado de la seguridad. En este caso se toma $m=1$.

δ_{q1} Coeficiente, que tiene en cuenta el riesgo de iniciación, debido al tamaño del sector.

δ_{q2} Coeficiente, que tiene en cuenta el riesgo de iniciación, debido al tipo de uso o actividad;

δ_n Coeficiente, que tiene en cuenta las medidas activas, voluntarias existentes, $\delta_n = \delta_{n1} \delta_{n2} \delta_{n3}$

δ_c Coeficiente, de corrección según las consecuencias del incendio.

Los valores de δ_{q1} se dan en la siguiente Tabla, pudiéndose obtenerse valores intermedios por interpolación lineal.

Superficie del sector A, [m ²]	Riesgo de iniciación δ_{q1}
<20	1,00
25	1,10
250	1,50
2 500	1,90
5 000	2,00
>10 000	2,13

Tabla 46: Valores del coeficiente δ_{q1} por el riesgo de iniciación debido al tamaño del sector.

(CTE, 2006)

$$\delta_{q1} = 1,547$$

Los valores de δ_{q2} pueden obtenerse de la Tabla:

Actividad	Riesgo de iniciación δ_{q2}
Vivienda, Administrativo, Residencial, Docente	1,00
Comercial, Garaje, Hospitalario	1,25
Sectores de riesgo especial bajo	1,25
Sectores de riesgo especial medio	1,40
Sectores de riesgo especial alto	1,60

Tabla 47: Valores del coeficiente δ_{q2} por el riesgo de iniciación debido al uso o actividad.

(CTE, 2006)

$$\delta_{q2} = 1,25$$

Los valores de $\delta_{n,i}$ pueden obtenerse de la Tabla 35:

Detección automática $\delta_{n,1}$	Alarma automática a bomberos $\delta_{n,2}$	Extinción automática $\delta_{n,3}$
0,87	0,87	0,61

Tabla 48: Valores de los coeficientes $\delta_{n,i}$ según las medidas activas voluntarias existentes.

(CTE, 2006)

$\delta_{n,i} = 1,00$ aplica cuando no tiene ninguna medida activa, sí existe más de una medida activa, $\delta_{n,i} = (\delta_{n,1} * \delta_{n,2} * \delta_{n,3})$.

Los valores de δ_c , pueden obtenerse de la siguiente Tabla. En el caso de edificios, en los que no sea admisible, que puedan quedar fuera de servicio o en los que se pueda haber, un número elevado de víctimas en caso de incendio, como es el caso de los hospitales, los valores indicados deben ser multiplicados por 1.5.

Altura de evacuación	δ_c
Edificios con altura de evacuación descendente de más de 28m o ascendente de más de una planta.	2,0
Edificios con altura de evacuación descendente entre 15 y 28 m o ascendente hasta 2,8m.	1,5
Garaies bajo otros usos	1,0
Edificios con altura de evacuación descendente de menos 15m	1,0

Tabla 49: Valores de δ_c por las posibles consecuencias del incendio, según la altura de evacuación del edificio.

(CTE, 2006)

$$\delta_c = 1,00$$

$$q_{f,d} = q_{f,k} m \delta_{q1} \delta_{q2} \delta_n \delta_{qc}$$

$$q_{f,d} = \frac{365MJ}{m^2} * 1 * 1,547 * 1,25 * 1 * 1 = 705,63 MJ/m^2$$

4.1.5 Tiempo equivalente:

En el **Anexo B**, el tiempo equivalente de exposición al fuego, Para elementos estructurales de hormigón armado, acero, o mixtos puede tomarse como valor de cálculo del tiempo equivalente, en minutos:

$$t_{e,d} = k_b * w_f * k_c * q_{f,d}$$

k_b = Coeficiente de conversión, en función de las propiedades térmicas de la envolvente del sector; que puede tomarse igual a **0.07**. El anejo F de la norma UNE EN 1991-1-2:2004, aporta valores más precisos.

w_f = Coeficiente de ventilación, en función de la forma y tamaño del sector.

k_c = Coeficiente de corrección, según el material estructural. **En este caso se toma para acero sin proteger.**

$q_{f,d}$ = Valor de cálculo, de la densidad de carga de fuego, en función del uso del sector, en MJ/m².

h = Es la altura promedio de los huecos verticales.

Material de la sección transversal	k_c
Hormigón armado	1,0
Acero protegido	1,0
Acero sin proteger	13,7 · 0

Tabla 50: Valores de K_c según el material estructural.

(CTE, 2006)

Espacio	A_v [m ²]	H [m]	A_t [m ²]	h [m]	\sqrt{h}/A_t	0	k_c	$t_{e,d}$ (min)
Piso 1	22,82	4,68	917,249	1,600	0,0014	0,031	0,431	37,79
Piso 2	37,68	3,06	651,740	1,600	0,0019	0,073	1,002	54,51
Piso 3	37,68	3,06	651,740	1,600	0,0019	0,073	1,002	54,51
Piso 4	37,68	3,06	651,740	1,600	0,0019	0,073	1,002	54,51
TOTAL				1,600				

Tabla 51: Coeficiente de aberturas.

Elaboración propia.

$$k_c = 13,7 * 0$$

$$k_b = 0,07$$

$$t_{e,d} = k_b * w_f * k_c * q_{f,d}$$

$t_{ed} = 54,51$ min (representativo de la estructura)

Se realiza el ejercicio, conservando la volumetría del edificio y los parámetros de ventilación; pero cambiando el uso y las medidas activas, obteniendo:

	REUNIONES	OFICINAS	RESIDENCIAL	COMERCIAL
w_f	1,101	1,101	1,101	1,101
$\alpha_v=A_v/A_f$	0,164	0,164	0,164	0,164

Tabla 52: Parámetros de ventilación.

Elaboración propia.

Se toman 3 usos adicionales, colocando la carga de incendio de acuerdo al uso y no teniendo en cuenta ninguna medida activa de protección.

	REUNIONES	OFICINAS	RESIDENCIAL	COMERCIAL
$m=$	1	1	1	1
δ_{q1}	1,55	1,55	1,55	1,55
δ_{q2}	1,25	1	1	1,25
δ_n	1,00	1,00	1,00	1,00
δ_{q4}	1	1	1	1

Tabla 53: Coeficientes empleados en el cálculo de la densidad de carga de fuego, sin medidas activas de protección.

Elaboración propia.

	REUNIONES	OFICINAS	RESIDENCIAL	COMERCIAL
$q_{f,k}$	365	520	650	730
$q_{f,d}$	706	804	1005	1411

Tabla 54: Valor característico y de cálculo en la densidad de carga de fuego.

Elaboración propia.

	REUNIONES	OFICINAS	RESIDENCIAL	COMERCIAL
Tiempo Equivalente	54,51	62,12	77,66	109,02

Tabla 55: Tiempo equivalente sin medidas activas.

Elaboración propia.

Se toman nuevamente, los 3 usos adicionales, colocando la carga de incendio, de acuerdo al uso y teniendo en cuenta ahora las medidas activas de protección.

	REUNIONES	OFICINAS	RESIDENCIAL	COMERCIAL
$m=$	1	1	1	1
δ_{q1}	1,55	1,55	1,55	1,55
δ_{q2}	1,25	1	1	1,25
δ_n	0,46	0,46	0,46	0,46
δ_{qc}	1	1	1	1

Tabla 56: Coeficientes empleados en el cálculo de la densidad de carga de fuego, con medidas activas de protección.

Elaboración propia.

Los valores de $\delta_{n,i}$ pueden obtenerse de la Tabla 35:

Detección automática $\delta_{n,1}$	Alarma automática a bomberos $\delta_{n,2}$	Extinción automática $\delta_{n,3}$
0,87	0,87	0,61

Tabla 57: Valores de los coeficientes $\delta_{n,i}$ según las medidas activas voluntarias existentes.

(CTE, 2006)

$$\delta_{n,i} = \delta_{n,1} * \delta_{n,2} * \delta_{n,3} = 0,87 * 0,87 * 0,61 = 0,46$$

	REUNIONES	OFICINAS	RESIDENCIAL	COMERCIAL
$q_{f,k}$	365	520	650	730
$q_{f,d}$	326	371	464	652

Tabla 58: Valor característico y de cálculo en la densidad de carga de fuego, teniendo medidas activas de protección.

Elaboración propia.

Los tiempos equivalentes, con medidas activas y sin ellas, en la **Tabla 63**, son para un elemento estructural en acero sin protección.

Los resultados a continuación, quieren decir, que en un ensayo de incendio normalizado, el acero alcanzará, una determinada temperatura, por ejemplo, en uso residencial $t_{e,d}=35,85$ minutos, con medidas activas o $t_{e,d}=77,66$ minutos, sin medidas activas. Esta

temperatura, coincide con la máxima temperatura, que alcanzaría el acero en un incendio real.

	REUNIONES	OFICINAS	RESIDENCIAL	COMERCIAL
Tiempo Equivalente con medidas activas	25,17	28,68	35,85	50,33
Tiempo Equivalente sin medidas activas	54,51	62,12	77,66	109,02

Tabla 59: Comparación del Tiempo Equivalente con medidas activas y sin ellas.

Elaboración propia.

4.2 Ejemplo N.º 5: Tiempo de fuego requerido. Método grafico (simplificado II) para determinar la resistencia al fuego de las estructuras de acero según EN 1993-1-2:2005 por temperatura crítica (Nomogramas).

El cálculo de temperatura crítica, se puede aplicar a vigas y a elementos sometidos a tracción pura. También se puede utilizar en soportes, pero los resultados serán muy conservadores. (Apta, 2005)

Se realizan 4 chequeos: (Real, 1993)

1. Chequeo viga IPE 330 sin protección, eje 3(B-C).
2. Chequeo viga IPE 330 con protección, eje 3(B-C).
3. Chequeo columna HEA 320 (Central) con protección, eje 3-B.
4. Chequeo columna HEA 320 (esquinera) con protección, eje 2-C.

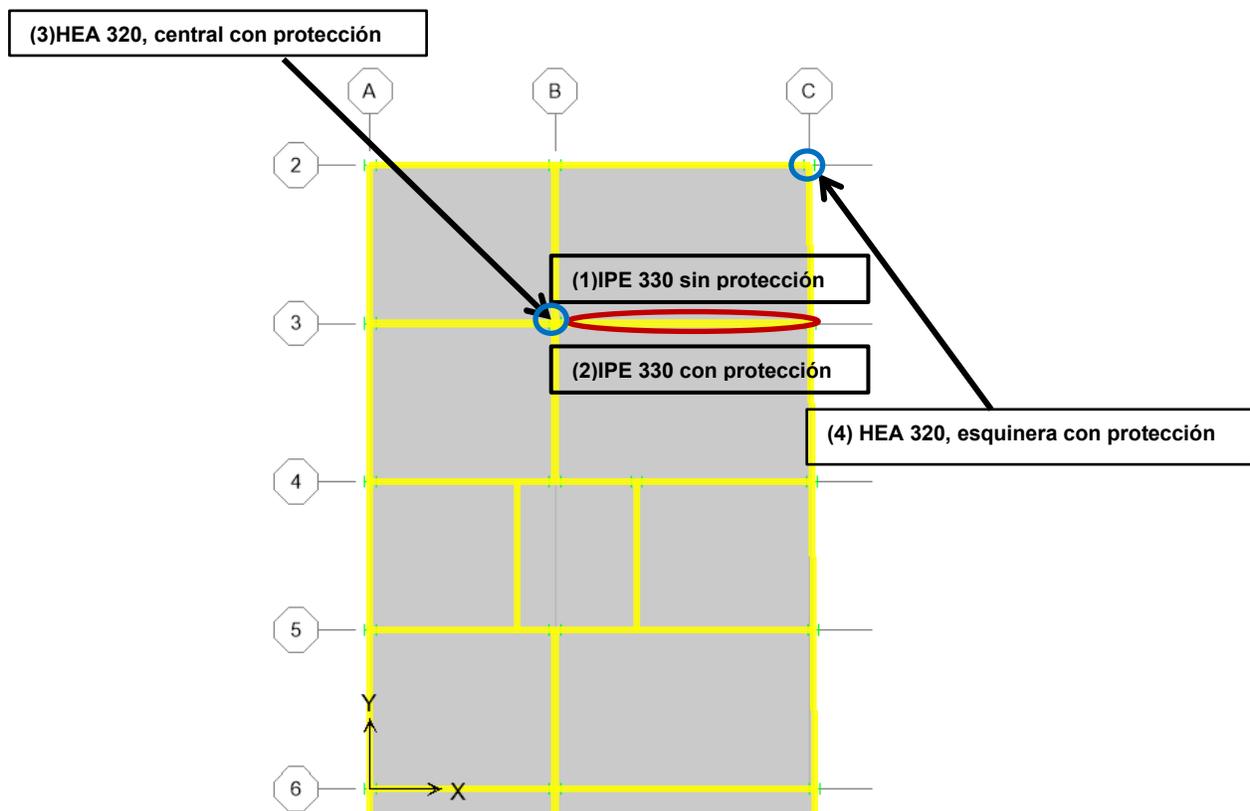


Ilustración 32: Ubicación de los cuatro (4) elementos estructurales, bajo estudio.

Elaboración propia.

4.2.1 Chequeo viga IPE 330 sin protección:

La viga IPE 330, de acero ASTM A572 grado 50, sobre la cual se apoya una losa en steel deck, del edificio con uso comercio y reuniones. La luz de la viga eje 3(B-C) es de 5,93 m, la referencia es de 4,25 m, el momento plástico a temperatura ambiente es de 281,4 KN*m. Según NSR la carga viva para uso comercio y reuniones, es de 5 kN/m². La carga permanente de la losa es 5,86 KN/m.

Determinar la resistencia al fuego de la viga sin proteger, con apoyos continuos:

Edificio: Comercio y reuniones

Longitud viga (m)= 5,93 m

Aferencia (m)= 4,25

QM= 5.86 kN/m²

Peso Propio= 0,491 kN/m

Carga Viva= 5 kN/m²

M_{fi}, 0, R_d= 281.4 kN/m Momento plástico a temperatura ambiente

M_{fi}, Ed=?

t= En que tiempo alcanza la temperatura crítica?

ETAPA 1

q_{fi}, Ed= 1,2 QM + 0,5 QV

*q_{fi}, Ed= 1,2(4,25x5,86 + 0,49) + 0,5(4,25 * 5) = 45,9KN/m*

M_{fi}, Ed= $\frac{WL^2}{12} = \frac{45,9(5,93)^2}{12} = 134,5 \text{ kN*m}$*

$\mu_0 = \frac{E_{fi,d}}{R_d} \frac{134,5}{281,4} = 0,477$

ETAPA 2

Se trata de una viga sin protección en tres caras, por tanto:

K_1 = Tiene en cuenta la distribución no uniforme de la temperatura en la sección de la viga.

