



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE  
DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**TEMA**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ACERO ESTRUCTURAL  
BAJO CONDICIONES APROXIMADAS DE INCENDIO.**

**TUTOR**

**MSC. JULY ROXANA HERRERA VALENCIA**

**AUTOR**

**BRYAN MARCOS BRITO VÁSQUEZ**

**GUAYAQUIL**

**2024**

**REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**FICHA DE REGISTRO DE TESIS**

**TÍTULO Y SUBTÍTULO:**

Evaluación del comportamiento del acero estructural bajo condiciones aproximadas de temperaturas de incendio.

**AUTOR/ES:**

Brito Vásquez Bryan Marcos

**TUTOR:**

MSc. Herrera Valencia July Roxana

**INSTITUCIÓN:**

**Universidad Laica Vicente  
Rocafuerte de Guayaquil**

**Grado obtenido:**

Ingeniero Civil.

**FACULTAD:**

INGENIERÍA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN

**CARRERA:**

INGENIERÍA CIVIL

**FECHA DE PUBLICACIÓN:**

2024

**N. DE PÁGS:**

101

**ÁREAS TEMÁTICAS:** Arquitectura y Construcción

**PALABRAS CLAVE:** Incendio, acero, edificación.

**RESUMEN:**

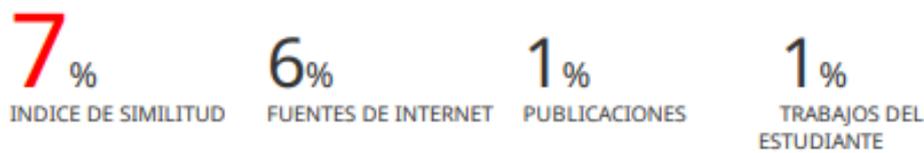
El estudio aborda la evaluación del comportamiento del acero estructural en condiciones de incendio, reconociendo la importancia de entender cómo el calor afecta negativamente a las estructuras metálicas en edificaciones, poniendo en riesgo su integridad y la seguridad de las personas. Se destaca la relevancia de investigar los efectos del fuego en las conexiones metálicas y se menciona la fatiga térmica como una consecuencia común en estos escenarios. La formulación del problema se centra en identificar los cambios en el comportamiento del acero durante un incendio. El objetivo general es inspeccionar este comportamiento mediante el análisis de muestras para extrapolar los resultados a situaciones reales. Se establecen objetivos específicos que incluyen determinar parámetros teóricos, revisar métodos de ensayo, cotizar aceros locales y establecer lineamientos para la protección contra incendios. La hipótesis plantea que comprender el comportamiento del acero en tales condiciones facilitará la implementación de medidas preventivas. El enfoque de la investigación es cualitativo, utilizando la revisión documental y técnicas de muestreo no probabilístico. Se describe el desarrollo del estudio, incluyendo la revisión documental y la indagación de costos de materiales. Los resultados se centran en discutir los temas relevantes identificados en la investigación, destacando la importancia de comprender los parámetros del acero en condiciones de incendio y su relación con la protección contra incendios en edificaciones.

<b>N. DE REGISTRO (en base de datos):</b>	<b>N. DE CLASIFICACIÓN:</b>	
<b>DIRECCIÓN URL (Web):</b>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<b>SI</b> <input checked="" type="checkbox"/>	<b>NO</b> <input type="checkbox"/>
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b> Brito Vásquez Bryan Marcos	<b>Teléfono:</b> 0960228921	<b>E-mail:</b> bbritov@ulvr.edu.ec
<b>CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:</b>	<p>PhD. Marcial Calero Amores (Decano (e).de la facultad de Ingeniería, Industria y Construcción. Teléfono: (04) 2596500 Ext.241 Email: <a href="mailto:mcaleroa@ulvr.edu.ec">mcaleroa@ulvr.edu.ec</a></p> <p>Mgtr. Eliana Contreras Jordán (Directora (e). de la Facultad De ingeniería, Industria y Construcción. Teléfono: (04) 2596500 Ext.242 Email: <a href="mailto:econtrerasj@ulvr.edu.ec">econtrerasj@ulvr.edu.ec</a></p>	

## CERTIFICADO DE SIMILITUD

### EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ACERO ESTRUCTURAL BAJO CONDICIONES APROXIMADAS DE INCENDIO.

#### INFORME DE ORIGINALIDAD



#### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>pt.slideshare.net</b> Fuente de Internet	<1 %
<b>2</b>	<b>Submitted to Universidad TecMilenio</b> Trabajo del estudiante	<1 %
<b>3</b>	<b>ingenieriamecanica.cujae.edu.cu</b> Fuente de Internet	<1 %
<b>4</b>	<b>Carmen Anaya-Aguilar, Manuel Suárez-Cebador, Juan Carlos Rubio-Romero, Rosa Anaya-Aguilar. "Expert perspective on health and safety determinants in wineries", Work, 2022</b> Publicación	<1 %
<b>5</b>	<b>Submitted to Universidad Francisco de Vitoria</b> Trabajo del estudiante	<1 %
<b>6</b>	<b>Submitted to Universidad Internacional Isabel I de Castilla</b> Trabajo del estudiante	<1 %

Excluir citas      Apagado  
Excluir bibliografía      Apagado

Excluir coincidencias      Apagado

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El estudiante egresado **BRYAN MARCOS BRITO VÁSQUEZ**, declaro bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, **Evaluación del comportamiento del acero estructural bajo condiciones aproximadas de temperaturas de incendio**, corresponde totalmente a el suscrito y me responsabilizo con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor(es)

Firma:



**BRYAN MARCOS BRITO VÁSQUEZ**

C.I.: 0950430397

## CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación **Evaluación del comportamiento del acero estructural bajo condiciones aproximadas de temperaturas de incendio**, designado por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

### **CERTIFICO:**

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: **Evaluación del comportamiento del acero estructural bajo condiciones aproximadas de temperaturas de incendio**, presentado por el estudiante **BRYAN MARCOS BRITO VÁSQUEZ** como requisito previo, para optar al Título de **INGENIERO CIVIL**, encontrándose apto para su sustentación.

Firma:

MSC. JULY ROXANA HERRERA VALENCIA

C.I. 0916201569

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias a Dios y a mis padres por darme la oportunidad de ir a la universidad y haberme permitido formarme como profesional, gracias a los docentes responsables de realizar su pequeño aporte, que hoy se ve reflejado en la culminación de mi paso por la universidad.

Quisiera expresar mi sincero agradecimiento a mi directora de tesis, la Msc. July Herrera Valencia, por su orientación experta, apoyo constante y dedicación durante todo el proceso de investigación. Su profundo conocimiento y perspicacia fueron fundamentales para dar forma a este trabajo.

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mi familia, en especial a mis hermanas pequeñas, deseando ser un ejemplo para ellas para que cumplan sus metas, que logren ser unas excelentes profesionales y así poder retribuir a nuestros padres todo el amor, apoyo incondicional y sacrificios que hacen posible para alcanzar nuestras metas. Su constante aliento y confianza en mí han sido mi mayor motivación a lo largo de este camino académico.

## RESUMEN

El estudio aborda la evaluación del comportamiento del acero estructural en condiciones de incendio, reconociendo la importancia de entender cómo el calor afecta negativamente a las estructuras metálicas en edificaciones, poniendo en riesgo su integridad y la seguridad de las personas. Se destaca la relevancia de investigar los efectos del fuego en las conexiones metálicas y se menciona la fatiga térmica como una consecuencia común en estos escenarios. La formulación del problema se centra en identificar los cambios en el comportamiento del acero durante un incendio. El objetivo general es inspeccionar este comportamiento mediante el análisis de muestras para extrapolar los resultados a situaciones reales. Se establecen objetivos específicos que incluyen determinar parámetros teóricos, revisar métodos de ensayo, cotizar aceros locales y establecer lineamientos para la protección contra incendios. La hipótesis plantea que comprender el comportamiento del acero en tales condiciones facilitará la implementación de medidas preventivas. El enfoque de la investigación es cualitativo, utilizando la revisión documental y técnicas de muestreo no probabilístico. Se describe el desarrollo del estudio, incluyendo la revisión documental y la indagación de costos de materiales. Los resultados se centran en discutir los temas relevantes identificados en la investigación, destacando la importancia de comprender los parámetros del acero en condiciones de incendio y su relación con la protección contra incendios en edificaciones.

Palabras Claves – Incendio, acero, edificación

## **ABSTRACT**

The study addresses the evaluation of structural steel behavior in fire conditions, recognizing the importance of understanding how heat negatively affects metal structures in buildings, putting their integrity and safety of people at risk. The relevance of investigating the effects of fire in metal connections is highlighted and thermal fatigue is mentioned as a common consequence in these scenarios. The formulation of the problem focuses on identifying changes in steel behavior during a fire. The general objective is to inspect this behavior through the analysis of samples to extrapolate the results to real situations. Specific objectives are established that include determining theoretical parameters, reviewing test methods, quoting local steels and establishing guidelines for fire protection. The hypothesis states that understanding the behavior of steel under such conditions will facilitate the implementation of preventive measures. The research approach is qualitative, using documentary review and non -probabilistic sampling techniques. The development of the study is described, including the documentary review and the investigation of material costs. The results focus on discussing the relevant issues identified in the investigation, highlighting the importance of understanding the steel parameters in fire conditions and their relationship with fire protection in buildings.

Keywords - Fire, Steel, Building

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL .....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
1.1 Tema: .....	3
1.2 Planteamiento del Problema: .....	3
1.3 Formulación del Problema: .....	4
1.4 Objetivo General .....	4
1.5 Objetivos Específicos .....	4
1.6 Hipótesis.....	5
1.7 Línea de Investigación Institucional / Facultad. ....	5
CAPÍTULO II.....	6
2.1 Marco Teórico .....	6
2.1.1 Antecedentes .....	6
2.1.2 Conductividad Térmica del Acero .....	16
2.1.3 Seguridad Contra Incendios en Edificaciones .....	23
2.1.4 Diseños Constructivos Orientados a la Prevención de Incendios.....	36
2.1.5 Planes de Emergencia y Evacuación contra Incendios .....	43
2.2 Marco Legal.....	49
2.2.1 Constitución del Ecuador.....	49
2.2.2 Reglamento De Prevención, Mitigación Y Protección Contra Incendios... 50	
2.2.3 Norma Ecuatoriana de la Construcción – Código NEC – HS - CI. ....	51
CAPÍTULO III.....	53
3.1 Enfoque de la investigación .....	53
3.2 Alcance de la investigación.....	54
3.3 Técnicas e Instrumentos para Obtener los Datos .....	55
3.3.1 Operacionalización de las Variables .....	55
3.3.2 Revisión Documental.....	55
3.4 Población y muestra.....	56
3.4.1 Definición de la Población .....	56
3.4.2 Definición de la Muestra .....	56
3.5 Tipos de Muestreo.....	57
3.6 Desarrollo de la Revisión Documental.....	58
3.7 Desarrollo del Trabajo de Campo – Indagación de Costos .....	58
3.7.1 Proveedores Locales – Guayaquil .....	59
	XI

CAPÍTULO IV.....	61
4.1 Presentación y Análisis de Resultados.....	61
4.1.1 Resultados de la Revisión Documental .....	61
4.1.2 Resultados del Trabajo de Campo .....	80
4.2 Propuesta .....	82
4.2.1 Informe de Buenas Prácticas Constructivas Enfocadas a la Protección Contra Incendios .....	82
CONCLUSIONES .....	84
RECOMENDACIONES.....	85
Referencias.....	86

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Línea de investigación.....	5
Tabla 2: Porcentajes de variación del esfuerzo máximo y esfuerzo de fluencia. ....	8
Tabla 3: Clase de fuego y agente extintor aplicable. ....	26
Tabla 4: Exigencias del DB SI para un levante.....	30
Tabla 5: Operacionalización de las Variables.....	55
Tabla 6: Población y muestra. ....	56
Tabla 7: Guía de revisión documental. ....	58

### ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Comparación entre resultados numéricos y experimentales. ....	18
Ilustración 2: Gráfico de accesibilidad y seguridad humana en las Residencias Estudiantiles del Campus Tecnológico local San Carlos.....	28
Ilustración 3: Pasos del diseño de presurización de escaleras. ....	38
Ilustración 4: Análisis FODA producido para el diagnóstico. ....	49
Ilustración 5: Zonificación del Sondeo de Precios en Zona Industrial.....	59
Ilustración 6: Diagrama esfuerzo vs deformación para el acero en función de la temperatura.....	62
Ilustración 7: Factores de reducción para la resistencia a la compresión residual del concreto y para el flujo de acero después del enfriamiento. ....	66
Ilustración 8: Propiedades mecánicas del acero. ....	68
Ilustración 9: Aplicación de mortero proyectado sobre viga metálica. ....	72
Ilustración 10: Curva tiempo vs temperatura. ....	77
Ilustración 11: Cotización acero A36 calidad estructural - Empresa Megametales. .	80
Ilustración 12: Cotización acero A36 calidad estructural - Empresa Hidelec.....	81

## INTRODUCCIÓN

La evaluación del comportamiento del acero estructural bajo condiciones aproximadas de temperaturas de incendio resulta muy importante para prevenir accidentes y pérdidas tanto personales como materiales. Por ello en la presente investigación se plantea que las estructuras metálicas en edificaciones pueden ser afectadas negativamente por el calor emanado durante un incendio, lo que puede provocar deformaciones y pérdida de resistencia en el acero estructural, aumentando el riesgo de colapso de la estructura. Se destaca la importancia de estudiar los efectos del incendio en las conexiones metálicas y se menciona la fatiga térmica como una falla común en estructuras metálicas durante un incendio. La ausencia de recubrimientos ignífugos puede agravar la situación. La formulación del problema se centra en identificar los cambios en el comportamiento estructural del acero durante un incendio. El objetivo general del estudio es inspeccionar el comportamiento del acero estructural bajo condiciones de temperaturas aproximadas de incendio mediante el análisis de muestras de acero para generalizar los resultados a condiciones reales. Los objetivos específicos incluyen determinar los parámetros teóricos asociados al comportamiento mecánico del acero, revisar los métodos de ensayo al acero estructural, cotizar los aceros estructurales en el ámbito local y establecer lineamientos de mejora en las edificaciones para la protección contra incendios. La hipótesis plantea que el análisis del comportamiento mecánico del acero en condiciones de temperaturas de incendio facilitará la implementación de medidas de protección contra incendios.

El presente texto aborda el enfoque, alcance y desarrollo de la investigación sobre el comportamiento del acero estructural bajo condiciones de incendio. Se establece que el enfoque de la investigación fue cualitativo, utilizando la revisión documental para indagar sobre los parámetros teóricos y los métodos de ensayo más adecuados. Se mencionan estudios previos que resaltan la importancia y características de la investigación cualitativa. El alcance de la investigación se define como descriptivo, centrándose en caracterizar los efectos del incendio en el acero estructural. Se proporcionan definiciones y aclaraciones sobre la revisión documental, la población y la muestra, así como sobre los tipos de muestreo utilizados en el estudio. Se describe el desarrollo de la revisión documental y el

trabajo de campo realizado para indagar los costos de los materiales necesarios para los ensayos empíricos, destacando la importancia de esta información dada la variabilidad en las condiciones de los incendios y las edificaciones.

En los resultados se discutieron los principales temas referentes a las variables de investigación determinadas. Se realizó una revisión exhaustiva de los trabajos realizados para determinar los parámetros de comportamiento mecánico del acero bajo condiciones de incendio, al tiempo que se verificaron trabajos en el campo de la protección contra incendios y cómo afectan estos últimos a las estructuras de las edificaciones.

# CAPÍTULO I

## ENFOQUE DE LA PROPUESTA

### 1.1 Tema:

Evaluación del comportamiento del acero estructural bajo condiciones aproximadas de temperaturas de incendio

### 1.2 Planteamiento del Problema:

Las estructuras metálicas en edificaciones pueden verse afectadas negativamente por los efectos de un incendio. El calor emanado por las llamas en la gran mayoría de los casos actúa sobre el acero estructural dada la capacidad de transmisión de calor que tiene este último. En dicho sentido, el calor, al constituir una gran fuente de energía puede provocar que el metal sufra deformaciones y se torne más maleable. Considerando que dentro de una construcción el acero estructural es el componente constituyente de los elementos estructurales como columnas y vigas; y que estos a su vez reciben las cargas del edificio, se genera un alto riesgo de que el metal debilitado por la presencia de calor pierda su capacidad portante y por lo tanto colapse la estructura.

Entre las posibles consecuencias de la acción del calor de un incendio sobre los aceros estructurales están las afectaciones sobre parámetros de comportamiento mecánico como, por ejemplo, la pérdida de resistencia estructural dado que esta se produce gradualmente a temperaturas elevadas. Otra afectación por la influencia del incendio es la deformación puesto que el metal expuesto al fuego se expande provocando la inestabilidad de la estructura.

Por otro lado, dentro del estudio de las estructuras metálicas existen apartados dedicados especializadamente al diseño de conexiones. Esto denota la importancia que las conexiones metálicas tienen dentro del ámbito estructural y, por lo tanto, resulta importante estudiar los efectos de un incendio sobre estas. El calor puede debilitar las conexiones metálicas usualmente unidas mediante soldaduras y/o remaches.

La fatiga térmica es una falla muy común en estructuras metálicas durante un incendio. Esta situación negativa, además, se combina con otros factores propios de la naturaleza del material y es que el metal de por sí es un gran conductor del calor. Esto puede provocar que el fuego se expanda a otras zonas del edificio que en principio no se encontraban afectadas.

Las circunstancias suelen agravarse ante la ausencia de recubrimientos ignífugos destinados a retrasar el calentamiento de la estructura metálica, es decir, estos recubrimientos ayudan a los edificios a mantener su integridad estructural por periodos más largos de tiempo.

### **1.3 Formulación del Problema:**

¿Qué tipo de cambios en el comportamiento estructural del acero debilitan las estructuras durante un incendio?

### **1.4 Objetivo General**

Inspeccionar el comportamiento del acero estructural bajo condiciones de temperaturas aproximadas de incendios mediante el análisis de muestras de acero para la generalización de los resultados a condiciones reales.

### **1.5 Objetivos Específicos**

- Determinar los parámetros teóricos asociados al comportamiento mecánico del acero estructural mediante una revisión bibliográfica para su análisis en condiciones de altas temperaturas. (revisión bibliográfica del acero estructural bajo condiciones térmicas)
- Revisar los métodos de ensayo al acero estructural mediante una búsqueda bibliográfica para la replicación empírica de dichos ensayos. (revisión bibliográfica de ensayos al acero estructural)
- Cotizar los aceros estructurales en el ámbito local mediante la indagación de campo para la elección del material acerado más adecuado en lo técnico-económico. (cotizar aceros estructurales)
- Establecer lineamientos de mejora en las edificaciones mediante un informe de prácticas para la protección contra incendios.

## 1.6 Hipótesis

El análisis del comportamiento mecánico del acero estructural en condiciones de temperaturas aproximadas de incendio facilitará la implementación de medidas de protección contra incendios.

## 1.7 Línea de Investigación Institucional / Facultad.

Tabla 1: Línea de investigación.

<b>Dominios ULVR</b>	<b>Línea de Investigación Institucional</b>	<b>Línea de Investigación Facultad</b>	<b>Sub-línea de Investigación Facultad</b>
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables	Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción	Técnica, Tecnología e Innovación	Prevención de Riesgos Laborales

Fuente: Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil (2024).

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO REFERENCIAL**

#### **2.1 Marco Teórico**

##### **2.1.1 Antecedentes**

Espín, S. & Guamanquispe, F. (2022) explicaron en su trabajo la relevancia de las estructuras metálicas en el ámbito de la construcción, ya que poseen propiedades mecánicas destacadas y permiten agilizar considerablemente el proceso constructivo. En el diseño de estructuras metálicas, es importante destacar que la protección contra incendios es una necesidad primordial. Aunque el acero no se queme, es un conductor de calor y puede ir perdiendo su resistencia gradualmente ante altas temperaturas.

El comportamiento de los aceros cuando se exponen a diferentes temperaturas y tiempos durante un incendio tiene especial interés dentro de la ingeniería y la prevención de riesgos. Después de un incendio, se ha observado que las propiedades mecánicas del acero experimentan cambios. Estos cambios se determinan a través de ensayos metalográficos realizados en las muestras. En base a las normativas ISO y ASTM, se establece una curva de temperatura para seguir durante un incendio. Dicha curva indica que la temperatura aumenta de manera significativa en los primeros minutos del fuego, y a partir de los 300°C, el acero empieza a perder gradualmente su resistencia. Finalmente, a los 550°C, se estima que el acero conserva aproximadamente el 60% de su resistencia inicial.

En la actualidad, es preocupante la ausencia de normativas específicas para el diseño y construcción de edificaciones contra incendios. Esto supone un peligro para las personas que ocupan dichas estructuras. Según la normativa NEC, el incendio se considera como una carga accidental, sin embargo, no se incluyen procedimientos de diseño estructural para solucionar este problema.

En sus conclusiones los autores trataron sobre el comportamiento del acero ante altas temperaturas. Hicieron hincapié en que, aunque el acero no es

inflamable, sus características se modifican cuando se expone a temperaturas por encima de los 600°C. Sin embargo, en este estudio en particular, el acero no alcanzó una fase crítica de martensita debido a que la velocidad de enfriamiento no fue lo bastante rápida.

También hicieron mención de la existencia de ensayos destructivos y no destructivos que son utilizados para analizar el comportamiento del material después de haber sido expuesto a altas temperaturas. Los ensayos llevados a cabo tuvieron como objetivo determinar la resistencia, dureza y características observadas a través de la microscopía del acero.

Según los autores a medida que la temperatura a la que se expone el acero aumenta, pierde su habilidad para fluir. En concreto, a 1000°C, su capacidad de fluencia disminuye aproximadamente en un 96%, lo que resulta en su transformación en un material plástico. No obstante, en el estudio realizado se logró evitar la deformación total gracias al enfriamiento rápido con agua.

Se pudo notar que a una temperatura de 600°C, la resistencia del acero es prácticamente la misma que antes de haber sido expuesto al calor. Sin embargo, a temperaturas de 800°C y 1000°C, la resistencia aumento un 10% en comparación con su resistencia original, debido al incremento en la temperatura. A pesar de la falta de un enfriamiento rápido, el acero no experimenta un cambio de fase crítica.

Bespin, A. et al. (2018) realizaron una investigación sobre el efecto del fuego sobre el acero de refuerzo en estructuras de hormigón armado. Particularmente, cuando el calor se transmite a través del recubrimiento de hormigón y alcanza la armadura de acero, altera sus principales propiedades físico – mecánicas debido a las grandes temperaturas. Además, dijeron que el buen desempeño estructural pudiere verse seriamente afectado por la exposición de la estructura al fuego durante un incendio puesto que sus parámetros mecánicos sufren modificaciones tales como deformaciones debidas a diferenciales térmicos.

Los autores definieron a las losas y especialmente las losas nervadas como

los elementos más vulnerables frente al fuego de una edificación. Básicamente, por su característica esbeltez en el recubrimiento, es decir, son las que menos recubrimiento poseen sobre el acero de refuerzo. Esto se conoce como aislamiento ignífugo. En este sentido, dijeron, la principal propiedad a considerar del acero de refuerzo es su capacidad de resistir los esfuerzos de tracción. Por ello, los autores declararon la importancia de estudiar su comportamiento bajo la acción de cualquier tipo que pudiera afectarlo.

Se realizaron ensayos a tracción de probetas extraídas de losas que previamente fueron sometidas al fuego y probetas directamente expuestas al fuego con el fin de realizar una comparativa y estudiar el comportamiento del acero estructural durante un incendio. De esta forma, lograron obtener los siguientes resultados:

Tabla 2: Porcentajes de variación del esfuerzo máximo y esfuerzo de fluencia.

Probetas	$F_{su}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$F_y$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_c$ variación $F_{su}$	$\sigma_c$ variación $F_y$
PA-PB-PC	7696,75	4933,33		
P1A-P1B-P1C	7736,22	4983,33	0,51	1,01
P3A-P3B-P3C	7736,22	4955,00	0,51	0,44
P5A-P5B-P5C	7696,75	4983,33	0,00	1,01

Fuente: Bepin, A. et al. (2018).

El propósito de Sempere, J. (2021) fue construir un edificio para el estacionamiento y mantenimiento de una flota de aviones compuesta por tres aeronaves BOMBARDIER GLOBAL 6000. En adición, el edificio contaría con una zona administrativa, donde se ubicarían las oficinas y las instalaciones requeridas para una terminal privada. Con esto se lograría unificar dos funciones distintas en una única edificación. Esta investigación fue relevante para conocer el rol de las medidas de protección contra incendios y cómo se incluyen estas desde la planificación en la construcción.

En la zona destinada a fines administrativos se ubicarían instalaciones para un hangar privado, así como oficinas y espacios de reunión distribuidos en tres

plantas. Mientras, la zona de uso industrial está diseñada específicamente como un hangar para albergar los tres aviones. Además, contaba con almacenes, un taller general y locales destinados a las instalaciones del edificio. Esta información contextual de la investigación fue relevante puesto que la estructura se llevó a cabo mediante el uso de pórticos rígidos metálicos y cerchas de canto variable, utilizando perfiles de acero normalizado.

En relación a los materiales empleados, se optó por el acero S275 para los elementos principales como pilares y cerchas, mientras que se utilizó acero conformado en frío S235 para los elementos secundarios. La construcción de la cubierta se realizó utilizando una chapa metálica que se anclaba mecánicamente a la estructura. Además, se incluyó un aislamiento termoacústico para mejorar el confort y se finalizó con un acabado impermeabilizante para evitar filtraciones de agua y garantizar la protección del interior. La utilización de tornillos resistentes y de alta calidad permitió agilizar los procesos de montaje y promover una construcción de mayor calidad, evitando así la necesidad de realizar soldaduras en el lugar de trabajo.

La instalación contra incendios en el edificio cumplió con las normativas tanto de edificación (CTE DB-SI) como de industria (RSCIEI). En el hangar, se cuenta con un grupo de presión que está compuesto por bombas diésel, bombas eléctricas y una bomba jockey. Estas bombas se abastecen de agua con espumógeno AFFF al 3% proveniente de un depósito exterior ubicado bajo tierra, con una capacidad de 55 m<sup>3</sup>. El propósito de este sistema era el de suministrar agua con espumógeno a las redes de bocas de incendio equipadas y a los rociadores presentes en el hangar.

En las rutas de evacuación se instalarían extintores de polvo químico, colocados a una distancia de 15 metros entre cada uno. Mientras tanto, en los cuartos que tengan equipamiento eléctrico se colocarían extintores de CO<sub>2</sub>. En la zona central del hangar, se implementaría el uso de extintores montados en carros que contienen 50 kg de polvo extintor polivalente. También se implementaría una señalización estándar para señalar las salidas de emergencia y los dispositivos de

extinción de incendios.

En el edificio, se instalaría un sistema de detección y alarma de incendios compuesto por detectores de humo en las salas y detectores por aspiración en el hangar y el falso techo de las oficinas. Además, el edificio se dividió en cuatro zonas distintas de uso: una para actividades industriales como hangares, mantenimiento, almacenamiento y vestuarios; otra para actividades administrativas como recepción, filtro y oficinas; también contó con salas de reuniones y un comedor para el personal.

En la zona industrial se implementaría el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales (RSCIEI), mientras que en la zona administrativa se seguirían las normativas establecidas por el Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio (CTE DB-SI). No fue necesario hacer una sectorización en las salas de reuniones y el comedor, ya que se encuentran dentro de la zona administrativa y no sobrepasan los límites establecidos.

Figuera, O. (2020) explicó que a nivel global actualmente se han logrado avances significativos en el diseño de estructuras de acero para resistir incendios, determinando las dimensiones adecuadas de estos elementos mediante análisis térmicos y estructurales. Aunque el acero es considerado incombustible, se deben tomar medidas para prevenir daños estructurales por incendio.

El marco normativo del país donde se desarrolló la investigación del autor cuenta con regulaciones como la NSR-10, RETIE y NTC que abordan el diseño frente a incendios en estructuras. La normativa internacional, especialmente la NFPA (National Fire Protection Association), ha influido en la creación de normativas locales para la prevención de incendios. La participación de las compañías de seguros es crucial para promover el cumplimiento de normas y mejorar la calidad de las construcciones.

En la parte meramente técnica, a pesar de las ventajas mecánicas del acero, su resistencia disminuye significativamente bajo la acción del fuego debido a su alta

conductividad térmica, lo que genera un deterioro en la estructura, dependiendo de la severidad y duración del incendio. En ese sentido, la preservación de la vida de los ocupantes exige que se desarrollen alternativas de protección contra incendios, independientemente del material de construcción. Esto implica la protección de los componentes estructurales con materiales resistentes al fuego para retrasar el aumento de la temperatura, lo que a su vez permite una evacuación más segura y el rescate de las personas.

En nuestros días, se ha vuelto más frecuente el empleo del acero en el diseño de estructuras de construcciones. Para el caso colombiano la regulación de diseño y construcción recae en la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, que se encarga de establecer requisitos mínimos para la protección contra incendios a través del Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-10. El uso de acero en la construcción brinda tanto ventajas mecánicas como arquitectónicas.