$K_1 = 0.7$, viga no protegida, calentamiento de tres caras.

$K_1 = 0.85$, viga protegida, calentamiento de tres caras.

$K_1 = 1.00$, viga con calentamiento de todas sus caras.

K_2 = Tiene en cuenta la distribución no uniforme de la temperatura a lo largo de la longitud de la viga.

$K_2 = 0.85$, en las secciones de apoyo de vigas hiperestáticas.

$K_2 = 1.00$, en otro caso.

K = Coeficiente corrector

$$K = K_1 * K_2$$

$$K = 0.70 * 0.85 = 0.6$$

ETAPA 3

Entramos a la gráfica con un grado de utilización $\mu_0 = 0,477$; hasta encontrar la curva 0,6

Se proyecta una línea ortogonal, hasta llegar a la ordenada °C.

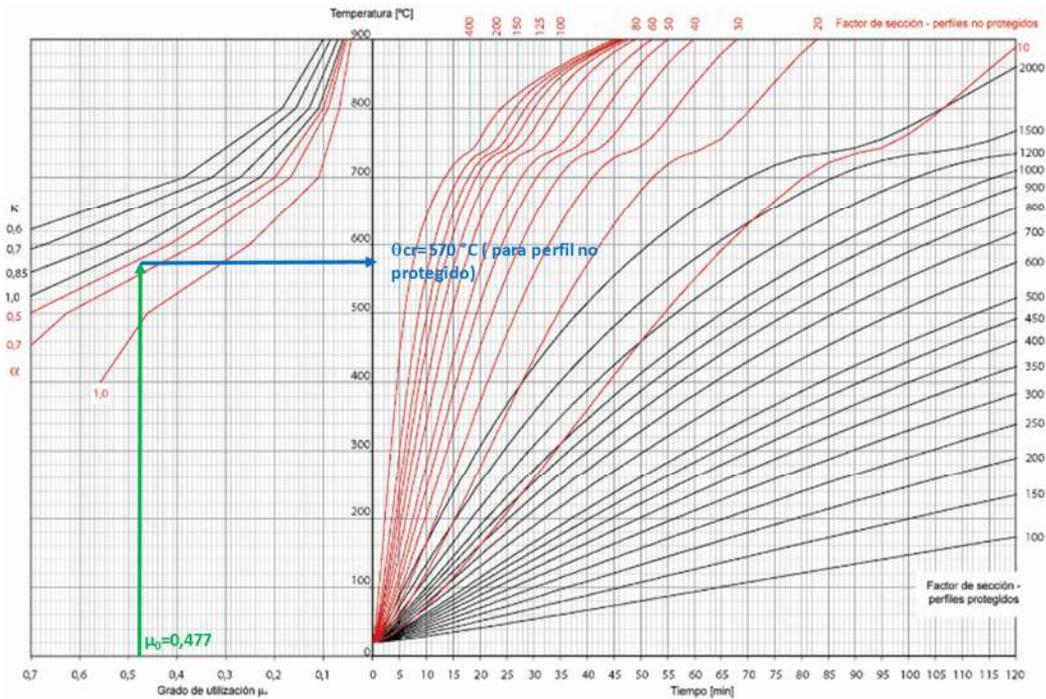


Ilustración 33: Nomograma para determinar la temperatura crítica y la resistencia al fuego.

(Apta, 2005)

La resistencia al fuego de la viga no protegida es de:

$$\theta_{cr} = 570 \text{ °C}$$

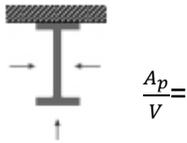
ETAPA 4

Se obtiene el factor de sección, para la viga sin proteger y la losa en la parte cara superior

El factor de sección para un IPE 330 es:

$$\frac{A_p}{V} = \frac{\text{Perimetro del perfil expuesto al incendio}}{\text{Area del acero}} =$$

Es el área apropiada de material de protección contra incendios por unidad de longitud del miembro [m² / m].



131 m⁻¹

Ver Tabla 6 (Apta, 2005)

ETAPA 5

El factor de sección de un **perfil sin proteger debe reducirse con un coeficiente de 0,9**

$P = 0,9 * 131 = 117,9 \text{ m}^{-1}$

ETAPA 6

Se determina gráficamente en el nomograma, la resistencia al fuego del perfil

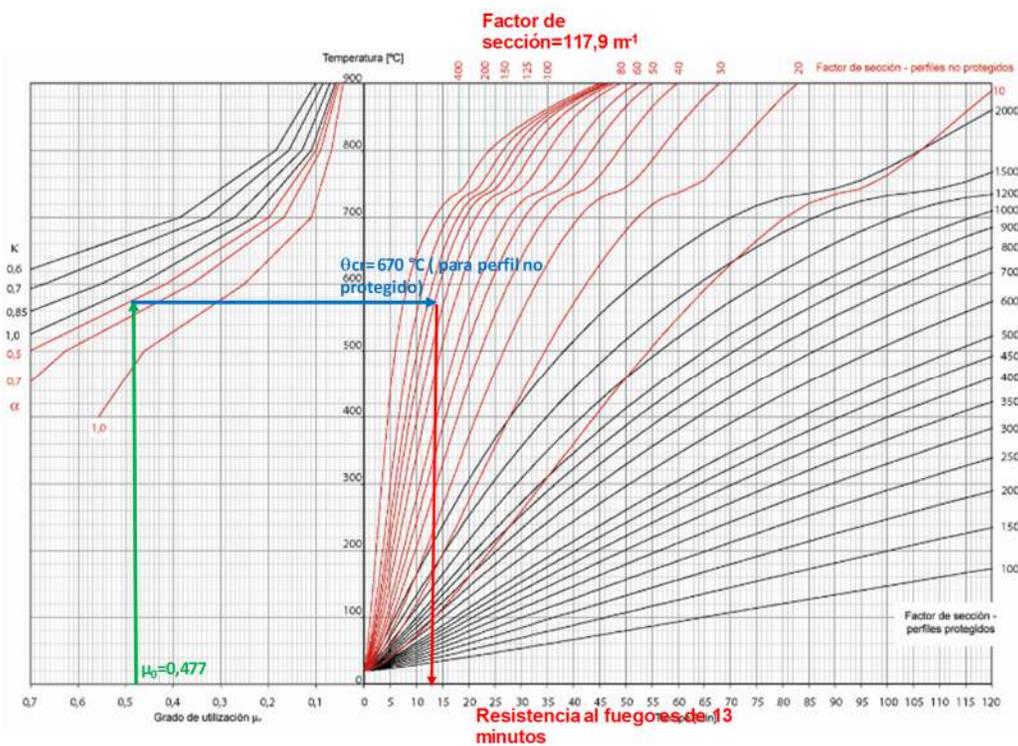


Ilustración 34: Nomograma para determinar la temperatura crítica y la resistencia al fuego.

(Apta, 2005)

La resistencia al fuego es de 13 minutos.

4.2.2 Chequeo viga IPE 330 con protección:

La viga IPE 330 de acero ASTM A572 grado 50, sobre la cual se apoya una losa en steel deck, del edificio con uso comercio y reuniones. La luz de la viga eje 3(B-C) es de 5,93 m, la referencia es de 4,25 m, el momento plástico a temperatura ambiente es de 281,4 KN*m. Según NSR la carga viva para uso comercio y reuniones, es de 5 KN/m². La carga permanente de la losa es 5,86 KN/m.

Determinar la resistencia al fuego de la viga protegida, con apoyos continuos:

Viga= IPE330

Edificio: Comercio y reuniones

Longitud viga (m)= 5.93 m

Aferencia(m)= 4.25

QM= 5.86 kN/m²

Peso Propio= 0.49 KN/m

Carga Viva= 5 kN/m²

M_{fi, 0}, R_d= 281.4 kN/m Momento plástico a temperatura ambiente

M_{fi}, Ed=?

t= En que tiempo alcanza la temperatura crítica?

ETAPA 1

q_{fi}, Ed= 1,2 QM + 0,5 QV

*q_{fi}, Ed= 1.2(4,25x5,86 + 0,49) + 0,5(4,25 * 5) = 45,9KN/m*

M_{fi}, Ed= $\frac{WL^2}{12} = \frac{45,9(5,93)^2}{12} = 134,5 \text{ kN*m}$*

$\frac{E_{f,i,d}}{R_d}$

$$\mu_0 = \frac{134,5}{281,4} = 0,477$$

ETAPA 2

Se trata de una viga hiperestática protegida con calentamiento en tres caras, por tanto:

K_1 = Tiene en cuenta la distribución no uniforme de la temperatura en la sección de la viga.

$K_1 = 0,7$, viga no protegida, calentamiento de tres caras.

$K_1 = 0,85$, viga protegida, calentamiento de tres caras.

$K_1 = 1,00$, viga con calentamiento de todas sus caras.

K_2 = Tiene en cuenta la distribución no uniforme de la temperatura a lo largo de la longitud de la viga.

$K_2 = 0,85$, en las secciones de apoyo de vigas hiperestáticas.

$K_2 = 1,00$, en otro caso.

K = Coeficiente corrector

$$K = K_1 * K_2$$

$$K = 0,85 * 0,85 = 0,7$$

ETAPA 3

Entramos a la gráfica con un grado de utilización $\mu_0 = 0,477$, hasta encontrar la curva 0,7

Se proyecta una línea ortogonal hasta llegar a la ordenada °C.

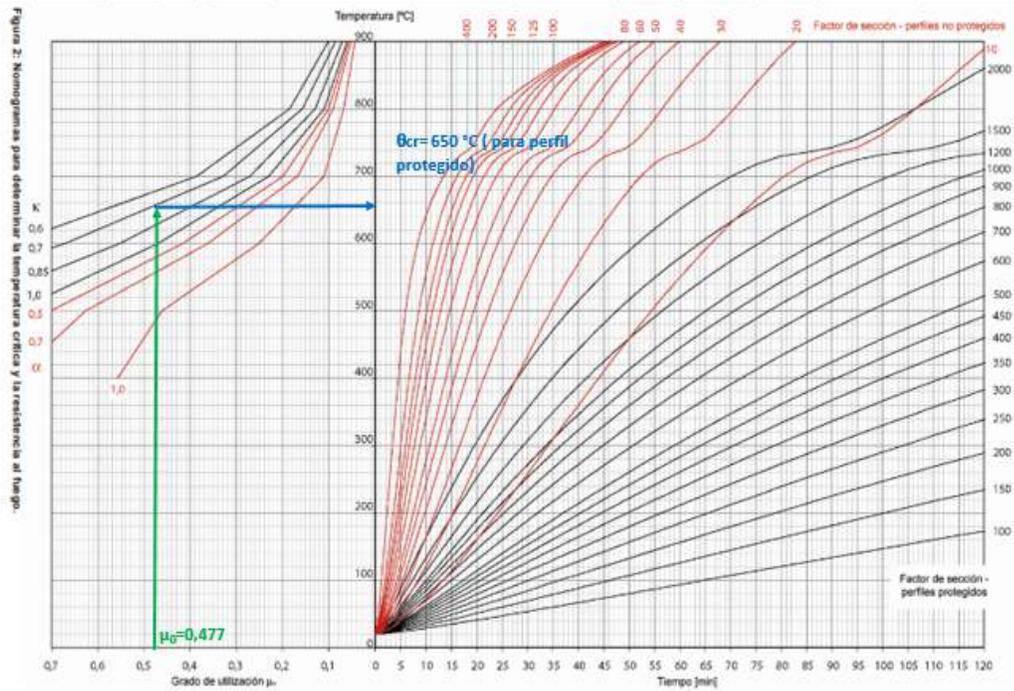


Ilustración 35: Nomograma para determinar la temperatura crítica y la resistencia al fuego.

(Apta, 2005)

La resistencia al fuego de la viga no protegida es de:

$$\theta_{cr} = 650 \text{ °C}$$

ETAPA 4

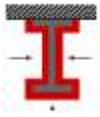
Se obtiene el factor de sección, para la viga protegida y la losa en la parte cara superior

El factor de sección para un IPE 330 es:

$$\frac{A_p}{V} = \frac{\text{Perimetro del perfil expuesto al incendio}}{\text{Area del acero}} =$$

Es el área apropiada de material, de protección contra incendios por unidad de longitud del miembro [m² / m].

Calentamiento del perfil por 3 caras:

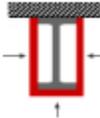


$$\frac{A_p}{V} =$$

$$174 \text{ m}^{-1}$$

Ver Tabla 6 (Apta, 2005)

Calentamiento del perfil con protección rectangular, en tres caras:



$$\frac{A_p}{V} =$$

$$131 \text{ m}^{-1}$$

Ver Tabla 6 (Apta, 2005)

ETAPA 5

Se determina gráficamente en el nomograma, la resistencia al fuego del perfil con temperatura crítica de y una resistencia al fuego de 60 min.

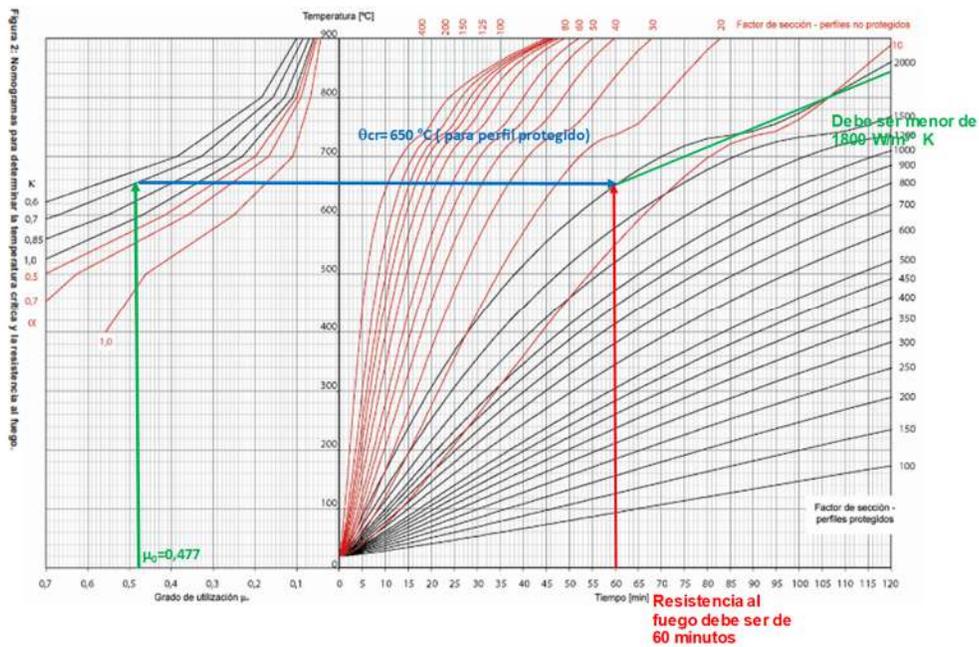


Ilustración 36: Nomograma para determinar la temperatura crítica y la resistencia al fuego.