Para satisfacer los estándares colombianos, es imprescindible categorizar la construcción según la NSR-10, lo cual determinaría la duración de resistencia necesaria. Las vigas de acero no cumplen con los requisitos mínimos debido a su alta conductividad térmica cuando se encuentran solas. En Colombia, se reconocen únicamente tres opciones de protección pasiva: los recubrimientos intumescentes, los recubrimientos con morteros especiales y los paneles de yeso o de lana mineral.

Por otro lado, sí es posible lograr un diseño estructural óptimo que cumpla con los requisitos de protección contra incendios sin incrementar considerablemente la carga o los costos, a través de un minucioso análisis. La opción más recomendada para la protección ha sido utilizar pinturas intumescentes, las cuales no necesitan de trabajadores altamente capacitados y permiten un fácil control del grosor de las capas. También, en Colombia, distintas empresas proporcionan opciones con variados niveles de resistencia en tiempo y modos de aplicación, otorgando flexibilidad al usuario con base en sus necesidades.

Torres, F. & Torres, N. (2018) abordaron los requerimientos de seguridad

estructural que deben ser cumplidos en la edificación de inmuebles en Colombia, particularmente aquellos destinados a albergar una amplia cantidad de individuos, como hogares, establecimientos comerciales o zonas recreativas. La principal meta es asegurar la conservación de las vidas en caso de un incendio.

Para lograr este propósito de resistir altas temperaturas causadas por el fuego, es necesario cumplir con ciertos estándares establecidos en el Reglamento de Construcciones Sismorresistentes NSR-10. Se ha requerido que los diseñadores y constructores utilicen soluciones basadas en cálculos analíticos o criterios preestablecidos. También ha sido importante tener un conocimiento básico acerca de cómo la estructura reacciona al calor durante un incendio, ya que esto afectaría tanto a los materiales de construcción como a la respuesta de la estructura a cambios de temperatura extremos.

La protección contra incendios se clasifica en dos categorías: La protección activa implica instalar mecanismos automáticos para detectar y extinguir incendios, como detectores de humo con alarmas audibles, sistemas de extinción con productos químicos, rociadores automáticos de agua o espuma, entre otros. Las protecciones activas están principalmente relacionadas con las instalaciones de extinción de incendios.

La protección pasiva implica el uso de materiales y sistemas constructivos que, al ser diseñados, previenen la generación y difusión del fuego, preservan los componentes de los edificios de las altas temperaturas durante un incendio y ayudan a extinguirlo. Además, se implementarán acciones para asegurar que las personas puedan ser evacuadas de manera segura en caso de incendio. Estas medidas incluyen la creación de rutas de escape seguras y garantizar la estabilidad estructural. También se toman medidas para retrasar y limitar la acción del fuego, evitando su rápida propagación y protegiendo otras áreas.

Además, el contenido del autor abordó las distintas metodologías utilizadas en el diseño estructural en situaciones donde se presentan altas temperaturas debido a incendios. Las metodologías mencionadas son similares al diseño

estructural para condiciones de temperatura ambiente, pero se vuelven más complicadas debido a factores adicionales, como las fuerzas generadas por la dilatación térmica y la disminución de la capacidad estructural debido a las altas temperaturas y las grandes deflexiones.

El objetivo del diseño estructural completo para condiciones de incendio basado en el rendimiento es alcanzar una respuesta estructural eficiente frente a las cargas y esfuerzos generados durante un incendio. Este enfoque exige que el equipo de diseño tenga un nivel de experiencia en ingeniería considerablemente superior al del diseño prescriptivo tradicional. A pesar de que puede incrementar los gastos de diseño, en general, esto conlleva a ahorros notables al cumplir con los niveles de seguridad necesarios utilizando alternativas más rentables.

Desde un punto de vista normativo, la gran parte de los análisis estructurales han estado sujetos a regulaciones establecidas en los códigos internacionales, ya sean de América o Europa (que se basan en las Normas Sísmicas Revisadas de 2010 - NSR-10). En consecuencia, se debe llevar a cabo el análisis de acuerdo con las pautas y metodologías establecidas en dichos códigos.

El autor también enfatizó la importancia de asegurar la resistencia estructural de los elementos en las edificaciones con el fin de prevenir el colapso en caso de incendio. Para lograr este objetivo, es esencial garantizar que los elementos estructurales conserven una capacidad portante adecuada durante todo el tiempo que dure el incendio. Básicamente, si en algún momento durante el incendio la carga aplicada excede la capacidad portante de la estructura, se producirá un colapso.

La caída de un solo elemento en una construcción sencilla puede llevar al derrumbe de toda la estructura. Sin embargo, en situaciones donde las estructuras se vuelven más complejas, puede ocurrir que la estructura sea capaz de sobrevivir a un incendio, incluso si uno o más elementos han perdido su capacidad de carga. La posibilidad de esto se ha atribuido a las fuerzas internas generadas por la dilatación térmica y las interacciones entre los elementos.

Al diseñar estructuras para situaciones de incendio, es fundamental asegurarse de que la resistencia de la estructura o de sus componentes supere la severidad del incendio al que se enfrenta. La verificación se fundamenta en la ecuación de diseño.

La resistencia al fuego  $\geq$  la severidad del incendio

La capacidad de la estructura para resistir el colapso se conoce como resistencia al fuego. Por otro lado, la severidad del incendio es una medida del potencial destructivo que podría ocasionar el derrumbe de la estructura.

La resistencia estructural al fuego se determina según el tiempo en el que un elemento cumple con ciertos criterios durante una prueba estándar de resistencia al fuego. La capacidad de resistencia al fuego de un elemento también puede ser descrita en cuanto a su temperatura crítica o su capacidad máxima para soportar un incendio.

La resistencia al fuego de un elemento es una clasificación que se le otorga para compararlo con la severidad del incendio establecida en las normas o códigos de diseño. Existen múltiples factores que determinan el nivel de resistencia al fuego, entre ellos se encuentran la gravedad del incendio, las características geométricas del material, el grado de libertad y las cargas ejercidas durante el siniestro.

Los ensayos de resistencia al fuego no se centran en simular incendios reales, sino en ofrecer un método estándar para comparar la resistencia de diversos tipos de estructuras. Con el fin de determinar la resistencia al fuego de una estructura, se llevan a cabo pruebas en diferentes elementos o componentes que representan a edificaciones. En los edificios reales, este grado se asigna a estructuras similares. No obstante, existen notables disparidades entre los ensayos y los incendios reales en cuanto a su magnitud, la cantidad de carga aplicada, las condiciones periféricas y la naturaleza del fuego. En estos ensayos, enfrentamos un desafío crucial: la aplicación de cargas. Los elementos deben ser sometidos a cargas para evaluar cómo se comportan cuando se encuentran expuestos al fuego.

Es posible que los elementos probados sin carga no ofrezcan resultados confiables, ya que no reflejan cómo se deforman debido al incendio. Durante un incendio real, la carga aplicada puede tener un efecto crucial en el rendimiento y la capacidad de soporte de un elemento estructural.

En síntesis, el trabajo del autor examinó el comportamiento de los materiales estructurales en situaciones de incendio a altas temperaturas. Es de vital importancia entender cómo distintos materiales empleados en la construcción, tales como la piedra, madera, acero, concreto y cerámica, se comportan al ser expuestos a temperaturas elevadas. Cuando los materiales carecen de protección o revestimiento, se vuelven especialmente susceptibles al fuego. Un ejemplo de esto es el acero, que puede perder rápidamente su resistencia y colapsar si se expone a temperaturas de incendio mientras soporta cargas.

A medida que las temperaturas suben, los materiales pueden sufrir diversos comportamientos negativos, como la expansión excesiva y la deformación plástica progresiva. No obstante, los parámetros de diseño para altas temperaturas son análogos a los empleados en temperaturas estándar. Además, se resaltan los impactos particulares en el acero estructural, un material muy empleado en la industria de la construcción. En situación de incendio, el acero puede perder su resistencia debido a su capacidad para conducir el calor, lo que resulta en deformaciones y fallas en la carga, pudiendo llevar a la ruina de los elementos estructurales.

De la Herrán Souto et al. (2019) elaboraron un manual en el cual trataron sobre la clasificación de las instalaciones industriales según sus tipos de peligros y la aplicación de sistemas de protección activa y pasiva contra incendios. La clasificación se realizó según la estructura y la categoría o zona de incendio, las instalaciones se dividieron en tipos A, B, C, D y E. Los niveles de riesgo son alto (industria química, talleres, plantas de pintura), medio y leve.

Se describieron sistemas activos como detección, alerta temprana, señalización y extinción del incendio, así como presión de los botiquines de

escalera. Además, se mencionaron los sistemas de evacuación y contención de incendios, abarcando áreas como el ancho mínimo de pasillos y escaleras, materiales de construcción y materiales de prevención de incendios.

Este manual analizó las propiedades del acero estructural en zonas de incendio. Algunas de estas propiedades fueron la no inflamabilidad del hierro, su alto coeficiente de expansión en el calor del fuego, su conductividad térmica que permite que el fuego se propague lejos y la baja masa en comparación con otros materiales de construcción. La definición fue que a altas temperaturas el acero pierde su resistencia, alcanzando el 50% de su resistencia inicial a 500°C y entrando en estado plástico.

Con respecto a condiciones de incendio para estructuras de acero, se mencionaron daños normales, como la propagación del fuego por estiramiento y contacto, colapso por penetración por estiramiento de miembros horizontales, pérdida de soporte estructural y colapso de miembros de riesgo. Los autores enfatizaron en lo importante del proceso de enfriamiento después de un incendio para evitar daños. Al enfriarse, el acero recupera sus propiedades de tracción originales, sin ningún cambio de forma debido al accidente.

### **2.1.2 Conductividad Térmica del Acero**

Martínez, Y. et al. (2021) recalcaron la importancia de la simulación en la soldadura de acero, así como la necesidad de disponer de datos precisos sobre las propiedades termo-físicas y mecánicas de los materiales utilizados en los procesos de soldadura, especialmente en el caso de los aceros del tipo 2.25Cr-1Mo. La Computational Welding Mechanics (CWM) se considera una herramienta de gran utilidad en el análisis de la evolución de temperaturas, esfuerzos y deformaciones en estructuras soldadas. Además, también es capaz de estudiar la evolución de la microestructura y la distorsión.

No obstante, se han presentado dificultades al simular la soldadura debido a la carencia de información precisa sobre las propiedades termo-físicas y mecánicas

termo-dependientes de los materiales. Esto se debe a que dichas propiedades pueden cambiar en función de la composición química del material. El texto hace referencia a estudios previos que utilizan modelos de aprendizaje automático y simulación para determinar las propiedades de aceros específicos.

Se llevó a cabo un análisis de las propiedades termo-físicas y mecánicas termo-dependientes de los aceros 2.25Cr-1Mo, utilizando las composiciones proporcionadas en la literatura especializada. Para modelar estas propiedades, se hizo uso de un software y se realizaron comparaciones con datos experimentales previamente publicados. El trabajo desempeñó un papel crucial al proporcionar datos precisos para simular procesos de soldadura, lo cual mejora considerablemente la exactitud de los resultados obtenidos en estas simulaciones.

Además, en este estudio se destacó la importancia de obtener información minuciosa sobre las propiedades de ciertos materiales, con el fin de mejorar la simulación en el proceso de soldadura. Específicamente, los autores se enfocaron en aceros que presentan diferentes composiciones dentro de la misma categoría nominal. En este sentido, el estudio estuvo giró en torno a un tipo de acero con una composición nominal de 2.25% de cromo y 1% de molibdeno. Este acero se utiliza ampliamente en la industria termo-energética para fabricar y reparar tuberías de supercalentadores y calderas. En estudios anteriores se han examinado distintos factores relacionados con este tipo de acero, como el crecimiento del grano austenítico, los efectos de los tratamientos térmicos aplicados después de la soldadura y la variabilidad en la composición química del material.

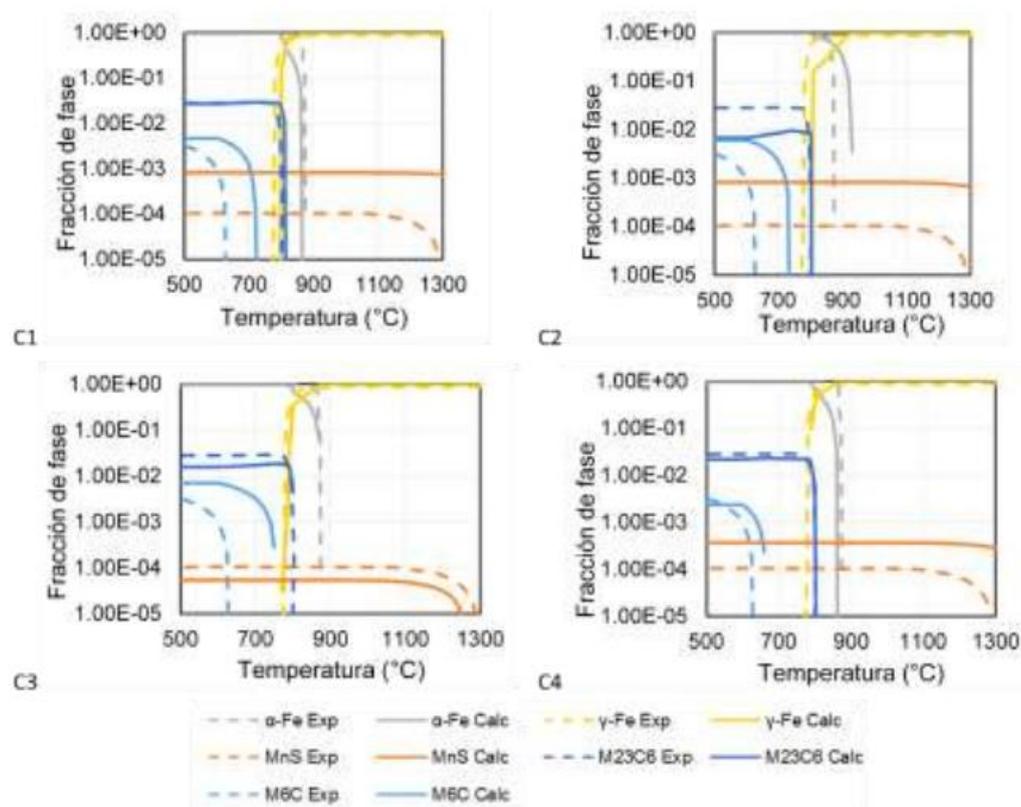
En los materiales y método se pudo evidenciar que el estudio se basó en la utilización de cuatro composiciones distintas de este acero con el fin de obtener información sobre sus características termo-físicas y mecánicas. Además, se analizaron los diagramas de Tiempo-Temperatura-Transformación (TTT) y de equilibrio de fases. Para modelar estas propiedades en función de la composición química, se utiliza un software.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se ha observado una variación en

las propiedades termo-físicas y mecánicas del acero en función de su composición. Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis del comportamiento microestructural de las distintas composiciones, considerando la formación de carburos y partículas MnS.

En síntesis, el objetivo del estudio es caracterizar y modelar las propiedades de diferentes composiciones de acero 2.25Cr-1Mo. Esto se hizo con el propósito de obtener datos precisos para simular procesos de soldadura y comprender cómo estas propiedades varían según la composición química del material. En aras de validar los resultados obtenidos, se procedió a comparar los valores numéricos obtenidos con los datos experimentales previamente registrados en la literatura científica.

Ilustración 1: Comparación entre resultados numéricos y experimentales.



Fuente: Martínez, Y. et al. (2021).

El estudio de Rincón, A. et al. (s.f.) trabajó en el diseño y construcción de equipos de laboratorio para medir la conductividad térmica de AISI SAE 1045 y 4140. El objetivo de este estudio fue realizar trabajos de laboratorio para ayudar a

los estudiantes a comprender conceptos relacionados con la conducción de calor utilizando la ley de Fourier y el calor que fue el objetivo principal del equipo.

La configuración del dispositivo constó de tres varillas metálicas cilíndricas dispuestas en serie, la varilla del extremo, hecha de cobre, fue una referencia sensorial y la tercera varilla fue un conductor térmico. El equipo utilizó una fuente de calor continua en un extremo y un disipador de calor en el otro, es decir, un nuevo proceso en fase experimental.

Las características de disipación de calor indicaron que domina el flujo de calor axial y el flujo de calor radial es insignificante debido al aislante. Estas simulaciones se utilizaron para seleccionar el tamaño de equipo adecuado, determinar la cantidad de termopares necesarios y calcular los requisitos eléctricos para las almohadillas térmicas.

El proyecto finalizó con el diseño y construcción de un banco de pruebas para medir la conductividad térmica del acero, el cual servirá para que estudiantes de ingeniería eléctrica determinen esta propiedad. El banco proporciona laboratorios de transferencia de calor y equipos de trabajo locales. El equipo fue fácil de operar y mantener, las piezas y repuestos están disponibles en los mercados locales.

En pruebas preliminares con acero AISI SAE 1045, la conductividad térmica fue diferente a los valores de referencia del fabricante. Después de muchas observaciones y conexiones, se determinó que la obtención de material de fuentes desconocidas podría afectar la validez de la prueba. Para lograr condiciones estables en el experimento, se debió instalar un sistema de calefacción para mantener la temperatura del agua en el disipador de calor a 26 °C. Sin este sistema, la temperatura del agua aumentará y el experimento no llegará al estado real. En una de las primeras pruebas se encontró que la fuente de calor no se debe sellar ni separar porque el calor se cede a la barra, lo que aumenta la temperatura y afecta el equipo de medición.

Los resultados de los programas de simulación CAD no fueron

necesariamente exactos a los resultados del programa. Existió una diferencia física como las conexiones de barras, pero en la práctica se debería buscar un análisis e investigación para encontrar la mejor manera de disponer estos elementos. Otra diferencia se encontró en la fuente de calor, que no podía operar de manera continua debido a la pérdida de energía eléctrica y otras diferencias, que afectaron la concordancia con los valores del programa del simulador.

Se recomienda mejorar los sistemas de unión encontrando métodos con mayor conductividad térmica para mejorar el tiempo de preparación de los equipos para las pruebas. Si se cambia la fuente de calor en el futuro, se recomienda no superar los 90°C. Esto se debe a que esta es la temperatura máxima de funcionamiento del termostato del sistema.

También se advirtió contra el uso del dispositivo para determinar la conductividad térmica de materiales no metálicos. Esto se debe a que hay más evidencia de estas cosas. Se recomendó que la puerta trasera esté abierta cuando el equipo esté en funcionamiento para permitir que el calor del condensador se disipe al ambiente. Todo esto fue relevante desde el punto de vista de los procedimientos para el cumplimiento del componente práctico de la experimentación con calor irradiado sobre el acero.

Camaraza, Y. (2022) analizó los problemas de costo y tiempo asociados con las pruebas experimentales para evaluar las propiedades de tracción del acero. Para evitar estas complejidades, se necesitaron modelos predictivos como redes neuronales artificiales (RNA) y métodos de elementos finitos (FEM). Sin embargo, los métodos actuales para estimar las propiedades térmicas del acero implican que sólo se puede predecir una propiedad a la vez.

Se propuso un modelo ANN para predecir la conductividad térmica del acero AISI-SAE1045 utilizando un marco estadístico bayesiano. Otros estudios se centraron en la predicción tridimensional del flujo de calor y la distribución del coeficiente de transferencia de calor en el tiempo y el espacio utilizando FEM. Se describieron diferentes enfoques y variables utilizadas, incluidos métodos de

equilibrio térmico, métodos de optimización de elementos finitos y métodos de regresión multilínea.

El autor dejó claro que en el futuro se valorará la búsqueda de modelos que tengan en cuenta la dependencia de la transferencia de calor con la temperatura, composición y otras propiedades. También señaló que, a pesar de mucha investigación, no se ha desarrollado ningún método para predecir la amplia gama de propiedades térmicas de diferentes aceros y determinar su dependencia de la composición y temperatura del acero. Además, presentó un método predictivo basado en la inducción de funciones asintóticas para estimar la resistencia eléctrica y la expansión térmica de 32 tipos de acero en el rango de temperatura de 0 °C a 800 °C.

El autor también se centró en las relaciones entre temperatura, composición y propiedades térmicas de los 32 tipos de acero AISI-SAE. Utilizó datos experimentales de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad de Khazar para ajustar y validar el modelo mediante el método de ajuste de función asintótica (APF). Aunque se realizó un análisis de resistencia eléctrica, solo se dieron ecuaciones, coeficientes y garantías para la expansión térmica lineal en su artículo debido a limitaciones de espacio.

Presentó un método predictivo para estimar la resistencia eléctrica y la expansión térmica lineal de los aceros antes mencionados en el rango de temperatura de 0°C a 800°C. El modelo ha sido validado con datos experimentales y concuerda bien con los datos seleccionados. Se mencionaron índices de dispersión y errores absolutos (MAE) para diferentes aceros y temperaturas, lo que aumentó la calidad de ajuste en casos como el acero AISI-SAE 1095. El artículo concluyó afirmando que las ideas presentadas eran nuevas para el campo porque no se podía encontrar información similar en la literatura conocida, enfatizando su contribución como innovaciones científicas al campo.

Por otra parte, Servin, R. et al. (2018) realizó un trabajo en el cual examinó el aporte de calor en el proceso de soldadura, ya que este afecta la velocidad de

enfriamiento, la microestructura final y las propiedades mecánicas de la soldadura. Se dijo que los cambios en las propiedades físicas del acero soldado dependen de cambios térmicos, como la difusividad térmica y el endurecimiento por deformación. Por esa razón documentó la relevancia de las propiedades mecánicas para el desarrollo de la ingeniería y cita ejemplos de investigaciones que utilizaron modelos de redes neuronales artificiales (RNA) para predecir propiedades como la dureza del acero a partir de su composición química.

Además, se ha sabido que está aumentando el uso de modelos y simulaciones matemáticas en la industria, con el apoyo de computadoras inteligentes y el uso de RNA como herramientas predictivas. Por ello el autor analizó el efecto del aporte de calor en el proceso de soldadura, la importancia de las propiedades mecánicas en el desarrollo tecnológico y el uso cada vez mayor de modelos ANN para predecir estas propiedades dependiendo de la composición química del material.

El estudio se dividió en cuatro fases y las actividades de cada fase se describieron en un diagrama de flujo. En el primer paso, las propiedades químicas y mecánicas del acero A-36 se examinaron y las variables de entrada fueron la tensión y la temperatura antes y después de la soldadura, y las variables de salida son la dureza de la superficie. El segundo paso fue aprender primero a soldar placas de acero A-36 de  $\frac{1}{2}$  pulgada de espesor para evaluar la dureza y la variación. La placa se preparó en 100 pares, cada uno soldado y marcado por columnas y líneas para realizar 81 transiciones. En cada transferencia se midió la planitud antes y después del contacto, la temperatura experimentada y el cambio de dureza en la escala Rockwell B (HRB) después del proceso.

Cabe señalar que se utilizó el software de capacitación para obtener datos importantes para predecir la dureza del acero A-36 cuando se suelda. Los resultados muestran la efectividad de la red neuronal artificial (RNA) con un valor de reducción de más del 90%. Se determinó que el diseño de red óptimo fue [3,15,1] con 3 capas de entrada, 15 nodos en la capa oculta y 1 salida, logrando un valor de  $R = 0.96353$  en la primera ejecución.

Realizó un gráfico de regresión que comparaba los valores de dureza deseados con los predichos por la ANN, mostrando un nivel de confianza del 96%. Por otra parte, el gráfico de rendimiento mostró la estabilidad del entrenamiento después de 20 veces y la validez de los datos obtenidos. En otra figura se mostró la efectividad del modelo demostrando que los valores de dureza deseados son cercanos. La precisión del modelo ANN alcanza el 96%, lo que indica que la dureza del acero A-36 después del proceso de soldadura se predice correctamente. En conclusión, el modelo ANN desarrollado pudo predecir la dureza del acero A-36 después de soldarlo considerando datos de entrada como la planitud y la temperatura.

### **2.1.3 Seguridad Contra Incendios en Edificaciones**

Para Aranda, A. (2018) el propósito de su proyecto fue crear un plan de seguridad contra incendios para la empresa Innotec, centrándose en áreas operativas con mayores riesgos debido a los procesos llevados a cabo. Enfatizó la importancia de entrenar al personal sobre los diferentes tipos de fuego y cómo usar extintores de acuerdo con las características específicas del incendio. También, expuso un plan para incrementar la eficacia de los dispositivos de prevención de incendios, tales como extintores, rociadores, detectores de humo y calor, hidrantes, y recomendó instalar una cisterna.

Otro de los objetivos fue asegurar que todo el personal esté adecuadamente informado y capacitado para hacer frente a situaciones de incendio en todas las secciones de la compañía. Se buscó que la empresa adopte nuevas medidas de seguridad contra incendios con el fin de proveer al personal de las herramientas necesarias y disminuir el riesgo de incendios. Si había restricciones para instalar nuevos equipos, se sugirió capacitar al personal según la NORMA Oficial Mexicana NOM-002-STPS-2010, para cumplir con las normas de seguridad y prevención de incendios en los centros de trabajo.

El texto resaltó lo crucial que es tener un plan de seguridad contra incendios en un lugar de trabajo para manejar de manera efectiva situaciones de emergencia

y evitar daños a las personas, la propiedad y el medio ambiente. A pesar de la instalación de dispositivos y sistemas de seguridad, se enfatizó la importancia de la intervención humana en la prevención y actuación ante emergencias. Una acción errónea por parte de las personas podría poner en riesgo la efectividad de los dispositivos de seguridad. El plan de seguridad contra incendios incluyó medidas para manejar riesgos, reducir impactos y garantizar una evacuación segura. El documento mostró las acciones planeadas en diferentes niveles de emergencia, involucrando la colaboración coordinada de individuos para disminuir los riesgos personales y los daños al medio ambiente y a las instalaciones industriales.

El texto subrayó también que la planta INNOTEC, la cual se especializa en la fabricación de guías para la cabecera de asientos de automóviles, no cuenta con un plan contra incendios que cumpla con las medidas de seguridad requeridas en la actualidad. Se consideró que esta carencia se debía a la carencia de equipamiento de seguridad apropiado para combatir incendios, la ausencia de señalización en las vías de escape y la falta de formación del personal en cuestiones de seguridad.

Además, el texto resaltó que tener un plan contra incendios en toda empresa es crucial como una herramienta de prevención esencial. Ofrece un plan de cinco pasos para elaborarlo:

Examinar amenazas y riesgos: Llevar a cabo un análisis minucioso de la estructura, detectar factores que puedan causar riesgos y valorar el entorno, servicios de emergencia y disposición de áreas.

Evaluación de recursos: Hacer un inventario de los recursos disponibles para prevenir y manejar situaciones de emergencia, que incluya elementos de seguridad como extintores y botiquines de primeros auxilios.

Definición de acciones y grupos de apoyo: implementación de operativos, creación de rutas de evacuación, designación de áreas seguras y capacitación de brigadas de emergencia. Enseñar a los empleados a contribuir en la prevención de riesgos.

El diseño del plan contra incendios consistiría en la creación de un croquis que refleje la información recopilada, como pasillos, salidas de emergencia, vías de evacuación, zonas seguras, y el entorno de la organización con servicios de emergencia y números de teléfono relevantes.

Era necesario difundir información a todos los trabajadores acerca del Plan contra incendios, garantizando que estén al tanto de las medidas a tomar en caso de un incendio. Fue importante escuchar las opiniones de los trabajadores y llevar a cabo evaluaciones regulares del plan.

Se indicó que el plan será elaborado siguiendo la NORMA Oficial Mexicana NOM-002-STPS-2010, la cual estableció las condiciones y sirve de guía para la seguridad, prevención y protección contra incendios en el trabajo.

El texto organiza los incendios en diferentes categorías:

El fuego de Clase A se origina en materiales sólidos combustibles de origen orgánico, y produce brasas durante la combustión.

El fuego Clase B se produce en líquidos y gases inflamables.

Clase C de fuego: Involucra dispositivos, herramientas y sistemas eléctricos con energía activa.

La Clase D de fuego incluye metales combustibles como magnesio, titanio, circonio, sodio, litio y potasio.

La Clase K de fuego se produce mayormente en cocinas, con sustancias inflamables como aceites y grasas de origen vegetal o animal. Estos incendios se producen en depósitos de grasa semipolimerizada y presentan un comportamiento distinto al de otros combustibles.

Tabla 3: Clase de fuego y agente extintor aplicable.

Agente extintor	Fuego Clase A	Fuego Clase B	Fuego Clase C	Fuego Clase D	Fuego Clase K
Agua	Sí	No	No	No	No
Polvo Químico Seco, tipo ABC	Sí	Sí	Sí	No	No
Polvo Químico Seco, tipo BC	No	Sí	Sí	No	No
Bióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	No	Sí	Sí	No	No
Agentes limpios*	Sí	Sí	Sí	No	No
Espuma Mecánica	Sí	Sí	No	No	No
Agentes Especiales	No	No	No	Sí	No
Químico Húmedo	Sí	Sí	No	No	Sí

Fuente: Aranda, A. (2018).

El texto del autor Placeres, J. (2018) resaltó la importancia de que la prevención de incendios no sea vista como responsabilidad exclusiva de técnicos especializados. En cambio, se enfatizó en su artículo que todos los involucrados, incluyendo bomberos, propietarios, funcionarios, representantes de trabajadores y voluntarios, pueden y deben colaborar activamente en este propósito. La obra se fundamentó en las técnicas y prácticas más actuales para detectar y notificar incendios, teniendo en cuenta normativas tanto nacionales como internacionales, además de la experiencia práctica en la materia.