(Apta, 2005)

Entonces, según el monograma el factor de sección modificado es:

$$\frac{A}{v} * \frac{\lambda_p * 1}{d_p * 1 + \phi/3} = 1800 \text{ W/m}^3 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Entonces el factor de sección, con protección modificado, para la temperatura crítica de 650 °C y una resistencia al fuego de 60 minutos, debe ser igual o inferior a 1800 W/m³ °K

ETAPA 6

El factor de masividad para la IPE330 con revestimiento en tres lados es:

$$\frac{A}{v} = 174 \text{ m}^{-1}$$

Entonces despejando en la ecuación

d_p = Espesor en mm

$$d_p = \frac{A_p}{V} * \frac{\lambda_p * 1}{1350 * 1 + \phi/3}$$

El espesor es entonces:

$$\frac{A_p}{V} = 174,0 \text{ m}^{-1}$$

A). Las siguientes propiedades térmicas de mortero con vermiculita:

$$\lambda_p = 0,12 \text{ W/(m}^*k)$$

$$C_p = 1100 \text{ J/(kg}^*K)$$

$$\rho_p = 550 \text{ kg/m}^3$$

$$C_a = 600 \text{ J/(kg}^*K)$$

$$\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$$

Este grosor se obtiene, teniendo en cuenta la cantidad de calor almacenado, se calcula el ϕ , asumiendo un espesor d_p , en las dos ecuaciones. Haciendo el siguiente procedimiento iterativo para evaluar el espesor:

d_p	$\phi = \frac{c_p d_p \rho_p \cdot A_p}{c_a \rho_a \cdot V} =$	$d_p \geq 174 * \frac{\lambda_p * 1}{1800 * 1 + \phi/3}$
0,0130	0,29055	0,011
0,0139	0,31067	0,011
0,0144	0,32184	0,010
0,0143	0,31961	0,010
0,0120	0,26820	0,011
0,0110	0,24585	0,011

Tabla 60: Calculo de espesor del revestimiento (mortero con vermiculita), para viga IPE 330.

Elaboración propia.

Con este procedimiento se obtiene un espesor de 11 mm.

B) Las siguientes propiedades térmicas de mortero con fibras minerales:

$$\lambda_p = 0,12 \text{ W/(m}\cdot\text{k)}$$

$$C_p = 1200 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$$

$$\rho_p = 300 \text{ kg/m}^3$$

$$C_a = 600 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$$

$$\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$$

Este grosor, se obtiene teniendo en cuenta la cantidad de calor almacenado, se calcula el ϕ , asumiendo un espesor d_p en las dos ecuaciones. Haciendo el siguiente procedimiento iterativo para evaluar el espesor:

d_p	$\phi = \frac{c_p d_p \rho_p \cdot A_p}{c_a \rho_a V} =$	$d_p \geq 174 * \frac{\lambda_p}{1800} * \frac{1}{1+\phi/3}$
0,0130	0,17289	0,0110
0,0139	0,18486	0,0109
0,0144	0,19151	0,0109
0,0143	0,19018	0,0109
0,0120	0,15959	0,0110
0,0110	0,14629	0,0111

Tabla 61: Calculo de espesor del revestimiento (mortero con fibras minerales), para viga IPE 330.

Elaboración propia.

Con este procedimiento se obtiene un espesor de 11 mm.

El factor de masividad para la IP330 protección rectangular, en tres caras:

$$\frac{A}{v} = 131 \text{ m}^{-1}$$

Entonces despejando en la ecuación

d_p = Espesor en mm

$$d_p = \frac{A_p}{V} * \frac{\lambda_p}{1350} * \frac{1}{1+\phi/3}$$

El espesor es entonces:

$$\frac{A_p}{V} = 131,0 \text{ m}^{-1}$$

C) Las siguientes propiedades térmicas de placa de yeso:

$$\lambda_p = 0,2 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$$

$$C_p = 1700 \text{ J/(kg}^{\circ}\text{K)}$$

$$\rho_p = 800 \text{ kg/m}^3$$

$$C_a = 600 \text{ J/(kg}^{\circ}\text{K)}$$

$$\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$$

Este grosor se obtiene, teniendo en cuenta la cantidad de calor almacenado, se calcula el ϕ , asumiendo un espesor d_p en las dos ecuaciones. Haciendo el siguiente procedimiento iterativo para evaluar el espesor:

d_p	$\phi = \frac{c_p d_p \rho_p}{c_a \rho_a} \cdot \frac{A_p}{V} =$	$d_p \geq 131 * \frac{\lambda_p}{1800} * \frac{1}{1 + \phi/3}$
0,005	0,18913	0,014
0,006	0,22696	0,014
0,007	0,26478	0,013
0,008	0,30261	0,013
0,009	0,34043	0,013
0,010	0,37826	0,013
0,011	0,41608	0,013
0,0120	0,45391	0,0126
0,0126	0,47661	0,0126

Tabla 62: Cálculo de espesor del revestimiento (placa de yeso), para viga IPE 330.

Elaboración propia.

Con este procedimiento se obtiene un espesor de 12,6 mm

D). Las siguientes propiedades térmicas de placa de fibrocemento:

$$\lambda_p = 0,15 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$$

$$C_p = 1200 \text{ J/(kg}^{\circ}\text{K)}$$

$$\rho_p = 800 \text{ kg/m}^3$$

$$C_a = 600 \text{ J/(kg}^{\circ}\text{K)}$$

$$\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$$

Este grosor se obtiene, teniendo en cuenta la cantidad de calor almacenado, se calcula el ϕ , asumiendo un espesor d_p en las dos ecuaciones. Haciendo el siguiente procedimiento iterativo para evaluar el espesor:

d_p	$\phi = \frac{c_p d_p \rho_p \cdot A_p}{c_a \rho_a \cdot V} =$	$d_p \geq 131 * \frac{\lambda_p}{1800} * \frac{1}{1 + \phi/3}$
0,050	1,33503	0,0101
0,060	1,60204	0,0095
0,070	1,86904	0,0090
0,080	2,13605	0,0085
0,082	2,18945	0,0084
0,083	2,21615	0,0084
0,084	2,22950	0,0084

Tabla 63: Calculo de espesor del revestimiento (placa de fibrocemento), para viga IPE 330.

Elaboración propia.

Con este procedimiento se obtiene un espesor de 8,4 mm

4.2.3 Chequeo columna HEA 320 (Central) con protección:

La columna HEA 320 de acero ASTM A572 grado 50 ubicada en el eje 3 – B, la cual soporta una losa steel deck, del edificio con uso comercio y reuniones. Sostiene una viga que tiene dos tramos de la siguiente manera, la luz de la viga eje 3(A-B) es de 4,93 m y la viga eje 3(B-C) es de 5,93 m, la aferencia es de 4,25 m, el ϕ_n es de 3062 KN, Según NSR la carga viva para uso, comercio y reuniones es de 5 KN/m². La carga permanente de la losa es 5,86 KN/m².

Columna= HEA 320

Edificio= Comercio y reuniones

de pisos steel deck= 3

de pisos cubierta liviana= 1

Carga permanente= 5,86 kN/m²

Carga Viva= 5,0 kN/m²

Peso propio columna= 13,5 kN

Área aferente columna= 27,55 m²

ETAPA 1

$$QM = ((5,86 * 3 + 0,5 * 1) * 27,55) + 13,5 = 511,604 \text{ kN}$$

$$QV = (5,00 * 3 + 0,5 * 1) * 27,55 = 427,025 \text{ kN}$$

$$E_{fi}, E_d = 1,2 QM + 0,5 QV$$

$$E_{fi}, E_d = 1,2(511,604) + 0,5(427,025) = 827,43 \text{ kN}$$

$$\mu_0 = \frac{E_{fi,d}}{R_d} = \frac{827,43}{3062}$$

ETAPA 2

Se determina el coeficiente de corrección de la longitud de pandeo

$\alpha = 0,5$ para las columnas de plantas intermedias
 $\alpha = 0,7$ para las columnas de planta superior
 $\alpha = 1,00$, Para el resto de casos la longitud de pandeo permanece igual a la considerada a la temperatura ambiente.

$$\alpha = 1,00$$

ETAPA 3

Entramos a la gráfica con un grado de utilización $\mu_0 = 0,265$, hasta encontrar la curva $\alpha=1$

Se proyecta una línea ortogonal hasta llegar a la ordenada °C.

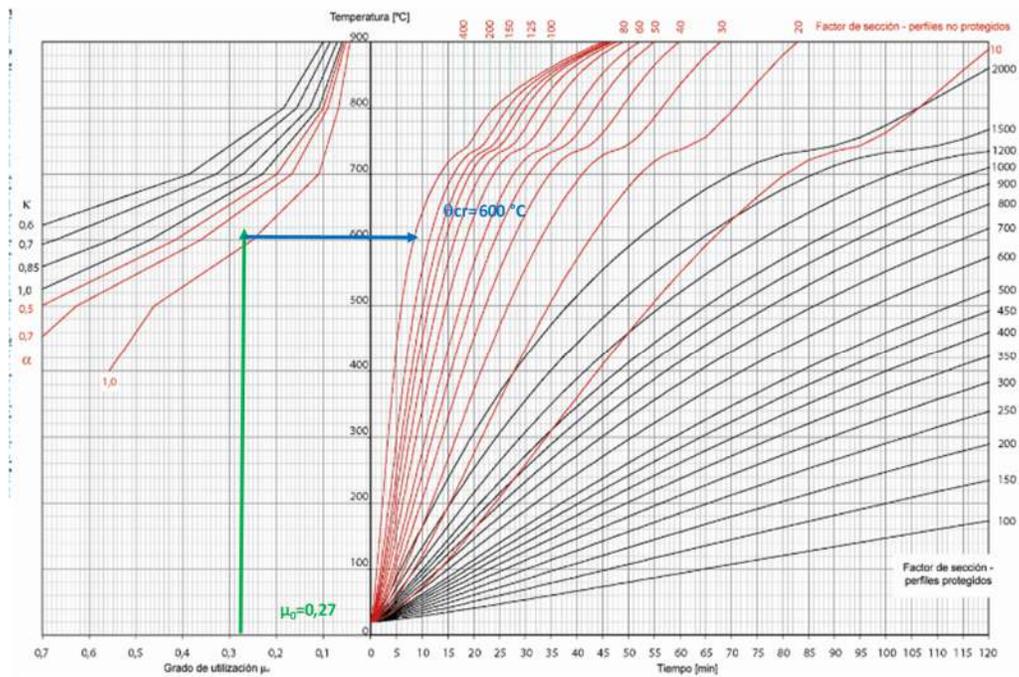


Ilustración 37: Nomograma para determinar la temperatura crítica y la resistencia al fuego.

(Apta, 2005)

La resistencia al fuego de la viga no protegida es de:

$$\theta_{cr} = 600 \text{ } ^\circ\text{C}$$

ETAPA 4

Se obtiene el factor de sección, para la columna

El factor de sección para un HEA 320 es:

$$\frac{A_p}{V} = \frac{\text{Perimetro del perfil expuesto al incendio}}{\text{Area del acero}} =$$

Es el área apropiada de material de protección contra incendios por unidad de longitud del miembro [m² / m].

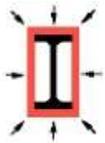
Calentamiento del perfil por 4 caras:



$$\frac{A_p}{V} = 141 \text{ m}^{-1}$$

Ver Tabla 6 (Apta, 2005)

Calentamiento del perfil con protección rectangular, en cuatro caras:



$$\frac{A_p}{V} = 98 \text{ m}^{-1}$$

Ver Tabla 6 (Apta, 2005)

ETAPA 5

Se determina gráficamente en el nomograma, la resistencia al fuego del perfil con temperatura crítica de 600 °C y una resistencia al fuego de 60 min.

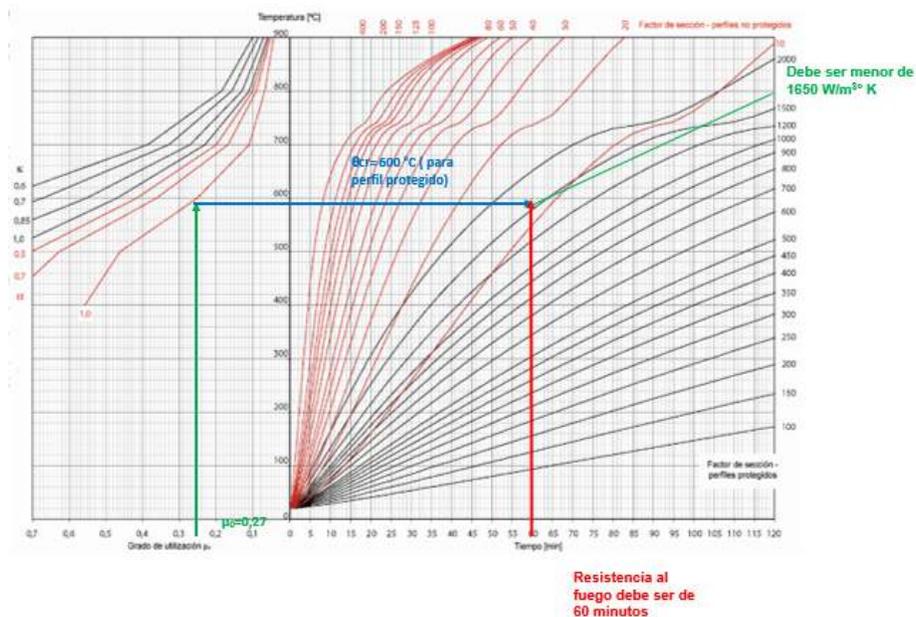


Ilustración 38: Nomograma para determinar la temperatura crítica y la resistencia al fuego.