Es importante destacar que la información provista por el autor se debe considerar como una guía técnica, dando siempre prioridad a los reglamentos y normativas locales. También fue importante destacar la instalación de sistemas de detección y alarmas de incendios para proteger a las personas, bienes, propiedades e instalaciones, además de cumplir con las regulaciones locales. Estos sistemas desempeñan un papel crucial en la reducción del riesgo de pérdida de vidas humanas.

También fue destacado el hecho de que un sistema se define como un grupo de elementos que colaboran en conjunto para alcanzar un fin común. A pesar de la alta complejidad de los sistemas modernos, comparten rasgos básicos como límites, entradas y salidas, variables y estructura. Según el autor, el Manual de Protección contra Incendios SFPE destacó la importancia de la confiabilidad de los sistemas y sus partes, definiendo la "fiabilidad" como la habilidad de un material para funcionar según lo establecido durante un periodo determinado.

Además, se subrayó que la confiabilidad del sistema de protección contra incendios no solo está determinada por la calidad de los componentes de la unidad de control, sino también por aspectos como el diseño, el equipamiento electrónico, la instalación conforme a estándares y el mantenimiento regular. Cada una de estas partes se conecta entre sí para asegurar que el sistema sea confiable, especialmente en lo que se refiere a la protección de vidas humanas.

Se resaltó la importancia de realizar un análisis de riesgos específico para la instalación o edificio en cuestión al momento de diseñar e implementar un sistema de protección contra incendios. Se dice que la evaluación del riesgo de incendio es un tema muy importante y hay muchas formas de realizar esta evaluación. Se destacó también que la mayoría de los métodos actuales se enfocan en evaluar las consecuencias del incendio, sin considerar la probabilidad de que comience. Entre los métodos utilizados para evaluar el riesgo de incendio se encuentran el Método de los Factores  $\alpha$ , el Método de los Coeficientes  $k$ , el Método de Gretener y el Método de Gustav Purt.

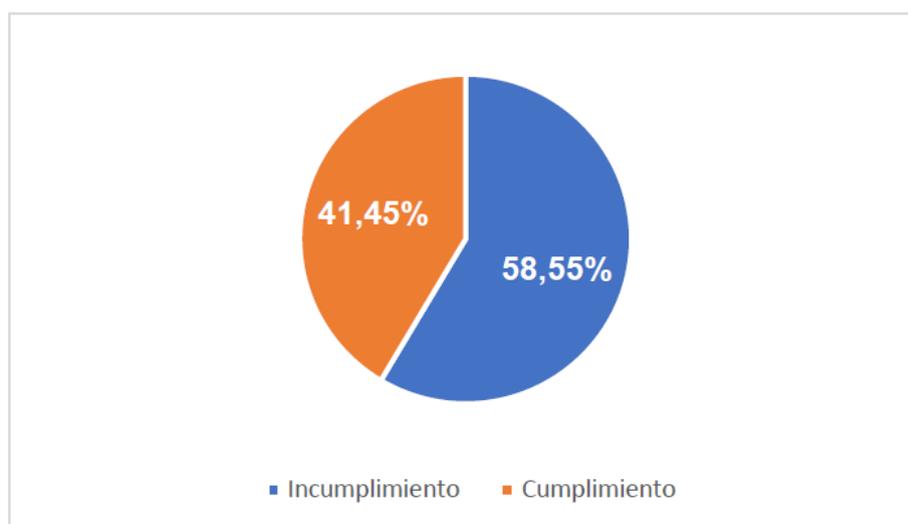
Camacho, C. (2019) sostuvo que el Consejo Institucional del Tecnológico de Costa Rica visitó las Residencias Estudiantiles del Campus Tecnológico Local San Carlos y encontró necesidades de infraestructura, sobre todo en lo que respecta a la seguridad y accesibilidad para los estudiantes. Las residencias, con unos cuarenta años de antigüedad, no han sido actualizadas para cumplir con los estándares de seguridad actuales, lo que podría crear entornos peligrosos y aumentar el riesgo de accidentes como incendios.

A pesar de que la institución no ha experimentado incidentes importantes, varias de las construcciones antiguas no cumplen con los estándares técnicos de seguridad contra incendios. Después del incendio en el Hospital Calderón Guardia en 2005, Costa Rica incorporó normativas de la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego a su legislación. En el año 2018, hubo un aumento en la cantidad de personas fallecidas a causa de incendios, siendo los fallos en los sistemas eléctricos la razón principal.

El diseño de construcción en Costa Rica a menudo no se ajusta a las regulaciones de seguridad contra incendios, y la incorporación de medidas de protección puede resultar en un aumento en los costos de construcción, lo que puede llevar a la creación de edificaciones vulnerables. El Cuerpo de Bomberos resaltó la importancia de que las estructuras cuenten con implementos y programas adecuados para asegurar la seguridad humana y facilitar evacuaciones eficaces en situaciones de emergencia.

Las residencias estudiantiles del campus Tecnológico Local San Carlos tienen un diseño y construcción modestos, pero les faltan elementos esenciales para asegurar la seguridad y accesibilidad, como señalización, iluminación de emergencia, sistema fijo contra incendios y sistema de detección y alarma. Sólo unas cuantas residencias han mejorado la accesibilidad de los servicios sanitarios. Según los gráficos que reflejan los requisitos de seguridad contra incendios y accesibilidad, se observa que solo se cumple el 41,45% de las normativas en general. La falta de medidas de seguridad contra incendios y de accesibilidad se ha convertido en un problema generalizado en las residencias, lo que indica que no cuentan con las condiciones adecuadas de seguridad y accesibilidad para los residentes.

Ilustración 2: Gráfico de accesibilidad y seguridad humana en las Residencias Estudiantiles del Campus Tecnológico local San Carlos.



Fuente: Placeres, J. (2018).

Echeverría, J. et al. (2020) explicaron que los centros urbanos europeos, en particular los surgidos en los siglos XIX y XX, son muy atractivos debido a su ubicación privilegiada, su increíble energía y su gran oferta cultural. A pesar de la presión urbanística que ha dado lugar a diversos usos, la demanda de vivir en estos centros sigue existiendo. La construcción de levantes sobre bloques residenciales existentes ha sido una práctica común, especialmente en el País Vasco, como en Donostia-San Sebastián. En respuesta a esto, la construcción de levantes sobre bloques residenciales existentes ha sido una práctica común.

Estas extensiones ayudan a densificar la ciudad sin ocupar más espacio y también promueven la regeneración urbana al facilitar la renovación de edificios ya existentes. Se espera que, en 2033, el 60,4% de los hogares estén compuestos por una o dos personas, lo que respalda la tendencia hacia tamaños más pequeños en los hogares. Los levantes se llevan a cabo en edificios con estructuras mixtas y usos comerciales en la planta baja, ubicados en manzanas cerradas.

A pesar de haber recibido mantenimiento de forma inconsistente, estos edificios muestran signos de mejora con la realización de Inspecciones Técnicas de Edificios. En los comienzos, las nuevas plantas se instalaban en estructuras de madera ya existentes, y la ausencia de regulaciones contra incendios permitía intervenciones sin tener en cuenta la seguridad contra incendios de manera adecuada.

Con la implementación de las regulaciones de Seguridad Contra Incendios (SCI) en España, la realización de levantamientos en edificios existentes se ha vuelto cada vez más difícil. A pesar de que las regulaciones anteriores permitían cierta flexibilidad con cláusulas de equivalencia, el Código Técnico de la Edificación (CTE) ha preferido centrarse en el rendimiento. A pesar de que la regulación prescriptiva ha disminuido el peligro de incendio, la aplicación se ve dificultada por la complejidad de ciertos edificios y la intervención en estructuras ya existentes.

El tema de los levantamientos plantea desafíos, ya que la solución preestablecida no siempre tiene en cuenta de manera adecuada la capacidad de

carga de la estructura existente en casos de incendio. En edificaciones con múltiples dueños, la relación entre la parte original y la ampliada representa un desafío, y algunas entidades gubernamentales han emitido documentos para abordar esta cuestión. En este estudio se analizó la problemática de la Seguridad Contra Incendios en edificios, centrándose en el enfoque de rendimiento según lo establecido en el Artículo 5.3 del Código Técnico de la Edificación, empleando métodos cuantitativos para evaluar el riesgo y la eficacia de distintas medidas de seguridad en caso de incendio.

Tabla 4: Exigencias del DB SI para un levante.

Exigencias Básicas	Características			Zonas	
Propagación interior	Sectores	< 2500 m <sup>2</sup>			Conjunto
	Resistencia en elementos que separan sectores (Integridad y Aislamiento)	EI 90			
	Reacción al fuego	Interior de las viviendas	No se exige		Recorrido de evacuación
		Zonas ocupables	Techos y paredes	C - s2, do	
			Suelos	EFL	
Escalera protegida		Techos y paredes	B - s1, do		
	Suelos	CFL - s1			
Propagación exterior	Condiciones de medianerías, fachadas y cubiertas (franjas >EI 60)			Zona ampliada	
Evacuación de ocupantes	Número de Salidas de Planta	1	Por altura de evacuación y recorrido de evacuación	Conjunto	
	Tipo de escalera	Escalera protegida	Compartimentación (EI 120, EI260-C5) Protección frente al humo (ventana, conductos, presurización)	Recorrido de evacuación del Conjunto	
Instalaciones de PCI	Extintores, alumbrado de emergencia, señalización			Recorrido de evacuación del Conjunto	
Intervención de los bomberos	Condiciones de aproximación, entorno y accesibilidad por fachada			Conjunto	
Resistencia al fuego de la Estructura	Resistencia (Capacidad portante)	R 90		Zona ampliada	

Fuente: Echeverría, J. et al. (2020).

Según las autoras Alonso de Silvero, M. & Aguilera, P. (2020) en los últimos 5 años, el sector hotelero en Paraguay ha visto un aumento en las inversiones turísticas en ciudades como Asunción, Ciudad del Este y Encarnación. Estas inversiones, en su mayoría provenientes de grupos extranjeros, han contribuido al aumento de la oferta de hoteles y servicios complementarios. La Secretaría Nacional de Turismo es la encargada de regular la actividad turística, y el programa "Hoteles seguros, alojamiento feliz" tuvo como objetivo aumentar la seguridad contra incendios en San Bernardino.

En el estudio las investigadoras analizaron la seguridad contra incendios en dos hoteles, utilizando la metodología MESERI, con el fin de examinar las mejoras implementadas y determinar el impacto del proyecto. Además, se llevó a cabo un análisis de costos y beneficios para resaltar lo importante que resulta invertir en la infraestructura de seguridad contra incendios especialmente para el estudio de las autoras en el área turística.

La investigación se basó en un alcance descriptivo, con un enfoque cuantitativo y no experimental. La muestra incluyó dos hoteles de San Bernardino que fueron elegidos para participar en el proyecto "Hoteles seguros, alojamiento feliz" de la UCPY durante el período de marzo a septiembre de 2017. El objetivo inicial del proyecto era evaluar la seguridad en cuatro hoteles y mejorar su capacidad de respuesta ante situaciones de riesgo. Se recopilaron datos a través de visitas técnicas, observación directa utilizando la planilla MESERI, entrevistas y revisión de informes. Se utilizó el método MESERI para medir el nivel de seguridad en cada hotel, y luego se llevó a cabo un análisis de costos y beneficios para evaluar si el proyecto era conveniente en términos de costos y beneficios.

El análisis se fundamentó en las estadísticas proporcionadas por el Cuerpo de Bomberos Voluntarios de San Bernardino en los últimos tres años, indicando una reducción en los incendios estructurales durante 2016 y 2017. Dos hoteles fueron evaluados utilizando el método MESERI, el cual asignó puntajes a diferentes aspectos de la infraestructura. Los dos hoteles recibieron una calificación de "buena" en la escala de riesgo MESERI, lo que indicó que tienen pocas probabilidades de sufrir un desastre. Después de recibir capacitaciones, se notaron mejoras positivas en las instalaciones, incluyendo renovaciones y un incremento en los equipos de prevención.

No obstante, hubo desafíos significativos, incluyendo la falta de preparación general en equipos de prevención y la ausencia de asesoramiento por parte del Cuerpo de Bomberos. Se destacó la importancia de tener personal capacitado y planes de emergencia en hoteles, especialmente en una ciudad turística como San Bernardino.

Según el análisis realizado con el Método MESERI, se determinó que ambos hoteles tienen un Nivel de Riesgo de Incendio "Bueno" y están próximos a obtener la puntuación más alta, lo que indicó que prácticamente no presentan riesgo de incendio. En este sentido, fue crucial enfatizar la necesidad de capacitar al personal de manera continua, organizar brigadas y realizar simulacros de evacuación.

A pesar de que uno de los hoteles tiene un seguro contra todo riesgo, es importante destacar que, en caso de un incendio, la pérdida de confianza sería muy difícil de recuperar, especialmente teniendo en cuenta los incidentes pasados en la región. La ciudad de San Bernardino debe ser consciente de la importancia de la prevención de desastres, en particular de los incendios, para mantener su reputación como un atractivo turístico.

Se instó a tomar medidas al respecto. Se recomienda que el municipio promueva políticas y campañas que se centren en la gestión de riesgos para reducir posibles impactos en la ciudad y promover la seguridad de los hoteles.

González, D. et al. (2023) elaboró un artículo que trató sobre el programa de prevención de incendios (PCI), que se refiere a las medidas y dispositivos diseñados para evitar el inicio y propagación de un incendio en un edificio. PCI se refiere a símbolos, elementos arquitectónicos, productos especiales y materiales utilizados en la construcción de edificios, con el objetivo de promover el uso seguro de los equipos de extinción de incendios y prevenir daños a las estructuras y a sus usuarios.

La PCI se clasifica en activa y pasiva. La protección activa consiste en sistemas automáticos de detección y extinción de incendios, la protección pasiva viene determinada por el diseño del edificio y el uso de materiales y elementos aislantes para prevenir, suprimir o frenar la propagación del fuego. Reportado por primera vez en 1903, se enfatizó la importancia de la protección neumática contra incendios (PPCI).

En el contexto de las leyes, se mencionó que, si bien México cuenta con

leyes relevantes, solo dos se refieren directamente al PPCI, el resto se enfoca en sistemas de protección activa. Además, la falta de leyes específicas sobre sistemas de protección contra incendios y la falta de cultura, formación y aplicación de las leyes vigentes en materia de prevención. En la Ciudad de México, la Ley de Gestión Integral de Riesgos y la Ley de Protección Civil solo mencionan la protección activa contra incendios.

Organismos como el Instituto Nacional de Protección contra Incendios han promovido la información externa sobre PPCI, pero en ausencia de una normativa específica y de actualización y aplicación siempre que sea posible. Finalmente, la Secretaría de Protección Civil indica que no es necesario establecer requisitos especiales de protección y resistencia al fuego, e indicó que es suficiente la existencia de la NOM-002-STPS para la prevención de incendios en los lugares de trabajo, aunque no incluya protección contra incendios.