(Apta, 2005)

Entonces, según el monograma el factor de sección modificado es:

$$\frac{A}{v} * \frac{\lambda_p * 1}{d_p * 1 + \phi/3} = 1650 \text{ W/m}^3 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Entonces, el factor de sección con protección modificado, para la temperatura crítica de 650 °C y una resistencia al fuego de 60 minutos, debe ser igual o inferior a 1650 W/m³ °K

ETAPA 6

El factor de masividad para la HEA 320, con revestimiento en cuatro lados es:

$$\frac{A}{v} = 141 \text{ m}^{-1}$$

Entonces, despejando en la ecuación

d_p = Espesor en mm

$$d_p = \frac{A_p}{V} * \frac{\lambda_p * 1}{1650 * 1 + \phi/3}$$

El espesor es entonces:

$$141,0 \text{ m}^{-1}$$

A) Las siguientes propiedades térmicas de mortero con vermiculita:

$$\lambda_p = 0.12 \text{ W/(m}^*\text{k)}$$

$$C_p = 1100 \text{ J/(kg}^*\text{K)}$$

$$\rho_p = 550 \text{ kg/m}^3$$

$$C_a = 600 \text{ J/(kg}^*\text{K)}$$

$$\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$$

Este grosor, se obtiene teniendo en cuenta la cantidad de calor almacenado, se calcula el ϕ , asumiendo un espesor d_p en las dos ecuaciones. Haciendo el siguiente procedimiento iterativo para evaluar el espesor:

d_p	$\phi = \frac{c_p d_p \rho_p \cdot A_p}{c_a \rho_a \cdot V} =$	$d_p \geq 141 * \frac{\lambda_p * 1}{1650 * 1 + \phi/3}$
0,0140	0,25356	0,009
0,0130	0,23545	0,010
0,0135	0,24450	0,009
0,0120	0,21734	0,010
0,0110	0,19923	0,010
0,0100	0,18111	0,010

Tabla 64: Calculo de espesor del revestimiento (mortero de vermiculita), para columna central HEA 320A.

Elaboración propia.

Con este procedimiento, se obtiene un espesor de 10 mm

B) Las siguientes propiedades térmicas de mortero con fibras minerales:

$$\lambda_p = 0,12 \text{ W/(m}\cdot\text{k)}$$

$$C_p = 1200 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$$

$$\rho_p = 300 \text{ kg/m}^3$$

$$C_a = 600 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$$

$$\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$$

Este grosor, se obtiene teniendo en cuenta la cantidad de calor almacenado, se calcula el ϕ , asumiendo un espesor d_p en las dos ecuaciones. Haciendo el siguiente procedimiento iterativo para evaluar el espesor:

d_p	$\phi = \frac{c_p d_p \rho_p}{c_a \rho_a} \cdot \frac{A_p}{V} =$	$d_p \geq 141 * \frac{\lambda_p * 1}{1650 * 1 + \phi/3}$
0,0160	0,17243	0,010
0,0150	0,16166	0,010
0,0140	0,15088	0,010
0,0130	0,14010	0,010
0,0120	0,12932	0,010
0,0100	0,10777	0,010

Tabla 65: Calculo de espesor del revestimiento (mortero con fibras minerales), para columna central HEA 320A.

Elaboración propia.

Con este procedimiento, se obtiene un espesor de 10 mm

El factor de masividad para la HEA 320, protección rectangular, en cuatro caras:

$$\frac{A}{v} = 98 \text{ m}^{-1}$$

Entonces despejando en la ecuación

d_p = Espesor en mm

$$d_p = \frac{A_p}{V} * \frac{\lambda_p * 1}{1650 * 1 + \phi/3}$$

El espesor es entonces:

$$\frac{A_p}{V} = 98,0 \text{ m}^{-1}$$

C) Las siguientes propiedades térmicas de placa de yeso

$$\lambda_p = 0,2 \text{ W/(m}^*k)$$

$$C_p = 1700 \text{ J/(kg}^*K)$$

$$\rho_p = 800 \text{ kg/m}^3$$

$$C_a = 600 \text{ J/(kg}^*K)$$

$$\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$$

Este grosor, se obtiene teniendo en cuenta la cantidad de calor almacenado, se calcula el ϕ , asumiendo un espesor d_p en las dos ecuaciones. Haciendo el siguiente procedimiento iterativo para evaluar el espesor:

d_p	$\phi = \frac{c_p d_p \rho_p \cdot A_p}{c_a \rho_a \cdot V} =$	$d_p \geq 98 * \frac{\lambda_p * 1}{1650 * 1 + \phi/3}$
0,005	0,20357	0,0111
0,006	0,24428	0,0110
0,007	0,28499	0,0108
0,008	0,32571	0,0107
0,009	0,36642	0,0106
0,0100	0,40713	0,010

Tabla 66: Calculo de espesor del revestimiento (mortero con placa de yeso), para columna central HEA 320A.

Elaboración propia.

Con este procedimiento, se obtiene un espesor de 10,0 mm

D) Las siguientes propiedades térmicas de placa de fibrocemento

$$\lambda_p = 0,15 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$$

$$C_p = 1200 \text{ J/(kg}^{\circ}\text{K)}$$

$$\rho_p = 800 \text{ kg/m}^3$$

$$C_a = 600 \text{ J/(kg}^{\circ}\text{K)}$$

$$\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$$

Este grosor, se obtiene teniendo en cuenta la cantidad de calor almacenado, se calcula el ϕ , asumiendo un espesor d_p en las dos ecuaciones. Haciendo el siguiente procedimiento iterativo para evaluar el espesor:

d_p	$\phi = \frac{c_p d_p \rho_p}{c_a \rho_a} \cdot \frac{A_p}{V} =$	$d_p \geq 98 * \frac{\lambda_p * 1}{1650 * 1 + \phi/3}$
0,0110	0,21972	0,0083
0,0105	0,20973	0,0083
0,0100	0,19975	0,0084
0,0090	0,17977	0,0084
0,0095	0,18976	0,0084
0,0084	0,16779	0,0084

Tabla 67: Calculo de espesor del revestimiento (mortero con placa de fibrocemento), para columna central HEA 320A.

Elaboración propia.

Con este procedimiento se obtiene un espesor de 8,4 mm

4.2.4 Chequeo columna HEA 320 (Esquinera) con protección:

La columna HEA 320 de acero ASTM A572 grado 50 ubicada en el eje 2 – C, la cual soporta una losa steel deck, del edificio con uso comercio y reuniones. Sostiene una viga que tiene dos tramos de la siguiente manera, la luz de la viga eje 2(A-B) es de 4,93 m y la viga eje 2(B-C) es de 5,93 m, la aferencia es de 2,125 m, el ϕ_n es de 3062 kN, Según NSR la carga viva para uso, comercio y reuniones es de 5 kN/m2. La carga permanente de la losa es 5,86 kN/m2.

Columna= HEA 320

Edificio= Comercio y reuniones

de pisos steel deck= 3

de pisos cubierta liviana= 1

Carga permanente= 5,86 kN/m2

Carga Viva= 5,0 kN/m2

Peso propio columna= 13,5 kN

Área aferente columna= 7,54 m²

ETAPA 1

$$QM = ((5,86 * 3 + 0,5 * 1) * 7,54) + 13,5 = 149,82 \text{ KN}$$

$$QV = (5,00 * 3 + 0,5 * 1) * 7,54 = 116,87 \text{ KN}$$

$$E_{fi}, E_d = 1,2 QM + 0,5 QV$$

$$E_{fi}, E_d = 1,2(149,82) + 0,5(116,87) = 213,22 \text{ KN}$$

$$\mu_0 = \frac{E_{fi,d}}{R_d} = \frac{213,22}{3062}$$

ETAPA 2

Se determina el coeficiente de corrección de la longitud de pandeo

$\alpha = 0,5$ para las columnas de plantas intermedias
 $\alpha = 0,7$ para las columnas de planta superior
 $\alpha = 1,00$, Para el resto de casos la longitud de pandeo permanece igual a la considerada a la temperatura ambiente.

$$\alpha = 1,00$$

ETAPA 3

Entramos a la gráfica con un grado de utilización $\mu_0 = 0,069$, hasta encontrar la curva $\alpha=1$,

Se proyecta una línea ortogonal hasta llegar a la ordenada °C.

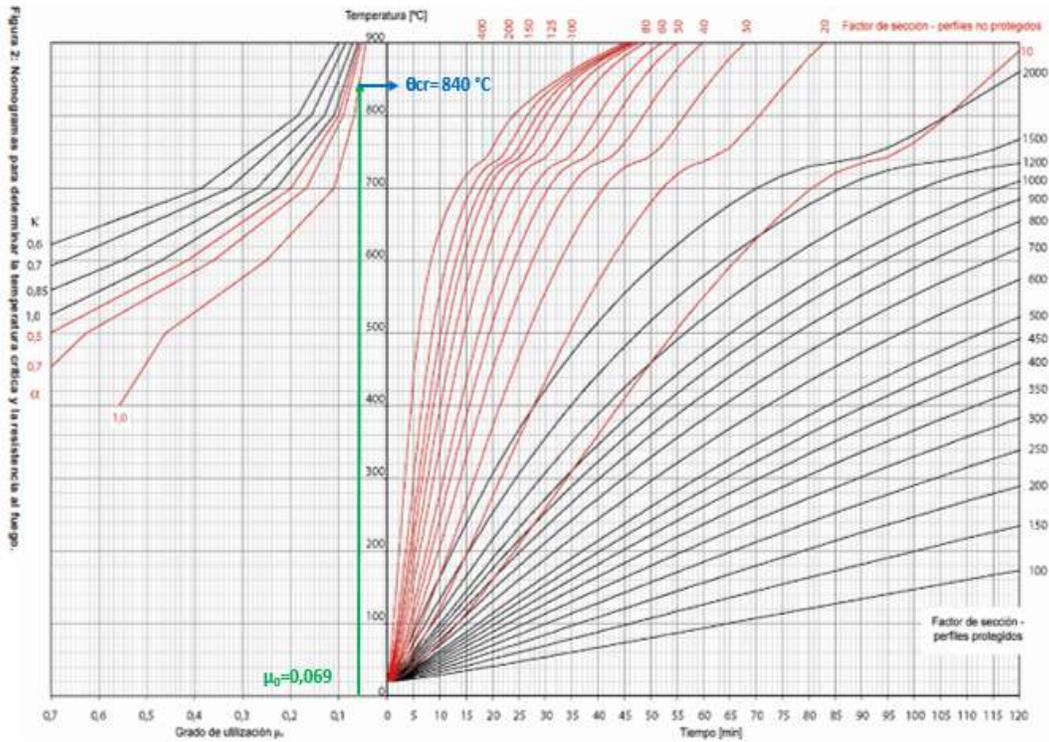


Ilustración 39: Nomograma para determinar la temperatura crítica y la resistencia al fuego.

(Apta, 2005)

La resistencia al fuego de la columna es de:

$$\theta_{cr} = 840 \text{ °C}$$

ETAPA 4

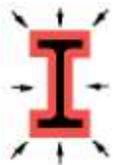
Se obtiene el factor de sección, para la columna

El factor de sección para un HEA 320 es:

$$\frac{A_p}{V} = \frac{\text{Perimetro del perfil expuesto al incendio}}{\text{Area del acero}} =$$

Es el área apropiada de material de protección contra incendios por unidad de longitud del miembro [m² / m].

Calentamiento del perfil por 4 caras:

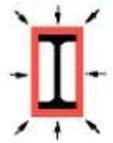


$$\frac{A_p}{V} =$$

$$141 \text{ m}^{-1}$$

Ver Tabla 6 (Apta, 2005)

Calentamiento del perfil con protección rectangular, en cuatro caras:



$$\frac{A_p}{V} =$$

$$98 \text{ m}^{-1}$$

Ver Tabla 6 (Apta, 2005)

ETAPA 5

Se determina gráficamente en el nomograma, la resistencia al fuego del perfil con temperatura crítica de 840 °C y una resistencia al fuego de 60 min.

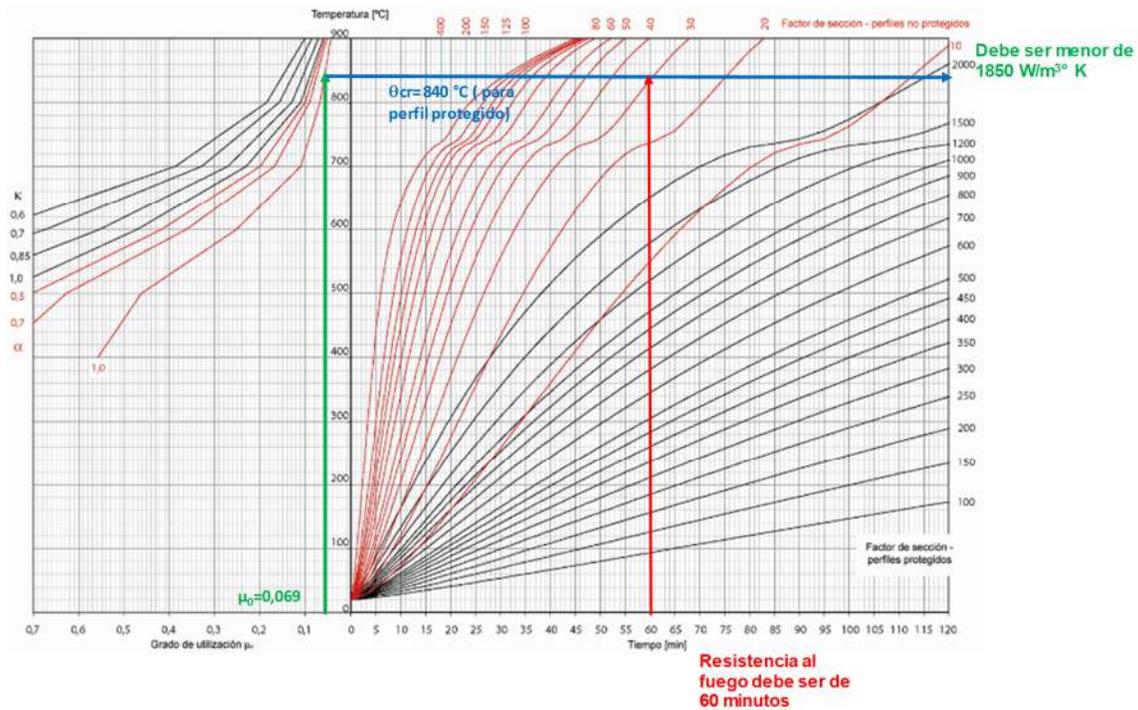


Ilustración 40: Nomograma para determinar la temperatura crítica y la resistencia al fuego.

(Apta, 2005)

Entonces, según el monograma el factor de sección modificado es:

$$\frac{A}{v} * \frac{\lambda_p * 1}{d_p * 1 + \phi/3} = 1850 \text{ W/m}^3 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Entonces, el factor de sección con protección modificado para la temperatura crítica de 650 °C y una resistencia al fuego de 60 minutos debe ser igual o inferior a 1850 W/m³ °K

ETAPA 6

El factor de masividad para la HEA 320 con revestimiento en cuatro lados es:

$$\frac{A}{v} = 141 \text{ m}^{-1}$$

Entonces despejando en la ecuación

d_p = Espesor en mm

$$d_p = \frac{A_p}{V} * \frac{\lambda_p * 1}{1650 * 1 + \phi/3}$$

El espesor es entonces:

$$141.0 \text{ m}^{-1}$$

A) Las siguientes propiedades térmicas de mortero con vermiculita

$$\lambda_p = 0.12 \text{ W/(m}^{\circ}\text{k)}$$

$$C_p = 1100 \text{ J/(kg}^{\circ}\text{K)}$$

$$\rho_p = 550 \text{ kg/m}^3$$

$$C_a = 600 \text{ J/(kg}^{\circ}\text{K)}$$

$$\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$$

Este grosor se obtiene teniendo en cuenta la cantidad de calor almacenado, se calcula el ϕ , asumiendo un espesor d_p en las dos ecuaciones. Haciendo el siguiente procedimiento iterativo para evaluar el espesor:

d_p	$\phi = \frac{c_p d_p \rho_p}{c_a \rho_a} \cdot \frac{A_p}{V} =$	$d_p \geq 141 * \frac{\lambda_p * 1}{1850 * 1 + \phi/3}$
0,0130	0,23545	0,008
0,0120	0,21734	0,009
0,0110	0,19923	0,009
0,0100	0,18111	0,009
0,0095	0,17206	0,009
0,0090	0,16300	0,009

Tabla 68: Calculo de espesor del revestimiento (mortero con mortero con vermiculita), para columna esquinera HEA 320A.

Elaboración propia.

Con este procedimiento, se obtiene un espesor de 9 mm

B) Las siguientes propiedades térmicas de mortero con fibras minerales

$$\lambda_p = 0.12 \text{ W/(m}^{\circ}\text{k)}$$

$$C_p = 1200 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$$

$$r_p = 300 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$C_a = 600 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$$

$$\rho_a = 7850 \text{ kg}/\text{m}^3$$

Este grosor se obtiene teniendo en cuenta la cantidad de calor almacenado, se calcula el ϕ , asumiendo un espesor d_p en las dos ecuaciones. Haciendo el siguiente procedimiento iterativo para evaluar el espesor:

d_p	$\phi = \frac{c_p d_p \rho_p \cdot A_p}{c_a \rho_a \cdot V}$	$d_p \geq 141 * \frac{\lambda_p * 1}{1850 \cdot 1 + \phi/3}$
0,0130	0,14010	0,009
0,0120	0,12932	0,009
0,0110	0,11855	0,009
0,0100	0,10777	0,009
0,0095	0,10238	0,009
0,0090	0,09699	0,009

Tabla 69: Calculo de espesor del revestimiento (mortero con fibras minerales), para columna esquinera HEA 320A.

Elaboración propia.

Con este procedimiento, se obtiene un espesor de 9 mm

El factor de masividad para la HE 320, protección rectangular, en cuatro caras:

$$\frac{A}{v} = 98 \text{ m}^{-1}$$

Entonces despejando en la ecuación

d_p = Espesor en mm

$$d_p = \frac{A_p}{V} * \frac{\lambda_p * 1}{1650 \cdot 1 + \phi/3}$$

El espesor es entonces:

$$\frac{A_p}{V} = 98,0 \text{ m}^{-1}$$

C) Las siguientes propiedades térmicas de placa de yeso:

$$\lambda_p = 0.2 \text{ W/(m}\cdot\text{k)}$$

$$C_p = 1700 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$$

$$\rho_p = 800 \text{ kg/m}^3$$

$$C_a = 600 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$$

$$\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$$

Este grosor, se obtiene teniendo en cuenta la cantidad de calor almacenado, se calcula el ϕ , asumiendo un espesor d_p en las dos ecuaciones. Haciendo el siguiente procedimiento iterativo para evaluar el espesor:

d_p	$\phi = \frac{c_p d_p \rho_p \cdot A_p}{c_a \rho_a \cdot V} =$	$d_p \geq 98 * \frac{\lambda_p * 1}{1850 * 1 + \phi/3}$
0,005	0,20357	0,0099
0,006	0,24428	0,0098
0,007	0,28499	0,0097
0,008	0,32571	0,0096
0,0090	0,36642	0,0094
0,0094	0,38271	0,0094

Tabla 70: Calculo de espesor del revestimiento (mortero placa de yeso), para columna esquinera HEA 320A.

Con este procedimiento, se obtiene un espesor de 9,4 mm

D) Las siguientes propiedades térmicas de placa de fibrocemento

$$\lambda_p = 0,15 \text{ W/(m}\cdot\text{k)}$$

$$C_p = 1200 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$$

$$\rho_p = 800 \text{ kg/m}^3$$

$$C_a = 600 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$$

$$\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$$

Este grosor, se obtiene teniendo en cuenta la cantidad de calor almacenado, se calcula el ϕ , asumiendo un espesor d_p en las dos ecuaciones. Haciendo el siguiente procedimiento iterativo para evaluar el espesor:

d_p	$\phi = \frac{c_p d_p \rho_p \cdot A_p}{c_a \rho_a \cdot V} =$	$d_p \geq 98 * \frac{\lambda_p * 1}{1850 \cdot 1 + \phi/3}$
0,0050	0,09987	0,0077
0,0055	0,10986	0,0077
0,0060	0,11985	0,0076
0,0065	0,12983	0,0076
0,0070	0,13982	0,0076
0,0076	0,15181	0,0076

Tabla 71: Calculo de espesor del revestimiento (mortero placa de fibrocemento), para columna esquinera HEA 320A.

Con este procedimiento, se obtiene un espesor de 7,6 mm

4.2.5 Resumen de espesores de protecciones para los distintos perfiles:

PERFIL	CARACTERISTICAS	Tiempo (min)	θ_a (°C)	FACTOR SECCIÓN (m ⁻¹)	FACTOR SECCIÓN MOD (W/m ³ *K)	TIPO DE PROTECCIÓN (mm)			
						Mortero con vercumita	Mortero fibras minerales	Placa yeso	Fibrocemento
IPE 330	Sin protección	31	670	117,9	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
IPE 330	Con protección	60	650	174 y 131	1800	11	11	12,6	8,4
HE 320A	Con protección - col centro	60	600	141 y 98	1650	10	10	10	8,4
HE 320A	Con protección - col esquinera	60	840	141 y 98	1850	9	9	9,4	7,6

Tabla 72: Resumen espesores de protecciones, para los distintos perfiles.

Elaboración propia.

Al usar el método simplificado (curva paramétrica), en el diseño, se obtienen que, para los 4 tipos de perfiles, el tipo de protección más óptima (menor espesor), es fibrocemento.

C. ABERTURA del vacío en todo el contorno, con $h=1,20$ m

Factor de ABERTURA= $0,318 \text{ m}^{0,5}=31,80\%$

D. ABERTURA del vacío en todo el contorno, con $h=1,40$ m

Factor de ABERTURA= $0,390 \text{ m}^{0,5}=39,00\%$

E. ABERTURA del vacío en todo el contorno, con $h=1,60$ m

Factor de ABERTURA= $0,467 \text{ m}^{0,5}=46,70\%$

F. ABERTURA del vacío en todo el contorno, con $h=1,80$ m

Factor de ABERTURA= $0,549 \text{ m}^{0,5}=5,49\%$

G. ABERTURA del vacío en todo el contorno, con $h=2,00$ m

Factor de ABERTURA= $0,637 \text{ m}^{0,5}=63,70\%$

H. ABERTURA del vacío en todo el contorno, con $h=2,60$ m

Factor de ABERTURA= $0,995 \text{ m}^{0,5}=99,5\%$

Se toma el escenario A:

b= 2,00 m

h= 1,00 m

Factor de ABERTURA= $0,0626 \text{ m}^{0,5}=6,26\%$

Se digita la geometría del recinto; definiéndose los cerramientos en este caso son 4, al igual que el suelo y techo.

Se definen las propiedades de los 4 cerramientos, suelo y techo. En este caso en el cerramiento 1 se coloca la ABERTURA de $2,00 \times 1,00$.

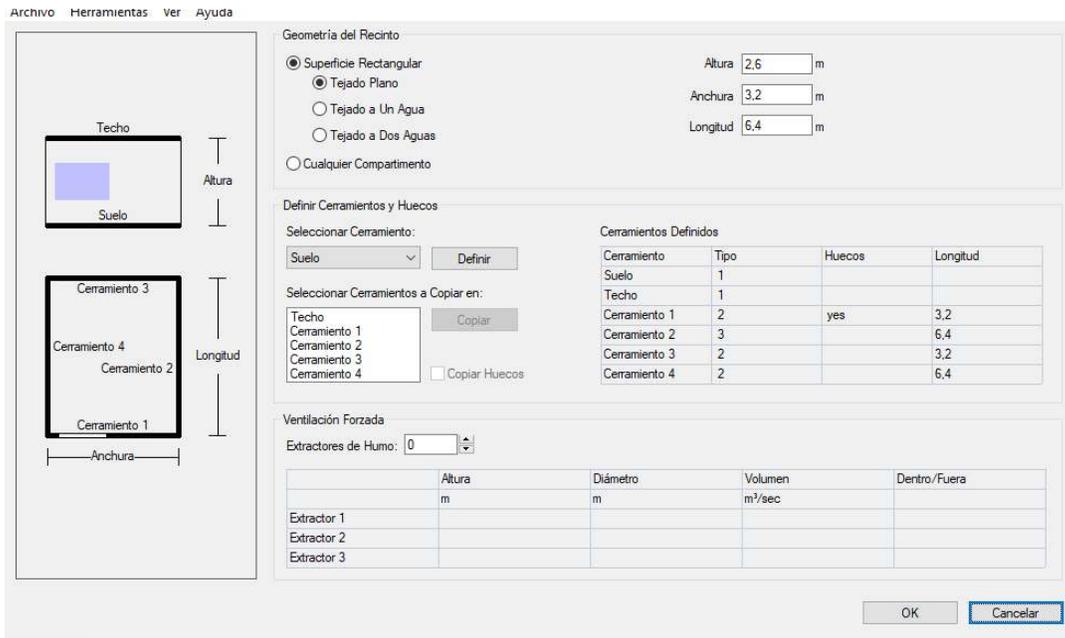


Ilustración 42: Geometría del recinto, programa OZONE 3.0.4

Elaboración propia.

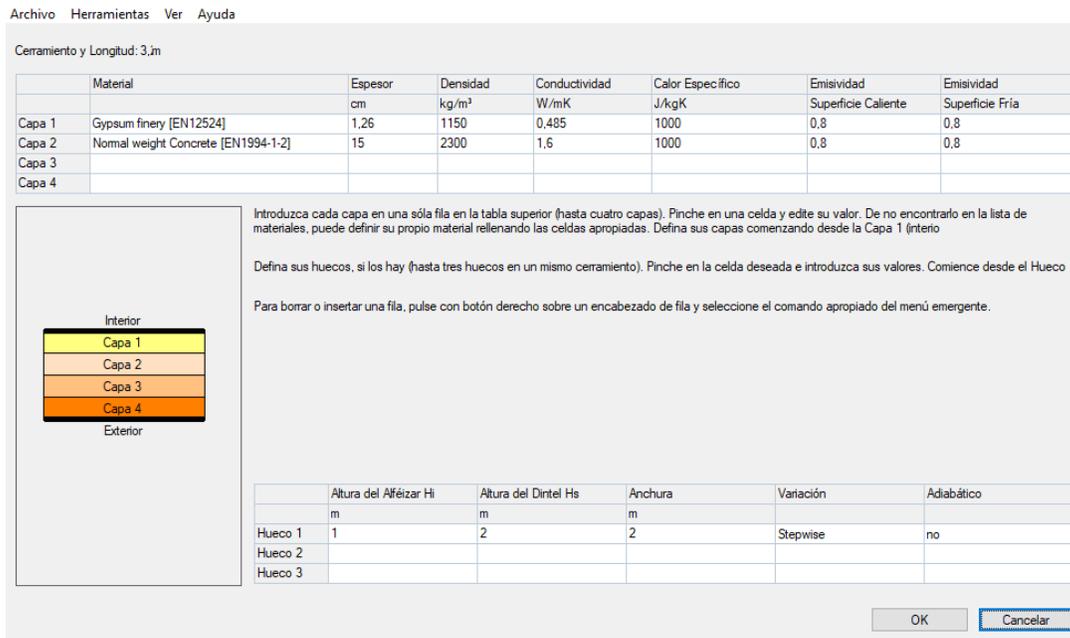


Ilustración 43: Definición de propiedades, programa OZONE 3.0.4.

Elaboración propia.

Se utilizan los coeficientes δ_{ni} de la Tabla 58, se insertan en el icono fuego, se define el uso en este caso Hotel, que tiene en cuenta el 80% de la carga de fuego, según EN 1991-1-2.

Ilustración 44: Definición del fuego, según EN 1991 - 1 – 2, programa OZONE 3.0.4.

Elaboración propia.

En perfil de acero, se escoge IPE 450 expuesto a cuatro caras:

Ilustración 45: Definición de perfil de acero, programa OZONE 3.0.4.

Elaboración propia.

En parámetros se escoge:

Archivos Herramientas Ver Ayuda

Huecos

Radiación a través de Huecos Cerrados: (0 - 1)

Coefficiente de Bernoulli:

Características Físicas del Recinto

Temperatura Inicial: K

Presión Inicial: Pa

Parámetros del Material del Cerramiento

Coefficiente de Convección en la Superficie Caliente: W/m²K

Coefficiente de Convección en la Superficie Fría: W/m²K

Parámetros de Cálculo

Fin del Cálculo: sec

Paso de Tiempo para Imprimir Resultados: sec

Máximo Paso de Tiempo para el Cálculo: sec

Resultados Extendidos

Coeficiente Parcial de Seguridad de Diseño en Fuego

$\gamma_{M,fi}$:

Modelo de Fuego Localizado:

Huecos Dependientes de la Temperatura

Dependiente de la Temperatura: °C

Variación escalonada

Temperature °C	% of Total Openings
20	10
400	50
500	100

Variación lineal

Temperature °C	% of Total Openings
20	10
400	50
500	100

Huecos Dependientes del Tiempo

Tiempo sec	% of Total Openings
0	5
1200	100

Por Defecto Restaurar

OK Cancelar

Ilustración 46: Se definen parámetros, programa OZONE 3.0.4.

Elaboración propia.