En materia de prevención del fuego este documento incluyó a la Organización de Protección contra Incendios (PCI) de la Ciudad de México, donde los ingenieros y arquitectos son responsables de la construcción, diseño y dirección de las edificaciones, especificación de materiales y garantía de eficiencia. Se indican las responsabilidades legales relevantes. Es un programa del Instituto Nacional de Protección contra Incendios (INPF) que incluye formación en prevención de incendios (PPCI).

Se mencionaron varios tipos de materiales PPCI, incluidas barreras protectoras, materiales endodérmicos y soluciones activadas por fase. En PPCI se enfatizó la importancia del hormigón, a pesar de que el hormigón ligero puede comprometer la estabilidad de la estructura. Muchos edificios en la Ciudad de México no prevén utilizar sistemas de protección contra incendios, perdiendo así beneficios económicos.

El INPF evalúa proyectos y emite certificados de conformidad que tienen beneficios económicos. Hay poco conocimiento y poca regulación en México cuando se trata de pruebas de materiales. Resistirse al uso de recursos creativos se

debe al miedo y a la incapacidad financiera. El modelo Sherwin-Williams destacó por su nuevo revestimiento FIRETEX FX6002.

Este artículo revisó la normativa vigente, analizó materiales comunes y consideró el uso de materiales puros y de baja conductividad térmica. Se examinaron los daños causados por incendios en la Ciudad de México para mostrar lo importante que es implementar las regulaciones PPCI en los edificios. Se tomaron decisiones y se recomendó el uso de materiales puros.

Jiménez, G. (2018) abordó múltiples arquitecturas, que integraron diferentes funciones en un mismo espacio, se adaptaron al espacio y respondieron a la problemática urbana. Esto demostró que, desde el punto de vista legal, estas áreas dentro de un mismo edificio debían cumplir con diferentes estándares de construcción debido a sus diferentes usos.

Se dijo que si bien las normas estaban encaminadas a garantizar la robustez y la seguridad, las normas de construcción pudieron variar dependiendo de los trabajos que se realicen en la misma. A pesar de cierta conexión con la vida personal, el estilo de construcción del mundo puede albergar varias actividades en un solo lugar. El artículo ilustró esto con un edificio de ejemplo que incluyó un edificio, una estación de tren, una oficina bancaria, un casino y un centro comercial en un solo lugar.

La complejidad de estos nuevos edificios, especialmente en áreas urbanas, aumentó la necesidad de implementar soluciones de seguridad que combinen sistemas electrónicos con seguridad integral. Destacó la importancia de los sistemas de seguridad, detección y seguridad automatizados para proteger la vida, la propiedad y el medio ambiente. Este estudio tuvo como objetivo analizar las normas técnicas relacionadas con los sistemas eléctricos de alarma, detección y extinción de incendios aplicables a muchas edificaciones en Colombia desde el punto de vista de la seguridad eléctrica más que desde el punto de vista arquitectónico.

El objetivo fue definir los estándares de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA) para sistemas activos de seguridad contra incendios y establecer requisitos mínimos de seguridad eléctrica para muchos edificios. Al final del análisis, el objetivo fue determinar la aplicabilidad de estas normas en relación con el edificio en cuestión.

El documento contuvo la clasificación y normas especificadas de los sistemas electrónicos de alarma, detección y extinción de incendios para muchas edificaciones en Colombia. Según NSR-10, los edificios residenciales deben contar con un sistema de alarma diseñado para uso intensivo de acuerdo con NFPA 72. Se destacó la importancia de los sistemas de detección y alarma de incendios para proteger vidas y bienes. También se remarcó que el tiempo es esencial para apagar un incendio, y una respuesta rápida es buena para la evacuación y extinción al inicio de un incendio.

La NFPA describe las cuatro etapas de un sistema de alarma: inicio, transmisión, notificación y notificación. Se describieron entonces los componentes del sistema, incluidos los dispositivos de control, los dispositivos de alarma (detectores automáticos de incendios) y los dispositivos de detección (escuchados y detectados). La unidad de control organiza los circuitos de alarma, notificación y reporte. Los dispositivos iniciadores incluyen unidades automatizadas de monitoreo y vigilancia y detectores automáticos de incendios. Los dispositivos de notificación sonora o visual deben adaptarse al entorno y a los requisitos del edificio.

Además, el trabajo analizó la integración de los sistemas electrónicos de seguridad contra incendios en la protección de edificios, centrándose en los sistemas exteriores. Esto resaltó la importancia de instalar sistemas como ascensores, controles de puertas y ventilación mecánica para mejorar la respuesta al fuego. Para los ascensores, se recomendó que el operador del ascensor esté integrado en el sistema de alarma contra incendios, que puede devolver la cabina a la planta baja o colocarla estratégicamente para uso del departamento de bomberos incluida agua para el funcionamiento seguro de aspersores automáticos.

También, el sistema de puertas puede controlarse mediante un sistema de alarma para proporcionar las puertas necesarias para escapar, para acceder a los bomberos y para cerrar y mantener las puertas previstas para controlar la propagación del fuego. Para el aislamiento mecánico, su importancia aumenta en las zonas de incendio. Se dijo que el sistema de ventilación funciona para evitar que entre aire limpio en el área del incendio y para eliminar el aire contaminado del escape.

Además, se mencionaron dispositivos de señalización para comprobar el estado del sistema contra incendios y proporcionar información a la unidad de control del sistema de alarma. Estas herramientas brindaron información importante sobre la administración del sistema al alertarlo sobre errores del sistema, condiciones especiales y situaciones distintas a un incendio.

#### ***2.1.4 Diseños Constructivos Orientados a la Prevención de Incendios***

Calderón, M. (2018) presentó su trabajo de investigación titulado como parte de los requisitos para obtener el título de Ingeniero Mecánico y Eléctrico. El ensayo exploró la relevancia de tomar medidas preventivas contra incendios en edificios. Por ello, el objetivo del trabajo fue garantizar la seguridad de los residentes de rascacielos en situaciones de incendio. Se propusieron sistemas de prevención contra incendios para abordar esta preocupación, los cuales incluyeron rociadores de agua, detectores de humo y sistemas de evacuación, como escaleras presurizadas, que cumplen con los requisitos del Reglamento Nacional de Edificaciones. Las escaleras no solo son una ruta de escape segura para las personas, sino que también permiten que el personal calificado pueda combatir incendios.

El trabajo estuvo estructurado en tres partes: la primera abordó la problemática, la segunda presentó el marco teórico y la tercera se centró en el desarrollo del proyecto. Es importante tener en cuenta que los incendios son la principal emergencia en instalaciones administrativas y educativas. Su tamaño puede oscilar desde pequeños conatos hasta incendios de gran magnitud que

provocan importantes pérdidas materiales y humanas. El aumento de edificios y centros comerciales subraya la necesidad de usar sistemas de prevención como la ventilación forzada, con el fin de garantizar salidas seguras en caso de incendio.

El autor resaltó la relevancia de implementar sistemas contra incendios en la construcción de edificios, enfocándose en particular en la presurización de escaleras como una medida crucial para garantizar la evacuación segura de personas en caso de incendio. Utilizando ventilación mecánica, este sistema inyecta aire desde el exterior para crear una presión positiva que impide que el humo entre a la escalera de evacuación. El sistema se diseñará siguiendo los siguientes pasos:

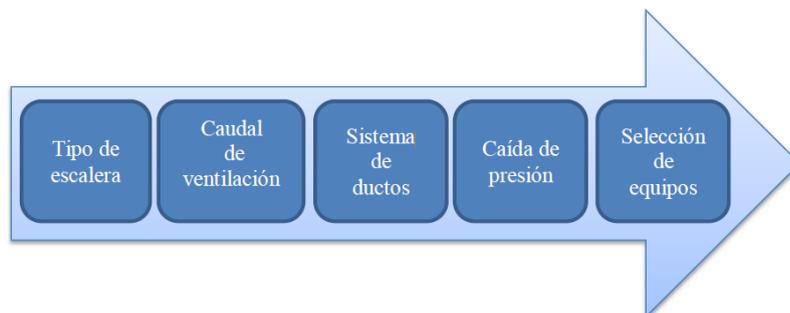
- Determinar el tipo de escalera de emergencia.
- Calcular la cantidad de aire que se necesita ventilar para mantener el aire limpio en la escalera de evacuación.
- El diseño de los conductos de aire que transportan aire limpio hacia la escalera.
- Determinar la diferencia de presión en el sistema.
- Elegir los equipos necesarios para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

El texto enfatizó la importancia de diseñar sistemas de presurización para escaleras en edificios, con el fin de asegurar la seguridad de las personas durante evacuaciones en situaciones de incendio. Estos sistemas tienen como objetivo mantener las escaleras de evacuación libres de humos tóxicos durante un largo periodo de tiempo.

El diseño de la presurización de las escaleras se rige por las normas de seguridad humana, en especial las normas NFPA 101, las cuales se enfocan en la protección de las personas durante situaciones de incendio. Las normas de la NFPA, en su sección 4.7 titulada "Prácticas de salida en incendios", hacen hincapié en la importancia de realizar simulacros de evacuación de forma regular para disminuir el tiempo de reacción.

El diseño de la presurización de escaleras debe cumplir con las normas de la NFPA y las regulaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones. Esta regulación establece las especificaciones para la estructura de las escaleras de evacuación, las puertas y las fuerzas máximas permitidas para abrir las puertas (30 lbf). Seguir estas regulaciones es crucial para asegurar que el sistema de presurización funcione adecuadamente y sea aprobado por INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil), protegiendo la vida de las personas en el edificio en caso de incendio.

Ilustración 3: Pasos del diseño de presurización de escaleras.



Fuente: Calderón, M. (2018).

Flores, C. (2019) explicó que Piedra Huasi S.A., empresa dedicada a la construcción, se especializa en adquirir, edificar y alquilar propiedades inmobiliarias y actualmente está desarrollando un nuevo proyecto en la ciudad de Cuenca, conocido como "Batán Shopping". Este proyecto incluirá un centro comercial que atraerá a una gran cantidad de personas y vehículos, así como locales comerciales, almacenes y mercancías. También habrá almacenamiento de combustible para los concesionarios de comida. En este punto resulta crucial desarrollar un sistema contra incendios basado en agua que sea efectivo y cumpla con los estándares legales y de seguridad debido a esta razón.

En Ecuador, los departamentos de prevención de los Cuerpos de Bomberos tienen la responsabilidad de hacer cumplir la ley de defensa contra incendios y las Normas Ecuatorianas de la Construcción Contra Incendios. Los departamentos están equipados con profesionales capacitados que siguen los estándares tanto nacionales como internacionales, incluyendo los de la NFPA. Es esencial tener un diseño técnico y un análisis de riesgo que tome en cuenta la carga térmica y los cálculos hidráulicos, con el fin de cumplir con las rigurosas normas de seguridad en

grandes proyectos inmobiliarios.

La compañía necesitó un sistema de agua contra incendios que cumpliera con las obligaciones legales y la responsabilidad empresarial, al mismo tiempo que optimice la funcionalidad y los costos del proyecto. Este sistema debe cumplir con los requisitos legales y también servir como modelo para proyectos futuros.

El texto abordó los factores que deben ser considerados al momento de diseñar sistemas contra incendios, tanto si se trata de una red de Bocas de Incendio Equipadas (BIEs) como de una red de rociadores automáticos. Es crucial evaluar la carga térmica de los materiales existentes en el sitio y considerar las ocupaciones de los distintos niveles antes de diseñar el sistema. Esto significa que es necesario calcular la carga térmica de cada sector de incendio de manera individual, con el fin de mejorar el diseño de los ramales de rociadores automáticos.

La norma NFPA 13 se emplea como referencia para categorizar el riesgo según la ocupación, fijar estándares de densidad de descarga y área de diseño para los sistemas de rociadores contra incendios, y establecer el caudal mínimo para las mangueras contra incendios tanto interiores como exteriores. La norma también toma en cuenta la necesidad de caudales adicionales en caso de activarse los rociadores, y ofrece directrices para calcular el volumen necesario de cisterna contra incendios.

El sistema de diseño incluye una red de rociadores automáticos distribuidos en varios niveles del edificio para proteger áreas específicas en función de su nivel de riesgo. Además, el sistema incluye rociadores con mangueras incorporadas y extintores portátiles. Es necesario calcular la presión requerida en el sistema y la capacidad de la bomba mediante cálculos hidráulicos.

Calcular la capacidad de una bomba contra incendios para suministrar el caudal y la presión requeridos en la zona de mayor demanda o área crítica de una red de rociadores contra incendios implica realizar varios cálculos hidráulicos. Haciendo estos cálculos no solo se pueden ajustar el tamaño de las tuberías según

la pérdida de presión, sino que también se asegura una descarga adecuada en el nivel del suelo y se cumplen los requisitos mínimos de presión y caudal para cada rociador.

Los cálculos hidráulicos proporcionan los resultados de caudal y presión, que son utilizados para determinar la demanda máxima del sistema y seleccionar la bomba contra incendios. Si el sistema logra satisfacer esta demanda en el área de diseño, se considerará capaz de satisfacer la demanda en cualquier otra área del centro comercial protegido por rociadores.

En esta situación, se ha determinado que el área de diseño está ubicada en la primera planta alta, en un lugar apartado, debido a que se considera que esta zona representa un mayor riesgo de incendio por los materiales que se almacenan allí.

González, A. & Sandoval, J. (2019) expresaron la importancia de entender y respetar las regulaciones que supervisan las redes contra incendios, especialmente en un momento en el que se están construyendo constantemente instituciones educativas en Bogotá. La Universidad de la Salle tuvo como objetivo a través de los autores desarrollar una guía metodológica que contenga diagramas y demostraciones para la instalación de redes contra incendios en instituciones educativas. Esto tiene como fin unificar las metodologías existentes y facilitar la interpretación de las regulaciones colombianas.

La metodología tuvo como consigna ofrecer una explicación detallada acerca de los elementos y aspectos que forman parte de una red contra incendios, con la finalidad de aumentar la comprensión sobre su operatividad. Es importante tener en cuenta que los incendios suelen causar daños debido a fallas técnicas o limitaciones en los sistemas de prevención de incendios, que a menudo no son completamente comprendidos por el personal involucrado.

También es importante resaltar la importancia de llevar a cabo inspecciones regulares de los sistemas de prevención de incendios para asegurar que funcionen

correctamente y cumplan con los requisitos legales. Es importante destacar que las revisiones deben ser llevadas a cabo por profesionales certificados por la CEPI, una acreditación internacional en conocimientos de protección contra incendios establecida por la NFPA en países de habla hispana.

El propósito de la guía propuesta fue brindar información sobre el diseño, los materiales y las metodologías empleadas en la implementación de sistemas contra incendios. De esta forma buscó reunir la normativa actual en un solo documento con el fin de facilitar el estudio y avance en este campo.