Se genera el informe y se obtienen las siguientes Ilustraciones:

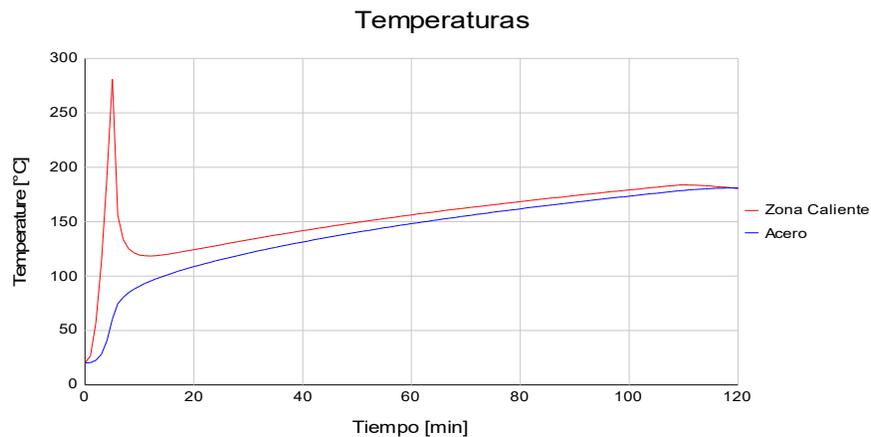


Ilustración 47: Escenario A, Zona caliente y temperatura del acero $O=0,0626 \text{ m}^{0.5}$ (factor de ABERTURA), programa OZONE 3.0.4.

Elaboración propia.

Se anexan las gráficas correspondientes a los 8 escenarios restantes, clasificadas según factor de ABERTURA:

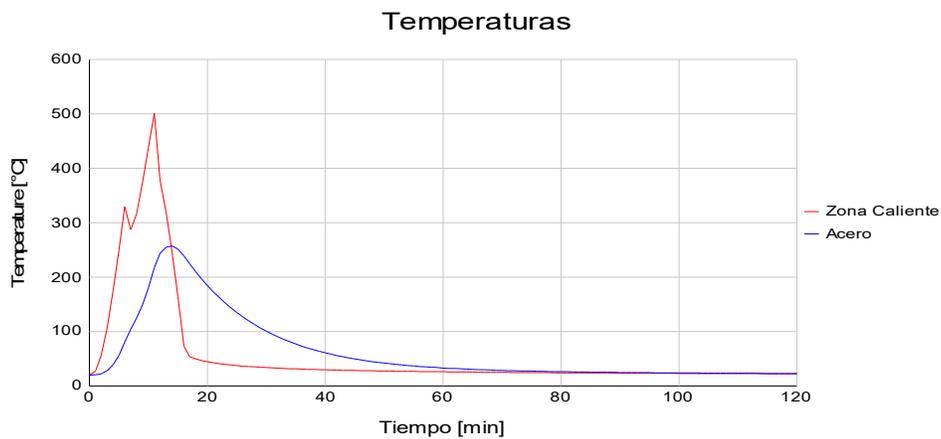


Ilustración 48: Escenario B, Zona caliente y temperatura del acero $O=0,253 m^{0,5}$ (factor de ABERTURA), programa OZONE 3.0.4.

Elaboración propia.

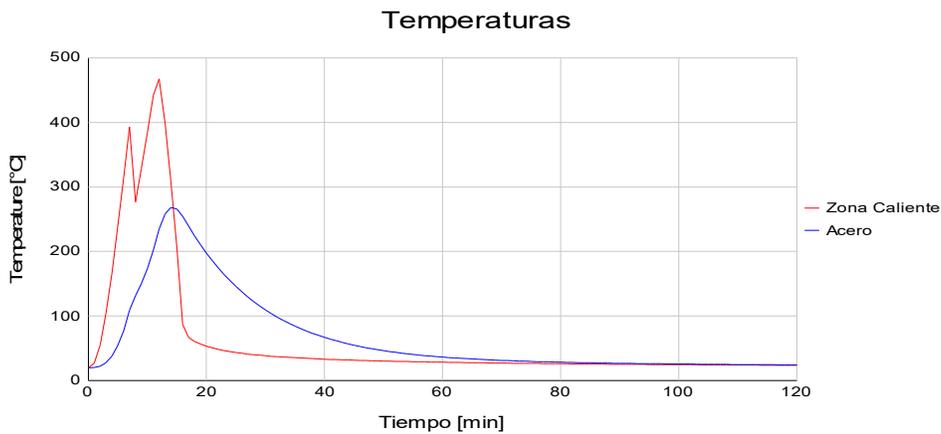


Ilustración 49: Escenario C, Zona caliente y temperatura del acero $O=0,318 m^{0,5}$ (factor de ABERTURA), programa OZONE 3.0.4.

Elaboración propia.

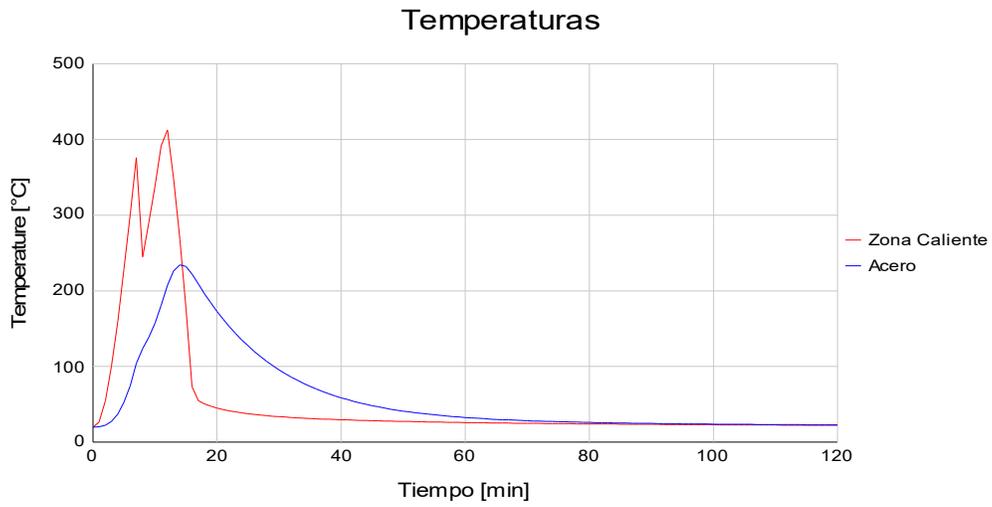


Ilustración 50: Escenario D, Zona caliente y temperatura del acero $O=0,390 m^{0,5}$ (factor de ABERTURA), programa OZONE 3.0.4.

Elaboración propia.

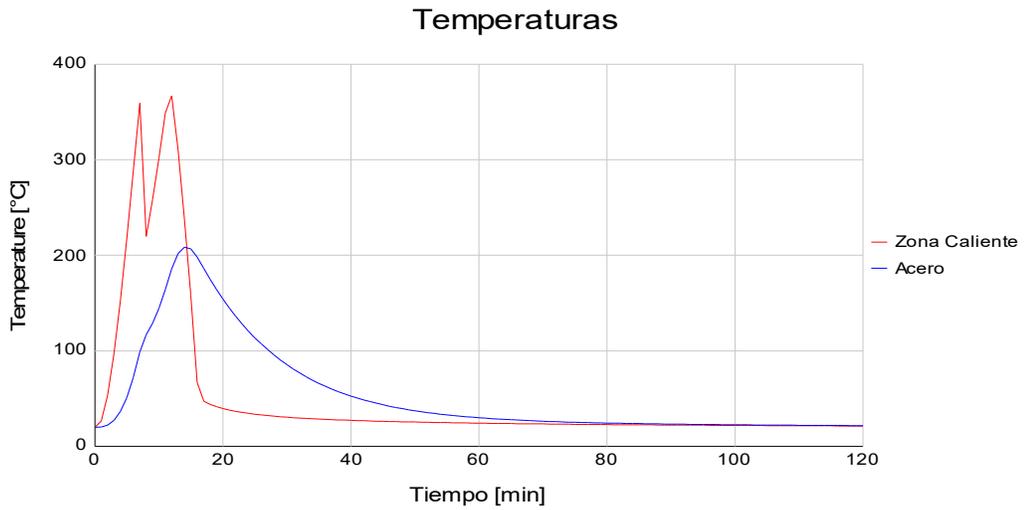


Ilustración 51: Escenario E, Zona caliente y temperatura del acero $O=0,467 m^{0,5}$ (factor de ABERTURA), programa OZONE 3.0.4.

Elaboración propia.

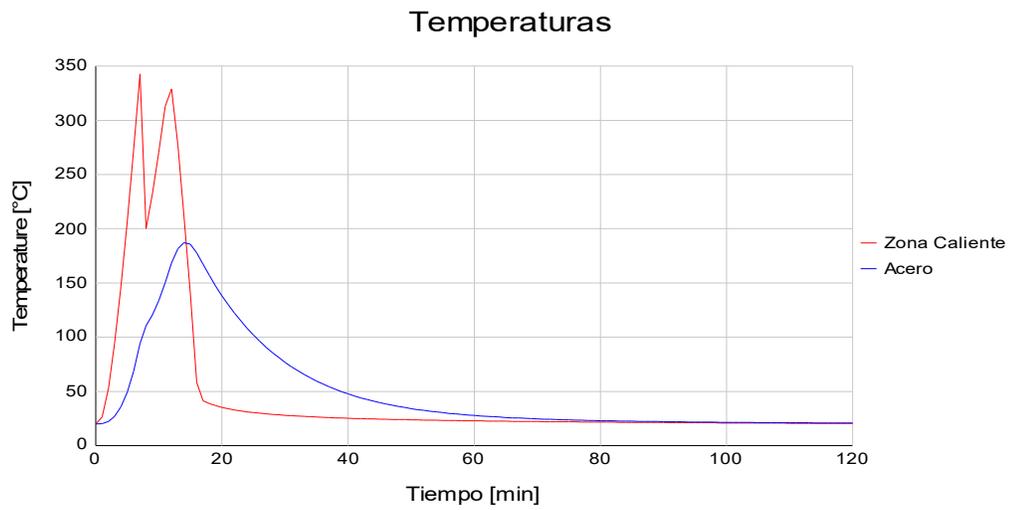


Ilustración 52: Escenario F, Zona caliente y temperatura del acero $O=0,549 m^{0,5}$ (factor de ABERTURA), programa OZONE 3.0.4.

Elaboración propia.

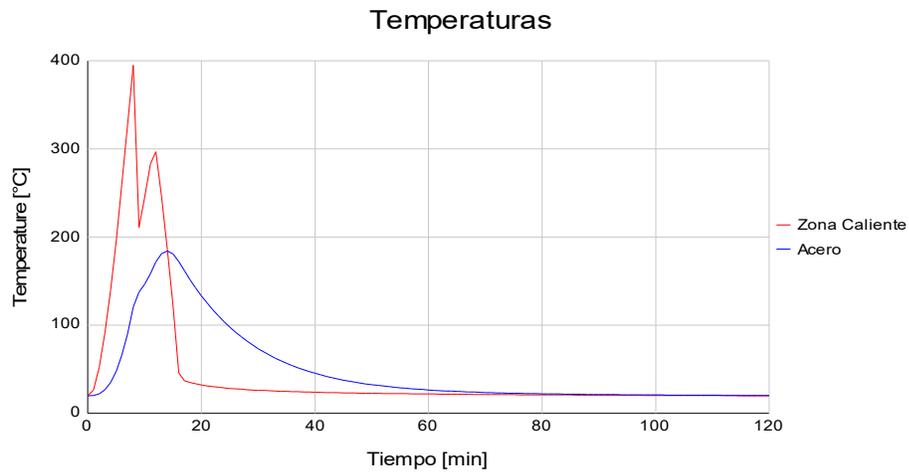


Ilustración 53: Escenario G, Zona caliente y temperatura del acero $O=0,637 m^{0,5}$ (factor de ABERTURA), programa OZONE 3.0.4.

Elaboración propia.

Temperaturas

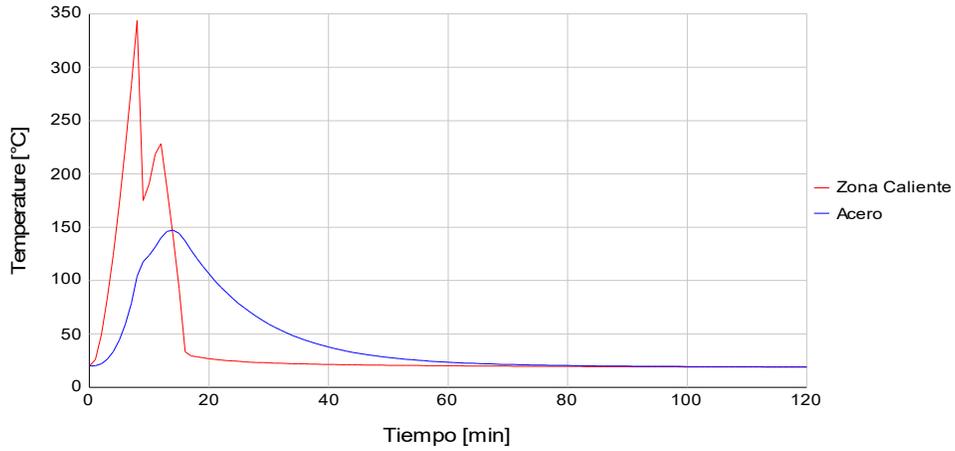


Ilustración 54: Escenario H, Zona caliente y temperatura del acero $O=0,995 m^{0,5}$ (factor de ABERTURA), programa OZONE 3.0.4.

Elaboración propia.

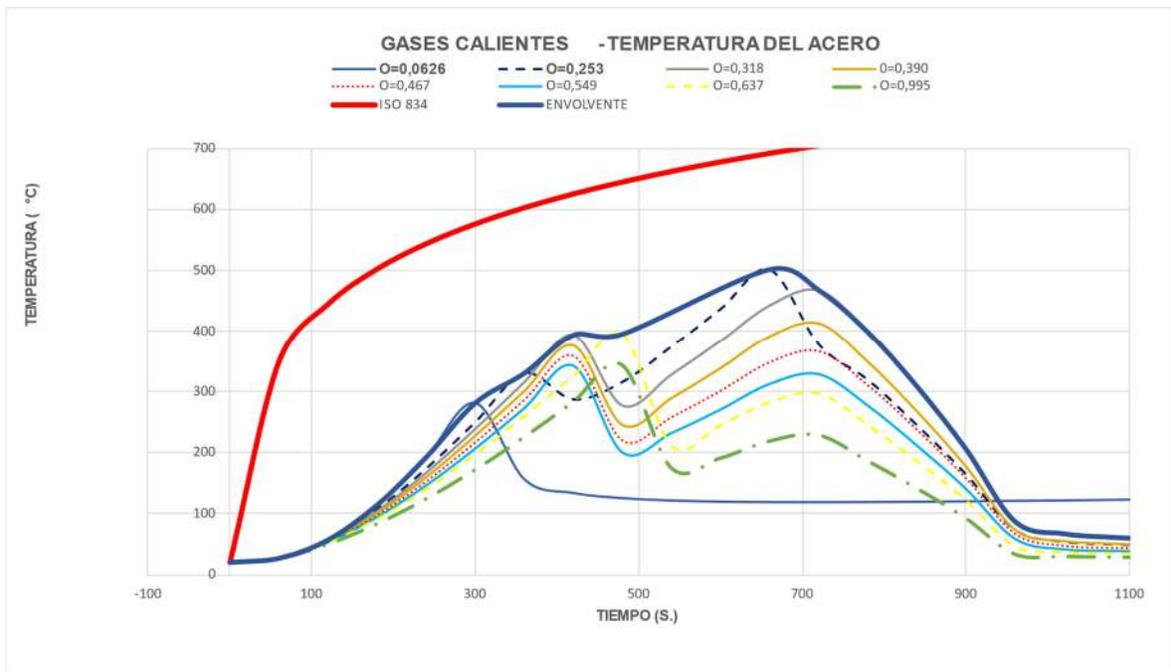


Ilustración 55: Comparación curvas gases calientes- temperatura de acero, vs ISO 834, según factor de ABERTURA.