El texto también resaltó la importancia de seguir las normas de incendios al diseñar y caracterizar espacios, identificando la protección necesaria y utilizando instalaciones hidráulicas adecuadas. Es importante que el diseño sea llevado a cabo por personal capacitado y certificado, siguiendo las directrices de la literatura sobre prevención de incendios. Las normas específicas de la NFPA (Número 13, 14 y 20) son mencionadas para facilitar la creación de documentos que expliquen la importancia de contar con un sistema de protección contra incendios, que incluya rociadores y gabinetes.

En este sentido, es importante mencionar que los rociadores automáticos son extremadamente efectivos, ya que la NFPA indica que el 99% de los incendios son controlados por este sistema. Por lo que es crucial definir de manera precisa el riesgo y la ocupación del lugar al planificar una instalación contra incendios, ya que estos factores afectan los cálculos y el equipamiento requerido.

Según los autores, en Colombia se afirma que la NFPA es la única normativa disponible para el diseño de instalaciones contra incendios, ya que no existe una normativa nacional en vigor. Asimismo, se resaltó la conexión entre los daños provocados por un incendio y la ineficiencia o ausencia de los sistemas de protección contra incendios. Además, se subrayó la importancia de activar rápidamente estos sistemas para reducir al mínimo los daños, salvaguardar el mobiliario y, lo más crucial, proteger la vida humana, de acuerdo con las regulaciones actuales.

Carbo, R. (2022) elaboró un artículo que se centró en la prevención de incendios como un conjunto de prácticas para proteger la vida, la propiedad, el medio ambiente, la continuidad del negocio y los activos. Los cinco objetivos principales de la prevención de incendios, según el autor, fueron la seguridad humana, la protección de la propiedad, la continuidad del negocio, la protección del medio ambiente y la preservación del patrimonio.

La protección contra incendios tiene tres componentes principales:

- Requisitos estructurales: Incluye todo lo relacionado con la estructura y materiales de los edificios e instalaciones.
- Equipos de extinción de incendios: Incluyen equipos y sistemas que extinguen de forma automática o manual los incendios que se detecten y avisen a los ocupantes del edificio.
- Gestión y preparación: Esto significa la gestión del manejo de incendios y la respuesta a emergencias que utiliza los recursos disponibles para una mitigación efectiva.
- 

Los objetivos de prevención de incendios deben fijarse en el marco legal de cada jurisdicción. En ese sentido, las leyes de Ecuador, México, Colombia, Perú, Chile y otros países fronterizos especifican cuándo y cómo proteger las áreas del fuego. Sin embargo, el autor enfatizó la importancia de abordar las cuestiones de seguridad al diseñar y construir edificios, de acuerdo con los requisitos legales nacionales e internacionales, incluida la NFPA, las normas de la Comunidad Europea y las regulaciones de seguros como FM Global.

El documento cubrió el proceso de protección contra incendios y describió las partes interesadas y los grupos involucrados, el proceso de implementación del proyecto y las realidades de la aplicación de la protección. Los actores clave han sido identificados como administradores, diseñadores, integradores, propietarios y usuarios. El proceso de gestión del proyecto se describió en varias etapas, desde la formulación del proyecto hasta la solicitud del permiso de residencia, mostrando cada etapa y los documentos requeridos.

La importancia del proyecto fue garantizar que se ajuste al diseño original. Esto mostró la diferencia entre procedimientos operativos y confiables, que se crean primero y las autorizaciones de seguridad contra incendios se apliquen después. Estas acciones pueden resultar en cambios en el diseño original, retrasos en la finalización del proyecto y costos adicionales. Por ello el autor advirtió que es importante tomar medidas de control adecuadas para garantizar una protección adecuada en función de las actividades de riesgo actuales.

### ***2.1.5 Planes de Emergencia y Evacuación contra Incendios***

Villa, F. & Alvarado, Ch. (2018) realizaron un trabajo acerca de la prevención en la seguridad contra incendios, haciendo hincapié en que la aplicación de medidas básicas podría haber evitado muchos incendios en el pasado. Explicaron que el fuego es el resultado de una reacción química en la cual la materia se oxida o se quema rápidamente. También señalaron los riesgos que conlleva, como el calor, el humo, los vapores tóxicos, las explosiones y los cortocircuitos; y destacaron que cada año los incendios causan importantes pérdidas en vidas humanas y en términos económicos. Sin embargo, es importante señalar la falta de investigaciones exhaustivas y dedicación científica al proceso del fuego.

En el trabajo se ofrecieron datos sobre las principales razones de los incendios en los Estados Unidos, como colillas de cigarrillos encendidas, actos intencionales, fallas en el sistema eléctrico y electrodomésticos. El texto se refirió a la ley en Ecuador que establece la necesidad de estar listos para emergencias. Es crucial tener un "plan de prevención, atención y recuperación en emergencias". Muchas instituciones son criticadas por descuidar la seguridad, salud e higiene laboral, ya que las consideran como un gasto innecesario de tiempo y dinero. El Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS) informa que, en Ecuador, 9 de cada 100 mil trabajadores fallecen a causa de accidentes laborales.

Después se detalló la carencia de un plan de emergencia en una institución en particular, haciendo hincapié en la ausencia de señalización, extintores obsoletos, la inexistencia de rutas de evacuación y otros elementos indispensables

para garantizar la seguridad. Finalmente, el texto destacó la importancia de implementar un plan de emergencia contra incendios en la institución mencionada.

El propósito fue evaluar las condiciones actuales, identificar posibles riesgos y sugerir medidas preventivas. Se resaltó la importancia de recibir capacitación en seguridad contra incendios y se señalaron que en numerosos países estas medidas son requeridas por ley para asegurar la protección de los empleados. Se reconoce el uso de publicaciones y normativas internacionales para reducir las pérdidas en incendios en todo el mundo.

El foco del estudio se encontró en un instituto educativo de nivel superior que cuenta con un cuerpo docente de 100 profesores, 15 empleados administrativos y aproximadamente 2500 estudiantes. Las instalaciones ocupan un área de 10,000m<sup>2</sup>, que incluye aulas, almacenes de reactivos, oficinas administrativas, laboratorios, canchas y estacionamientos. Para evaluar los riesgos, la seguridad y la prevención, se utilizó una encuesta y un checklist, siguiendo el método Meseri y las pautas de MAPFRE. El análisis del método Meseri incluyó la evaluación de factores como la estructura, ubicación, materiales de revestimiento, capacidad de resistencia al fuego, capacidad de propagación, y medidas de protección y control contra incendios en diferentes entornos. Se crearon mapas que documentaban las rutas de evacuación junto con los instrumentos necesarios para cada una. El método otorgó valores numéricos a diferentes riesgos, lo que facilita una evaluación rápida y proporciona recomendaciones para disminuir la peligrosidad del riesgo global de incendio.

García, M. (2023) dijo que luego de recopilar información sobre la empresa MAN SER S.R.L, se encontraron varias cuestiones importantes. La que más resaltó fue la falta de planes de emergencia y evacuación, es decir, no existía un plan elaborado por la empresa para situaciones de emergencia. No se realizaban mediciones de contaminación ni evaluaciones ergonómicas. No existía una medición de la contaminación ni una evaluación ergonómica del entorno de trabajo para garantizar unas condiciones de trabajo adecuadas. Además, se realizó un análisis legal (DEC. 351/79) y se concluyó que la empresa no cumple con las

normas fijadas en materia de accidentes eléctricos, prevención de incendios, planificación y evacuación de emergencias y capacitación del personal de prevención y control. Esto incluía ubicaciones de emergencia, uso de equipos contra incendios, planificación de operaciones de emergencia y gestión de evacuación.

El artículo demostró que en la empresa MAN-SER S.R.L es importante realizar trámites en un área específica para prevenir y reducir problemas. A pesar de los altos estándares de calidad de la empresa (ISO 9001), que implicaban la introducción de procedimientos, equipos y sistemas de seguridad, si estos procedimientos no se gestionan adecuadamente no se podía garantizar la higiene y la seguridad, lo que podía provocar problemas de producción.

Destacó la importancia de MAN-SER S.R.L en la predicción de eventos y el correcto uso de los recursos. Porque es importante proteger la seguridad y la salud de sus empleados. Sin un mantenimiento adecuado, el riesgo de accidentes como incendio puede aumentar debido al manejo inadecuado de materiales inflamables. Además, la falta de un plan estratégico a largo plazo puede afectar negativamente a la producción y perder clientes por accidentes laborales prolongados por falta de formación.

La tesis de Díaz, S. & Rozo, W. (2019) trató sobre la inestabilidad debida al incendio del edificio que fue escogido para los efectos del estudio, y que puede ocurrir debido a eventos inesperados como desastres naturales. Existe un famoso ejemplo de protección contra incendios utilizada en edificios en Europa desde el siglo 12. En el caso de Colombia, ante la necesidad de contar con reglas claras para el uso de redes de protección contra incendios (RCI), se utilizan normas americanas como la NFPA.

Considerando la falta de claridad en la legislación colombiana y la falta de un organismo regulador independiente, los autores propusieron un proyecto para el desarrollo de una guía de diseño de RCI. El objetivo era que los diseñadores y fabricantes comprendan completamente los estándares que se aplican a estas redes para que sus diseños funcionen. Esta guía estaría basada en el diseño RCI

de un edificio denominado LA QUINTA con diferentes usos internos y cubre los diferentes aspectos necesarios para desarrollar redes de prevención de incendios en diferentes proyectos. La guía está organizada paso a paso, comenzando por comprender la ubicación y características del edificio.

El abordaje de la parte de diseño incluyó cálculos de redes, válvulas, bombas, caudales y otros componentes relacionados. Después de eso, se llevó a cabo una sección de análisis adicional, presentando los requisitos legales y modelando los pasos importantes para verificar el diseño de la red. Finalmente finalizó con la fase de presentación y remisión que incluye la presentación del plan final, informe estadístico y documentos finales.

El objetivo de este proyecto fue la elaboración de una guía de diseño de red contra incendios (RCI) mediante la realización de un proyecto real, en este caso un edificio denominado LA QUINTA. Este edificio, que contaba con 18 plantas sobre rasante y 420 unidades residenciales-comerciales, podía adaptarse a diversas situaciones jurídicas y se convirtió en un excelente ejemplo de desarrollo de liderazgo.

El desarrollo del proyecto se dividió en cuatro fases. Ubicación y preocupación (Parte 1): Identificar las características generales del proyecto, analizar el uso del edificio según las normas NSR 10, leer el plano arquitectónico e identificar las áreas y tipos de conservación. Diseño (Parte 2): Se realizan cálculos para el diseño de la red, incluyendo el tamaño inicial de la red y tanques, la ubicación de tuberías verticales, válvulas y bombas automáticas, el trazado general de la red con información detallada y planos planificados. Inventario (Parte 3): Se desarrolla la documentación para el uso, mantenimiento y conocimiento de la red.

Además, se utilizó el software EPANET para modelar rutas críticas de incendio y producir documentos técnicos como manuales de operación y requisitos de materiales. Presentación y envío (Fase 4): En esta fase final, se recopilaron y comunicaron datos y diseños de todo el proyecto, incluido el diseño final y sus características individuales. Utilizando la complejidad y diversidad de los edificios de

LA QUINTA como referencia, esta guía tiene como objetivo proporcionar explicaciones detalladas paso a paso para ayudar a los lectores a desarrollar diseños RCI en otros edificios o temas.

Ciappesoni, C. (2021) en su texto realzó la antigua importancia del fuego como amigo del hombre, aportando luz, calor y otros beneficios. Sin embargo, advirtió del peligro de que si, por ejemplo, un incendio no se puede controlar puede causar daños a la vida, la salud y las infraestructuras. Por ello, en el contexto de la legislación nacional de su país de origen, se especificó que deben planificarse instalaciones para gestionar situaciones de emergencia y evacuaciones. De esta manera su trabajo cumplió el rol de informe el cual se centró en el caso de la industria metalúrgica MAN-SER S.R.L y sustentó la necesidad del desarrollo de sistemas de evacuación y protección contra incendios.

El auto se propuso elaborar un manual de autoprotección para garantizar el cumplimiento de las normas de higiene y seguridad en el lugar de trabajo. Para esto dijo lo importante de la planificación de emergencias y evacuaciones, que consiste en preparar recursos y procedimientos para minimizar los efectos de un desastre. El plan de MAN-SER S.R.L cubriría características como rutas de escape, equipos contra incendios, señalización, capacitación del personal, operaciones especiales en áreas de emergencia, iluminación de emergencia, capacitación, sistemas de alarma y detectores de humo. El artículo también puso énfasis en la importancia de aclarar el propósito y alcance del plan para que sea efectivo en todos los niveles.

El trabajo fue dividido en cuatro partes a saber:

- Evaluación de riesgos: Análisis del edificio considerando capacidad individual y distribución de producción, identificación de procesos peligrosos como clavado, corte y mecanizado; y evaluación de cargas de fuego en diferentes puntos del edificio.

- Procedimiento de mantenimiento: Evaluación de los recursos físicos, humanos y técnicos para la gestión de emergencias, identificación de los tipos de

incendios (A, B, C) en la empresa y selección de los bomberos adecuados; y los recursos técnicos como alarmas y detectores de humo son muy limitados.

- Plan de contingencia: Descripción de los procedimientos de gestión de emergencias, clasificación de emergencias y peligros, implantación de procedimientos de emergencia, composición del puente, procedimientos de emergencia, planes operativos, teléfonos de emergencia, etc.

- Implementación del plan: Son requerimientos una descripción de la organización y procedimientos de formación, implementación y mantenimiento del plan, programas de formación y educación, realizar una revisión y recomendar una revisión al menos cada dos años, cuando se produzcan cambios en el proceso o la estructura de las instalaciones, procedimientos de revisión y mejora continua.

Resumiendo, el trabajo del autor, se consideró un enfoque integral de la protección personal de MAN-SER S.R.L, que abarcó la evaluación de riesgos, identificación de medidas de protección, desarrollo de planes de emergencia e implementación de medidas para mantener y mejorar aún más el sistema de seguridad.

Ilustración 4: Análisis FODA producido para el diagnóstico.