Elaboración propia.

Limitaciones de los métodos:

- ❖ NSR, no considera los métodos activos. Mientras que NFPA e IBC, si contemplan el uso de medidas activas, como es el caso de sistemas automáticos de extinción de incendios (rociadores).
- ❖ Las curvas paramétricas, es un método simplificado, mediante el cual se mide la evolución, de temperatura del gas de un incendio, en una estructura. Se puede emplear, con las siguientes restricciones en edificaciones con:
 - Áreas menores o iguales a 500 m².
 - Alturas libres de máximo de 4m.
 - Sin aberturas en la cubierta.
- ❖ El cálculo de temperatura crítica, por sus simplificaciones, tiene las siguientes restricciones.
 - Restrictivo en estructuras irregulares, en donde la distribución de temperaturas en perfiles no sea homogénea.
 - No es recomendable, en piezas susceptibles a fallar por fenómenos de inestabilidad.
 - No es aconsejable, en elementos mixtos.
- ❖ Los nomogramas, se han desarrollado para obtener gráficamente la temperatura del acero, en elementos protegidas y no protegidas. No son aplicables a:
 - Elementos susceptibles a pandeo lateral o por flexión.
 - Elementos sometidos a una combinación de cargas axiales, transversales y/o momentos.
- ❖ El método de tiempo equivalente, sirve para determinar la resistencia al fuego, basado en las características físicas del recinto. Este método se emplea para

relacionar la temperatura de un incendio real esperado, con el incendio de una prueba estándar. No es aplicable a:

- Estructuras mixtas de acero y concreto.
 - No es aplicable a estructuras de madera.
 - El método de tiempo equivalente, no es recomendable usarlo para el diseño definitivo de la protección pasiva. Es un método, con el cual se puede obtener el primer acercamiento de la temperatura, que se puede alcanzar, o puede ser una herramienta de apoyo, para usar con otros métodos.
-
- ❖ Existe una limitación en Colombia y es poder establecer, cual es realmente el potencial combustible. En las normas europeas, existen unos parámetros. A veces no es recomendable, usar la carga combustible real de la edificación, es aconsejable ser más conservador. El Euro código, establece, no solo realizar el análisis con el percentil 50, sino también con el 80, 90 y 95, inclusive se podrían llegar a usar más del 100%.
 - ❖ Cuando se realiza el análisis, de curvas tiempo – temperatura y los vidrios son de seguridad, se puede asumir, que es limitado el rompimiento de los mismos, mientras sean vidrios crudos, se puede asumir el rompimiento de la mayor cantidad de vidrios.
 - ❖ Los métodos de análisis presentados en el manual, son complementarios entre sí. Por tal motivo, se requiere tener conocimiento de todos ellos, para poder realizar un diseño de resistencia contra incendio óptimo.
 - ❖ La autora, se exime de cualquier responsabilidad que pudiera derivarse del uso de la información contenida en la presente guía.

Lista de Tablas:

TABLA 1: CURVAS DE TIEMPO – TEMPERATURA ASTM E119 E ISO 834.	16
TABLA 2: DATOS SOBRE LA DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO, PARA DIFERENTES EDIFICIOS (MJ/M ²), CON DISTRIBUCIÓN GUMBEL TIPO I	19
TABLA 3: INFLUENCIA DE LA VENTILACIÓN Y LA CARGA COMBUSTIBLE EN LA DURACIÓN, TEMPERATURAS Y TASAS DE LIBERACIÓN DE CALOR DE UN INCENDIO.	21
TABLA 4: COMPARACIÓN DE LA DURACIÓN Y TEMPERATURAS DE UN INCENDIO SEGÚN SÍ ES CONTROLADO POR LA VENTILACIÓN O POR LA CARGA COMBUSTIBLE.	21
TABLA 5: NÚMERO MÍNIMO DE ESCENARIOS.	26
TABLA 6: COEFICIENTES DE CORRECCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL ACERO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA, SEGÚN EN – 1993 – 1 – 2.	42
TABLA 7: RESUMEN DE DERIVAS.	46
TABLA 8: K.2.1-1 GRUPOS Y SUBGRUPOS DE OCUPACIÓN.	48
TABLA 9: K.3.3-1 ÍNDICE DE OCUPACIÓN	49
TABLA 10: K.3.3-1 (CONTINUACIÓN) ÍNDICE DE OCUPACIÓN.	49
TABLA 11: ÍNDICES DE OCUPACIÓN, SEGÚN GRUPO Y SUBGRUPO DE OCUPACIÓN.	50
TABLA 12: CARGA DE OCUPACIÓN PARA EDIFICIO USO C-2 Y L-3.	50
TABLA 13: K.3.3-2 ÍNDICES DE ANCHO DE SALIDA POR PERSONA.	51
TABLA 14: J.1.1-1 GRUPOS Y SUBGRUPOS DE OCUPACIÓN.	53
TABLA 15: 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.	54
TABLA 16: J.3.4- 3 RESISTENCIA REQUERIDA AL FUEGO NORMALIZADO NTC 1480 (ISO 834), EN HORAS, DE ELEMENTOS DE UNA EDIFICACIÓN DE TODOS LOS GRUPOS DE OCUPACIÓN EXCEPTO R-1 Y R-2.	54
TABLA 17: FACTOR DE CARGA DE OCUPANTES.	56
TABLA 18: FACTOR DE CARGA SEGÚN USO Y CARGA OCUPACIÓN	57
TABLA 19: 6.1.14.4.1 (A) SEPARACIÓN REQUERIDA PARA LOS OCUPANTES (EN HORAS), PARTE I	57
TABLA 20: CERTIFICACIÓN DE RESISTENCIA AL FUEGO PARA LOS TIPOS I A V DE CONSTRUCCIÓN (EN HORAS)	58
TABLA 21: LIMITACIONES SEGÚN EL TIPO DE CONSTRUCCIÓN.	59
TABLA 22: ALTURA Y ÁREAS PERMITIDAS DEL EDIFICIO.	60
TABLA 23: 7.2.2.2.1.1 (A) ESCALERAS NUEVAS.	60
TABLA 24: 7.2.2.2.1.2 (B) ANCHO PARA ESCALERAS NUEVAS.	61
TABLA 25: 2.19:601 REQUISITOS DE CLASIFICACIÓN DE RESISTENCIA AL FUEGO, PARA ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN (HORAS).	63

TABLA 26:706.3.9 REQUISITOS DE CLASIFICACIÓN DE RESISTENCIA AL FUEGO, PARA SISTEMAS DE BARRERA CONTRA INCENDIO ENTRE ÁREAS DE INCENDIO.	63
TABLA 27:1004.1.2 ASIGNACIONES MÁXIMAS DE ÁREA DE PISO POR OCUPANTE.	64
TABLA 28: FACTOR DE CARGA SEGÚN FUNCIÓN DEL ESPACIO Y FACTOR DE CARGA DEL OCUPANTE.	65
TABLA 29:1006.2.1 ESPACIOS CON UNA SALIDA, O PUERTA DE ACCESO DE SALIDA.	65
TABLA 30:504.3 ALTURA PERMITIDA DEL EDIFICIO EN PIES.	67
TABLA 31: COMPARACIÓN DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO NSR, NFPA E IBC.	68
TABLA 32: COEFICIENTE $\delta_{\alpha 1}$	73
TABLA 33: COEFICIENTE $\delta_{\alpha 2}$	73
TABLA 34: COEFICIENTE δ_{N_i}	73
TABLA 35: VALORES DE T_{LIM} EN FUNCIÓN DE LA TASA DE CRECIMIENTO.	74
TABLA 36: RESUMEN DE DISTINTOS ESCENARIOS SIN Y CON MEDIDAS DE PROTECCIÓN ACTIVAS.	78
TABLA 37:ESCENARIO A, SIN MEDIDAS DE SEGURIDAD ACTIVAS CON CURVA PARAMÉTRICA DE TEMPERATURA- TIEMPO, SEGÚN EN – 1991 – 1 – 2.	80
TABLA 38: ESCENARIO B, CON MEDIDAS DE SEGURIDAD ACTIVAS CON CURVA PARAMÉTRICA DE TEMPERATURA- TIEMPO, SEGÚN EN – 1991 – 1 – 2.	81
TABLA 39: ESCENARIO A, SIN MEDIDAS DE SEGURIDAD ACTIVAS CON CURVA PARAMÉTRICA DE TEMPERATURA- TIEMPO, SEGÚN EN – 1991 – 1 – 2.	82
TABLA 40: ESCENARIO B, CON MEDIDAS DE SEGURIDAD ACTIVAS CON CURVA PARAMÉTRICA DE TEMPERATURA- TIEMPO, SEGÚN EN – 1991 – 1 – 2.	83
TABLA 45: RESISTENCIA AL FUEGO SUFICIENTE DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES (EN MINUTOS).	87
TABLA 46: RESISTENCIA AL FUEGO SUFICIENTE DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE ZONAS DE RIESGO ESPECIAL INTEGRADAS EN LOS EDIFICIOS.	87
TABLA 47: CURVA NORMALIZADA TIEMPO – TEMPERATURA.	88
TABLA 48: COEFICIENTE DE VENTILACIÓN, DISCRIMINADO POR PISOS.	90
TABLA 49: TABLA B.6. CARGAS DE FUEGO CARACTERÍSTICAS SEGÚN EL USO PREVISTO.	90
TABLA 50: VALORES DEL COEFICIENTE $\delta q 1$ POR EL RIESGO DE INICIACIÓN DEBIDO AL TAMAÑO DEL SECTOR.	92
TABLA 51: VALORES DEL COEFICIENTE $\delta q 2$ POR EL RIESGO DE INICIACIÓN DEBIDO AL USO O ACTIVIDAD.	92
TABLA 52: VALORES DE LOS COEFICIENTES $\delta n, i$ SEGÚN LAS MEDIDAS ACTIVAS VOLUNTARIAS EXISTENTES.	92
TABLA 53: VALORES DE δc POR LAS POSIBLES CONSECUENCIAS DEL INCENDIO, SEGÚN LA ALTURA DE EVACUACIÓN DEL EDIFICIO.	93
TABLA 54: VALORES DE K_c SEGÚN EL MATERIAL ESTRUCTURAL.	94
TABLA 55: COEFICIENTE DE ABERTURAS.	94
TABLA 56: PARÁMETROS DE VENTILACIÓN.	95

TABLA 57: COEFICIENTES EMPLEADOS EN EL CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO, SIN MEDIDAS ACTIVAS DE PROTECCIÓN.	95
TABLA 58: VALOR CARACTERÍSTICO Y DE CÁLCULO EN LA DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO.	95
TABLA 59: TIEMPO EQUIVALENTE SIN MEDIDAS ACTIVAS.	95
TABLA 60: COEFICIENTES EMPLEADOS EN EL CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO, CON MEDIDAS ACTIVAS DE PROTECCIÓN.	96
TABLA 61: VALORES DE LOS COEFICIENTES $\delta n, i$ SEGÚN LAS MEDIDAS ACTIVAS VOLUNTARIAS EXISTENTES.	96
TABLA 62: VALOR CARACTERÍSTICO Y DE CÁLCULO EN LA DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO, TENIENDO MEDIDAS ACTIVAS DE PROTECCIÓN.	96
TABLA 63: COMPARACIÓN DEL TIEMPO EQUIVALENTE CON MEDIDAS ACTIVAS Y SIN ELLAS.	97
TABLA 64: CALCULO DE ESPESOR DEL REVESTIMIENTO (MORTERO CON VERMICULITA), PARA VIGA IPE 330.	108
TABLA 65: CALCULO DE ESPESOR DEL REVESTIMIENTO (MORTERO CON FIBRAS MINERALES), PARA VIGA IPE 330.	109
TABLA 66: CALCULO DE ESPESOR DEL REVESTIMIENTO (PLACA DE YESO), PARA VIGA IPE 330.	110
TABLA 67: CALCULO DE ESPESOR DEL REVESTIMIENTO (PLACA DE FIBROCEMENTO), PARA VIGA IPE 330.	111
TABLA 68: CALCULO DE ESPESOR DEL REVESTIMIENTO (MORTERO DE VERMICULITA), PARA COLUMNA CENTRAL HEA 320A.	116
TABLA 69: CALCULO DE ESPESOR DEL REVESTIMIENTO (MORTERO CON FIBRAS MINERALES), PARA COLUMNA CENTRAL HEA 320A.	117
TABLA 70: CALCULO DE ESPESOR DEL REVESTIMIENTO (MORTERO CON PLACA DE YESO), PARA COLUMNA CENTRAL HEA 320A.	118
TABLA 71: CALCULO DE ESPESOR DEL REVESTIMIENTO (MORTERO CON PLACA DE FIBROCEMENTO), PARA COLUMNA CENTRAL HEA 320A.	119
TABLA 72: CALCULO DE ESPESOR DEL REVESTIMIENTO (MORTERO CON MORTERO CON VERMICULITA), PARA COLUMNA ESQUINERA HEA 320A.	124
TABLA 73: CALCULO DE ESPESOR DEL REVESTIMIENTO (MORTERO CON FIBRAS MINERALES), PARA COLUMNA ESQUINERA HEA 320A.	125
TABLA 74: CALCULO DE ESPESOR DEL REVESTIMIENTO (MORTERO PLACA DE YESO), PARA COLUMNA ESQUINERA HEA 320A.	126
TABLA 75: CALCULO DE ESPESOR DEL REVESTIMIENTO (MORTERO PLACA DE FIBROCEMENTO), PARA COLUMNA ESQUINERA HEA 320A.	127
TABLA 76: RESUMEN ESPESORES DE PROTECCIONES, PARA LOS DISTINTOS PERFILES.	127

Lista de Ilustraciones:

ILUSTRACIÓN 1: EL PROBLEMA REAL DE INCENDIO.	9
ILUSTRACIÓN 2: FLUJO DE TRANSFERENCIA DE CALOR NETO	11
ILUSTRACIÓN 3: CURVAS ESTÁNDAR DE TIEMPO TEMPERATURA.	16
ILUSTRACIÓN 4: CURVA ISO 834, COMPARADA CON UN INCENDIO REAL DESARROLLADO Y UNO CON MEDIDAS ACTIVAS DE PROTECCIÓN.	17
ILUSTRACIÓN 5: CURVAS TEMPERATURA – TIEMPO, NORMALIZADAS ISO 834.	18
ILUSTRACIÓN 6: DIFERENTES CURVAS DE INCENDIO REALES, CON DIVERSOS PARÁMETROS DE VENTILACIÓN Y CARGA TÉRMICA.	22
ILUSTRACIÓN 7: CURVA TIEMPO – TEMPERATURA DE UN INCENDIO NATURAL COMPARTIMENTADO Y TIEMPO – TEMPERATURA NOMINAL ISO 834	24
ILUSTRACIÓN 8: TASA DE LIBERACIÓN DE CALOR EN FUNCIÓN DEL TIEMPO, EN DIFERENTES ESCENARIOS DE INCENDIO.	25
ILUSTRACIÓN 9: MÉTODOS DE ANÁLISIS.	29
ILUSTRACIÓN 10: CLASIFICACIÓN VS. INGENIERÍA DE SEGURIDAD ANTE INCENDIOS EN ESTRUCTURAS.	31
ILUSTRACIÓN 11: METODOLOGÍAS DEL DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS CUANDO SE AFRONTA LA SEGURIDAD EN CASO DE INCENDIO.	32
ILUSTRACIÓN 12: METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DEL DISEÑO BASADO EN PRESTACIONES (DESEMPEÑO).	33
ILUSTRACIÓN 13: LÍNEA DEL TIEMPO DE LOS PRINCIPALES HITOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO BASADO EN PRESTACIONES (DESEMPEÑO).	33
ILUSTRACIÓN 14: CURVA PARAMÉTRICA Y SU APROXIMACIÓN A LA CURVA DE FUEGO NATURAL.	40
ILUSTRACIÓN 15: COEFICIENTES DE CORRECCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL ACERO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.	42
ILUSTRACIÓN 16: UBICACIÓN DEL PROYECTO EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ, D.C.	43
ILUSTRACIÓN 17: PLANTA TIPO, PLANTA CUBIERTA, ALZADO EJES A Y C, ALZADO DIAGONALES EJE 4 (VER DE IZQUIERDA A DERECHA Y DE ARRIBA ABAJO).	44
ILUSTRACIÓN 18: ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO.	45
ILUSTRACIÓN 19: PISO 2, PISO 3, PISO 4, EJE 6 (A - C), EJE A (1 – 6) (VER DE IZQUIERDA A DERECHA Y DE ARRIBA ABAJO).	47
ILUSTRACIÓN 20: MEDIDA DE LA DIAGONAL DEL ÁREA SERVIDA Y SEPARACIÓN DE LAS SALIDAS.	52
ILUSTRACIÓN 21: MEDIDA DE LA DIAGONAL DEL ÁREA SERVIDA Y SEPARACIÓN DE LAS SALIDAS.	61
ILUSTRACIÓN 22: MEDIDA DE LA DISTANCIA DE VIAJE, DE LA RUTA COMÚN DE SALIDA.	67
ILUSTRACIÓN 23: CURVA PARAMÉTRICA DE TIEMPO-TEMPERATURA: INFLUENCIA DE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN ACTIVAS, ANTE INCENDIO, PERCENTIL 80 DE CARGA COMBUSTIBLE HOTEL, O=5,10%, ESCENARIO B-9.	77
ILUSTRACIÓN 24: CURVA PARAMÉTRICA DE TIEMPO-TEMPERATURA: INFLUENCIA DE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN ACTIVAS, ANTE INCENDIO, PERCENTIL 80 DE CARGA COMBUSTIBLE HOTEL, O=5,10%, ESCENARIO A-1.	79

ILUSTRACIÓN 25: COMPARACIÓN ESCENARIO A, CON ISO 834: SIN MEDIDAS DE PROTECCIÓN ACTIVAS DE CURVA PARAMÉTRICA DE TEMPERATURA- TIEMPO, SEGÚN EN – 1991 – 1 – 2, PERCENTIL 80 DE CARGA COMBUSTIBLE.	80
ILUSTRACIÓN 26: COMPARACIÓN ESCENARIO B, CON ISO 34: CON MEDIDAS DE PROTECCIÓN ACTIVAS DE CURVA PARAMÉTRICA DE TEMPERATURA- TIEMPO, SEGÚN EN – 1991 – 1 – 2, PERCENTIL 80 DE CARGA COMBUSTIBLE.	81
ILUSTRACIÓN 27: COMPARACIÓN ESCENARIO A, CON ISO 834: SIN MEDIDAS DE PROTECCIÓN ACTIVAS DE CURVA PARAMÉTRICA DE TEMPERATURA- TIEMPO, SEGÚN EN – 1991 – 1 – 2, PERCENTIL 95 DE CARGA COMBUSTIBLE.	82
ILUSTRACIÓN 28: COMPARACIÓN ESCENARIO B, CON ISO 34: CON MEDIDAS DE PROTECCIÓN ACTIVAS DE CURVA PARAMÉTRICA DE TEMPERATURA- TIEMPO, SEGÚN EN – 1991 – 1 – 2, PERCENTIL 95 DE CARGA COMBUSTIBLE. ELABORACIÓN PROPIA.	83
ILUSTRACIÓN 29: COMPARACIÓN MEDIDAS DE PROTECCIÓN ACTIVAS DE CURVA PARAMÉTRICA DE TEMPERATURA TIEMPO, SEGÚN EN – 1991 – 1- 2, PERCENTIL 80 DE CARGA COMBUSTIBLE, USO: VIVIENDA, CON Y SIN PROTECCIONES ACTIVAS.	84
ILUSTRACIÓN 30:COMPARACIÓN MEDIDAS DE PROTECCIÓN ACTIVAS DE CURVA PARAMÉTRICA DE TEMPERATURA TIEMPO, SEGÚN EN – 1991 – 1- 2, PERCENTIL 95 DE CARGA COMBUSTIBLE, USO: VIVIENDA, CON Y SIN PROTECCIONES ACTIVAS.	85
ILUSTRACIÓN 31: PARÁMETROS PARA CALCULAR EL COEFICIENTE DE VENTILACIÓN.	90
ILUSTRACIÓN 32: UBICACIÓN DE LOS CUATRO (4) ELEMENTOS ESTRUCTURALES, BAJO ESTUDIO.	98
ILUSTRACIÓN 33: NOMOGRAMA PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA CRÍTICA Y LA RESISTENCIA AL FUEGO.	101
ILUSTRACIÓN 34: NOMOGRAMA PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA CRÍTICA Y LA RESISTENCIA AL FUEGO.	102
ILUSTRACIÓN 35: NOMOGRAMA PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA CRÍTICA Y LA RESISTENCIA AL FUEGO.	105
ILUSTRACIÓN 36: NOMOGRAMA PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA CRÍTICA Y LA RESISTENCIA AL FUEGO.	107
ILUSTRACIÓN 37: NOMOGRAMA PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA CRÍTICA Y LA RESISTENCIA AL FUEGO.	113
ILUSTRACIÓN 38: NOMOGRAMA PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA CRÍTICA Y LA RESISTENCIA AL FUEGO.	114
ILUSTRACIÓN 39: NOMOGRAMA PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA CRÍTICA Y LA RESISTENCIA AL FUEGO.	121
ILUSTRACIÓN 40: NOMOGRAMA PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA CRÍTICA Y LA RESISTENCIA AL FUEGO.	123
ILUSTRACIÓN 41: PLANTA DE LA HABITACIÓN DE HOTEL.	128
ILUSTRACIÓN 42: GEOMETRÍA DEL RECINTO, PROGRAMA OZONE 3.0.4	130
ILUSTRACIÓN 43: DEFINICIÓN DE PROPIEDADES, PROGRAMA OZONE 3.0.4.	130
ILUSTRACIÓN 44: DEFINICIÓN DEL FUEGO, SEGÚN EN 1991 - 1 – 2, PROGRAMA OZONE 3.0.4.	131
ILUSTRACIÓN 45:DEFINICIÓN DE PERFIL DE ACERO, PROGRAMA OZONE 3.0.4.	131
ILUSTRACIÓN 46: SE DEFINEN PARÁMETROS, PROGRAMA OZONE 3.0.4.	132
ILUSTRACIÓN 47: ESCENARIO A, ZONA CALIENTE Y TEMPERATURA DEL ACERO $O=0,0626 M^{0.5}$ (FACTOR DE ABERTURA), PROGRAMA OZONE 3.0.4.	132
ILUSTRACIÓN 48: ESCENARIO B, ZONA CALIENTE Y TEMPERATURA DEL ACERO $O=0,253 M^{0.5}$ (FACTOR DE ABERTURA), PROGRAMA OZONE 3.0.4.	133
ILUSTRACIÓN 49: ESCENARIO C, ZONA CALIENTE Y TEMPERATURA DEL ACERO $O=0,318 M^{0.5}$ (FACTOR DE ABERTURA), PROGRAMA OZONE 3.0.4.	133

ILUSTRACIÓN 50: ESCENARIO D, ZONA CALIENTE Y TEMPERATURA DEL ACERO $O=0,390 \text{ m}^{0,5}$ (FACTOR DE ABERTURA), PROGRAMA OZONE 3.0.4.	134
ILUSTRACIÓN 51: ESCENARIO E, ZONA CALIENTE Y TEMPERATURA DEL ACERO $O=0,467 \text{ m}^{0,5}$ (FACTOR DE ABERTURA), PROGRAMA OZONE 3.0.4.	134
ILUSTRACIÓN 52: ESCENARIO F, ZONA CALIENTE Y TEMPERATURA DEL ACERO $O=0,549 \text{ m}^{0,5}$ (FACTOR DE ABERTURA), PROGRAMA OZONE 3.0.4.	135
ILUSTRACIÓN 53: ESCENARIO G, ZONA CALIENTE Y TEMPERATURA DEL ACERO $O=0,637 \text{ m}^{0,5}$ (FACTOR DE ABERTURA), PROGRAMA OZONE 3.0.4.	135
ILUSTRACIÓN 54: ESCENARIO H, ZONA CALIENTE Y TEMPERATURA DEL ACERO $O=0,995 \text{ m}^{0,5}$ (FACTOR DE ABERTURA), PROGRAMA OZONE 3.0.4.	136
ILUSTRACIÓN 55: COMPARACIÓN CURVAS GASES CALIENTES- TEMPERATURA DE ACERO, VS ISO 834, SEGÚN FACTOR DE ABERTURA.	136

Bibliografía:

- Bomberos Ceis Guadalajara. (2015). Teoría del fuego. En P. A. Escudero, *Manual de incendios* (pág. 43). Guadalajara: Griker Orgemer.
- Carrera, S., Irigoyen, v., Hernández, L., & Luna, G. (2019). Alternativas de protección de vigas de acero frente al fuego y valoración económica. 21.
- European Commission . (2014). *Eurocodes: Background & Applications, Worked examples* . European Union.
- fullseguridad. (marzo de 2017). *Comportamiento del fuego en interiores*. Obtenido de <http://fullseguridad.net/wp-content/uploads/2017/03/COMPORTAMIENTO-DEL-FUEGO-EN-INTERIORES.pdf>
- Garcia, V. (2017). *Estado del arte y metodología del proyecto de estructuras de acero frente al fuego*. Cartagena, España: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Gómez, J. (2020). *Diseño de estructuras de acero en condición de incendio*. Bogotá: ICCA.
- Gutierrez, C. (2016). *Requerimientos reglamentarios sobre el comportamiento al fuego de materiales usados en edificios de reunión de personas*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Huertas, I. (2014). *Análisis del comportamiento de aceros al carbono frente al fuego*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Irene, H. (2014). *Análisis del comportamiento de aceros al carbono frente al fuego*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- NFPA 101. (2018). *NFPA* . Obtenido de <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=101>

Remontiro. (12 de marzo de 2018). *Remontiro*. Obtenido de Remontiro: <https://remontiro.ru/es/popular/fireproof-barrier-design-limits-their-fire-resistance-classification-of-fire-barriers/>

AIS. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente NSR-10*.

Albert Jimenez. (n.d.). *Cálculo de resistencia al fuego en estructuras (en)*. 42.

Alcazar, M. (2019). *Análisis de seguridad humana basado en desempeño en caso de incendio del edificio de la facultad de ingeniería de la universidad de costa rica*.

Apta. (2005). *APTA*. 2–7.

Blanc, C. M., & Navarro, I. F. (2017). *El Diseño Basado en Prestaciones frente al Incendio de las Estructuras de Edificación Fire Performance-Based Design of Building Structures*. 69.

C, M. B., & I, F. N. (2017). *El Diseño Basado en Prestaciones frente al Incendio de las Estructuras de Edificación Fire Performance-Based Design of Building Structures*. 69.

Cervera, M. L. (2004). (*CALIBRATION OF THE EQUIVALENT TIME OF FIRE EXPOSURE ACCORDING TO THE SPANISH*.

CTE. (2006). *Documento Basico SI, Seguridad en caso de Incendio*.

Holman, J. P. (1999). *Transferencia de Calor*.

Ingenieros, S. C. de. (2020). *Anales de Ingenieria. Proteccion Contra Incendios, 948, 106*. https://sci.org.co/wp-content/uploads/2020/06/948_web.pdf

International Code Council. (2015). *International Building Code (IBC)*. www.iccsafe.org/CodesPlus

Ligan, V. (2018). *Comportamiento al fuego de edificaciones livianas con cubierta de membrana*.

Macari, R. (2015). *Criterios que determinan los requerimientos de resistencia al fuego de*

elementos estructurales.

Martinez, J. (2015). *Teoría del fuego* (BOMBEROS CEIS GUADALAJARA (ed.)).

Navarra, B. de. (2001). El fuego o combustión. In B.S (Ed.), *Manual de Extinción de incendios* (p. 11).

NFPA. (2015). *NFPA 5000*.

NFPA. (2018). *NFPA 101 Código de Seguridad Humana*.

NIST Technical Note 1681. (2010). *Best practice guidelines for structural fire resistance design of concrete and steel buildings*. <https://doi.org/10.6028/NIST.TN.1681>

Orta, B. (2010). El tiempo equivalente de exposición al fuego en un edificio histórico. *Informes de La Construcción*, 62(520), 57–66. <https://doi.org/10.3989/ic.09.060>

Real, P. V. (1993). *EN 1993-1-2 Resistance of members and connections to fire Paulo Vila Real*.

Smith, J. M. (1997). *Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química*.

ZIGURAT. (2010). B4 Protección. *Master Internacional de Estructuras Metalicas y Mixtas En Edificacion*.