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Certificación de la norma ISO 9001</li> <li>• Buena luminosidad en el área de trabajo</li> <li>• Buen flujo de aire en el área de trabajo</li> <li>• Accesos al establecimiento amplio</li> <li>• Gran espacio para desempeñar las tareas laborales</li> <li>• Comunicación ascendente fluida</li> <li>• Comunicación horizontal (entre pares) fluida</li> <li>• Gerencia orientada a la mejora continua</li> <li>• Personal predispuesto para la mejora</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demarcación de áreas y pasillos deficiente</li> <li>• Señalización deficiente</li> <li>• Falta de sistema de alarmas y detección de humos</li> <li>• Falta de comunicación entre áreas</li> <li>• Elementos no pertenecientes a procesos productivos</li> <li>• Tableros eléctricos con difícil acceso</li> <li>• Falta de orden en los elementos de trabajo</li> </ul>
Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejora en el sistema contra emergencia</li> <li>• Aspirar a la certificación de la norma ISO 45001</li> <li>• Capacitar y concientizar al personal en la lucha contra el fuego</li> <li>• Incorporación de nueva tecnología para la detección de incendio y otras emergencias</li> <li>• Con la implementación de normas ISO aumentar la cartera de clientes</li> <li>• Fomentar una cultura basada en el orden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riesgo de incendio debido al manejo de soldadoras y material inflamable</li> <li>• Personal sin capacitación idónea (suplencias por covid-19)</li> <li>• Aparición de competencia a menor costo</li> <li>• Por baja demanda de producción, se puede dejar de lado el enfoque en la higiene y seguridad</li> </ul>

Fuente: Ciappesoni, C. (2021).

## 2.2 Marco Legal

### 2.2.1 Constitución del Ecuador

Desde la carta magna del Ecuador se promulgó un artículo que instó a los gobiernos municipales a asumir la competencia en materia de gestión de prevención de incendios. El artículo en mención es el 264 que en su numeral 13 declaró:

Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:

13. Gestionar los servicios de prevención, protección, socorro y extinción de incendios. (Asamblea Constituyente, 2008)

Este artículo fomenta desde su posición en el ordenamiento jurídico el contexto normativo para que se generen normativas más especializadas en materia de prevención de incendios en estructuras.

### **2.2.2 Reglamento De Prevención, Mitigación Y Protección Contra Incendios**

Este reglamento que formó parte del acuerdo ministerial número 1257 tuvo para bien un contenido que fue aprobado por el viceministro de turno en el 2009 y el Cuerpo de Bomberos. Este marco normativo entró en vigor y quedó sujeta a la Constitución de la República y al Código de Incendios y leyes conexas. Además, este reglamento ha entrado en vigencia para reemplazar las reglas de prevención de incendios emitidas en 2006.

Desde el punto de vista de las atribuciones, los departamentos de bomberos locales y regionales tienen instrucciones de continuar distribuyendo las nuevas reglas y brindando capacitación para garantizar el cumplimiento en todos los sectores de la economía. Tal es así que para el sector de la construcción el artículo 118 estuvo destinado a las estructuras de acero siendo el primero de los artículos de esta normativa dirigida al objeto de estudio de esta investigación. El artículo en cuestión exclamó lo siguiente:

Las estructuras de hierro o acero, que se empleen en las edificaciones, deben recubrirse con materiales ignífugos, con un espesor mínimo de seis milímetros (6 mm).

Por otro lado, en el glosario que se proveyó dentro de este reglamento, resultó muy pertinente la definición que se le dio al factor de forma o masividad puesto que, estuvo dirigido directamente al acero estructural. La definición sostuvo lo siguiente:

Factor de forma o masividad.- Índice que expresa la capacidad de absorción térmica, de un elemento estructural de acero en función de su grado de exposición al fuego, con un tratamiento intumescente que garantice un RF-120.

### **2.2.3 Norma Ecuatoriana de la Construcción – Código NEC – HS - CI.**

Esta norma técnica brindó información que señaló el Decreto Ejecutivo No. 3970, de julio de 1996, el cual creó el Comité de Implementación del Código de Construcción Ecuatoriano (CEC), pero fue derogado por el Decreto Ejecutivo No. 705 para dar paso a las Normas (NEC), las cuales publican actualizadamente reglas que determinan los requisitos mínimos para el diseño, construcción y dirección de obras, con el objetivo de mejorar la calidad de las edificaciones y garantizar la seguridad pública.

Por ello y de manera general para las estructuras sean estas metálicas o de hormigón, la norma señaló en su sección 7.2 de especificaciones tres grandes consideraciones para la seguridad contra incendios. La primera de ellas fue la sección 7.2.1 Medios de Egreso, luego la 7.2.2 Sistemas de Detección y Alarma y finalmente, 7.2.3 Medios de Extinción. Sin embargo, destacaron los literales c, d y e de la sección 7.2.1 que estaban orientadas a lineamientos específicos de evacuación. Estos literales exclamaron lo siguiente:

c. Para edificaciones de ocupación y uso residencial, mercantiles/comercial, de negocios/oficinas/servicios o mixto, con una altura menor o igual a 28 metros y con una distancia máxima de recorrido de evacuación hasta una salida de planta que no exceda de 25 metros, se incluirá un solo medio de egreso como mínimo.

d. Para edificaciones de ocupación y uso residencial, mercantiles/comercial, de negocios/oficinas/servicios o mixto, con una altura mayor a 28 metros se deben incluir mínimo dos medios de egreso cumpliendo los requerimientos de la NFPA 101, considerando que la longitud de los recorridos de evacuación hasta una salida de planta no exceda de 25 metros.

e. Para edificaciones de ocupación y uso residencial, mercantiles/comercial, de negocios/oficinas/servicios o mixto, con una altura mayor a 28 metros y menor o igual a 36 metros se puede incluir

una escalera tipo tijera, previa revisión y aprobación por parte de la entidad competente.

Básicamente, la normativa estableció requisitos de seguridad basados en NFPA 101 para edificios, teniendo en cuenta la ocupación y el uso. La altura se mide desde la salida hasta el piso más alto. Fue relevante las indicaciones para edificios residenciales, comerciales o institucionales ya que, marcó la obligatoriedad desde lo legal de tener disponible al menos un medio de evacuación para estas edificaciones. Además, instó a proporcionar a los edificios de dos medios de salida de acuerdo con NFPA 101 y a que la ruta de escape no se debe mantener a más de cierta distancia prudencial.

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Enfoque de la investigación

El enfoque de una investigación a menudo se encuentra definido por las técnicas que se hayan seleccionado para levantar la información requerida según como se haya estructurado la planificación del proyecto. En este sentido, la técnica cualitativa escogida en el presente proyecto de titulación fue la revisión documental con la cual se indagaron los parámetros teóricos de comportamiento mecánico del acero estructural con especial interés en cómo se ven afectados estos durante un incendio. Además, bajo la misma técnica cualitativa se buscó el método de ensayo más adecuado a las condiciones de temperatura planteadas para proponer un ensayo empírico lo más aproximado posible. Por lo tanto, el enfoque de investigación del presente trabajo fue de tipo **cualitativo**.

Urbina, E. (2020) realizó un artículo en el que explicó la investigación cualitativa, destacando su enfoque en la producción de datos descriptivos, como palabras y discursos, así como la conducta observable. La principal interrogante epistemológica de su texto se centró en cuestionar el conocimiento objetivo de la "realidad", ya que cada sujeto construye su percepción basada en su experiencia subjetiva.

También expresó que el método cualitativo complementa los enfoques cuantitativos, especialmente en áreas como la salud, donde la comprensión profunda requiere la perspectiva de los sujetos involucrados. Las fases metodológicas son similares a la investigación cuantitativa, pero la investigación cualitativa varía en la definición del objeto de estudio, la flexibilidad metodológica y el papel del marco teórico. Se enfatiza el papel central del investigador cualitativo en la toma de decisiones que delimitan el proceso.

### 3.2 Alcance de la investigación

El alcance en una investigación delimita el punto de llegada y dirección de la misma que generalmente está definido por el alcance propio de sus resultados. En otras palabras, el alcance establece las competencias del investigador, es decir, proporciona una visión preliminar de los resultados que a su criterio espera obtener quien investiga.

Para definir el alcance existen tres clasificaciones adoptadas por la comunidad científica de acuerdo con los modelos en epistemología. Estas clasificaciones definen un alcance descriptivo, uno exploratorio y uno correlacional. En dicho aspecto, el alcance de la presente investigación fue definido como **descriptivo**.

Ochoa, J. & Yunkor, Y. (2019) Explicaron que los estudios descriptivos son la fase inicial de las investigaciones cuantitativas, que sigue a un estudio exploratorio o cualitativo. Después de adquirir un conocimiento profundo del tema, sus constructos, propiedades y teorías, el investigador puede pasar a la fase cuantitativa, comenzando con el nivel descriptivo.

Según los autores, a menudo se asocian erróneamente los estudios descriptivos con estudios correlacionales, lo que puede llevar a subestimar su relevancia. Es esencial comprender que cada nivel de investigación tiene características únicas, y para realizar un estudio descriptivo, se debe realizar previamente una investigación exploratoria o tener un conocimiento profundo de la línea de investigación.

También explicaron que contrariamente a la creencia común, los estudios descriptivos pueden incluir hipótesis y centrarse en una sola variable. Se suele vincular los estudios descriptivos con exploratorios, correlacionales y explicativos debido a la confusión entre niveles de investigación y técnicas de investigación. Por ello, fue crucial diferenciar entre la descripción como técnica y la descripción como nivel de investigación.

### 3.3 Técnicas e Instrumentos para Obtener los Datos

#### 3.3.1 Operacionalización de las Variables

Tabla 5: Operacionalización de las Variables.

Variable	Definición	Dimensión	Indicador	Instrumento
Incendio	Existencia de un fuego no controlado de origen instantáneo o gradual según su fuente de ignición y que genera daños sobre objetos que no están destinados a ser quemados	Temperatura	Nivel de daños a la infraestructura	Revisión documental
Comportamiento mecánico	Es la respuesta que presentan los materiales frente a la acción de esfuerzos sobre ellos	Resistencia	- Fluencia - Módulo de Young	Revisión documental

Elaborador por: Brito, B. (2024).

#### 3.3.2 Revisión Documental

Según el artículo de Orozco, J. & Díaz, A. (2018) la técnica de investigación conocida como "revisión documental" es una técnica de investigación que implica procesos cognitivos como analizar, criticar, refutar y complementar puntos de vista, así como actividades procedimentales como buscar, indagar, registrar y recopilar fuentes de información.

En el contexto de los procesos investigativos, dijo el autor, la revisión documental permite aprovechar información disponible en documentos oficiales y personales, informes, cartas, prensa, registros, entre otros. También en su artículo se ofrecieron recomendaciones para llevar a cabo esta técnica, como dar preferencia a fuentes primarias, seleccionar autores clásicos, representar todos los puntos de vista sobre un problema y evitar discriminación basada en la nacionalidad, raza, religión o ideología.

### 3.4 Población y muestra

Tabla 6: Población y muestra.

Conjunto	Definición	Tipo	Cantidad
Población	Artículos sobre la influencia de la temperatura en las propiedades del acero	Objeto	15
Muestra	Artículos filtrados bajo criterio de selección	Objeto	Determinada por el autor en función de la pertinencia del artículo

Elaborador por: Brito, B. (2024).

#### 3.4.1 Definición de la Población

Mucha, L. et al. (2020) abordaron el concepto de población en el contexto de la investigación. La población teórica representa el conjunto de elementos que son objeto de estudio en una investigación. El investigador debe precisar y definir estos elementos para llevar a cabo su investigación. Cuando la unidad de observación son sujetos, se inicia ubicando el lugar y caracterizando las unidades de estudio, denominado "población accesible" o "población objeto de estudio". La población accesible es esencialmente una muestra de la población teórica.

La población objeto de estudio se constituye mediante criterios de selección, y la diferencia clave entre la población teórica y la población de estudio radica en que en esta última las unidades de estudio cumplen criterios de selección previamente establecidos para la investigación.

#### 3.4.2 Definición de la Muestra

Mucha, L. et al. (2020) también realizaron acotaciones importantes sobre la muestra. Destacaron la importancia de la representatividad en una muestra, siendo esta la característica más trascendental. La representatividad asegura que los

rasgos observados en la población se reflejen adecuadamente en la muestra, permitiendo inferir los resultados de esta hacia la población. Es esencial que los rasgos definidos realmente garanticen la representación de la población objeto de estudio.

En caso de no lograr representatividad en una o varias variables, el investigador tiene dos opciones: 1) Recolectar información en la muestra ignorando los rasgos comunes y aceptar la diferencia. 2) Seleccionar más unidades de observación de entre la población con la esperanza de que una muestra de mayor tamaño pueda garantizar la representatividad deseada. Además, se menciona la importancia de las pautas de fijación y eliminación, las cuales establecen los rasgos más relevantes para la inclusión de individuos en el estudio. Se reconoce que la fijación y la eliminación son límites que excluyen casos del estudio, definiendo así quiénes forman parte de la muestra final.

### **3.5 Tipos de Muestreo**

Para la presente investigación el método de muestreo realizado fue de tipo no probabilístico. En dicho sentido, Salgado, M. (2019) explicó que el muestreo no probabilístico implica que el investigador elija muestras basadas en juicios subjetivos en lugar de seleccionar al azar. Es especialmente útil en estudios exploratorios, como encuestas piloto, que se implementan en muestras más pequeñas en comparación con el tamaño de muestra predeterminado. Se utiliza cuando no es factible realizar un muestreo aleatorio probabilístico debido a restricciones de tiempo o costos, pero no permite generalizar los resultados a toda la población.

La misma autora proporcionó una perspectiva sobre el **muestreo por conveniencia** el cual es el método de muestreo no probabilístico de la presente investigación. Al respecto dijo que es un método de muestreo donde las muestras se seleccionan por su disponibilidad y conveniencia, sin necesariamente representar a toda la población. En ocasiones, en investigaciones con poblaciones demasiado grandes para evaluar completamente, se justifica el uso de técnicas de muestreo no

probabilístico.

### 3.6 Desarrollo de la Revisión Documental

Tal como se especificó preliminarmente, la técnica cualitativa de investigación revisión documental constituyó la herramienta con la que se planificó levantar información para el presente proyecto. En ese aspecto, el desarrollo de la técnica se abordó en este apartado y para ello fue necesario estructurar una guía que permita la definir criterios y la base operativa de estos para iniciar con el proceso de levantamiento de información. La guía estructurada propuesta se puede ver en la tabla a continuación:

Tabla 7: Guía de revisión documental.

Criterio de búsqueda	Herramienta disponible	Combinación de palabras clave para motor de búsqueda	Bases de datos deseables
Relación entre la temperatura de incendio y daños en el acero estructural	Google Académico	Incendio daño infraestructura Incendio daño edificio Incendio daño concreto armado Incendio daño acero Incendio temperatura acero Incendio fluencia acero Incendio resistencia acero Condiciones térmicas acero	Repositorios institucionales y revistas científicas
Relación entre el método de ensayo a temperatura y el comportamiento mecánico del acero		Ensayo acero estructural Ensayo acero temperatura Ensayo acero calor Ensayo fluencia acero Ensayo resistencia acero calor Acero protección incendio Acero incendio temperatura Acero incendio	Repositorios institucionales y revistas científicas

Elaborador por: Brito, B. (2024).

### 3.7 Desarrollo del Trabajo de Campo – Indagación de Costos

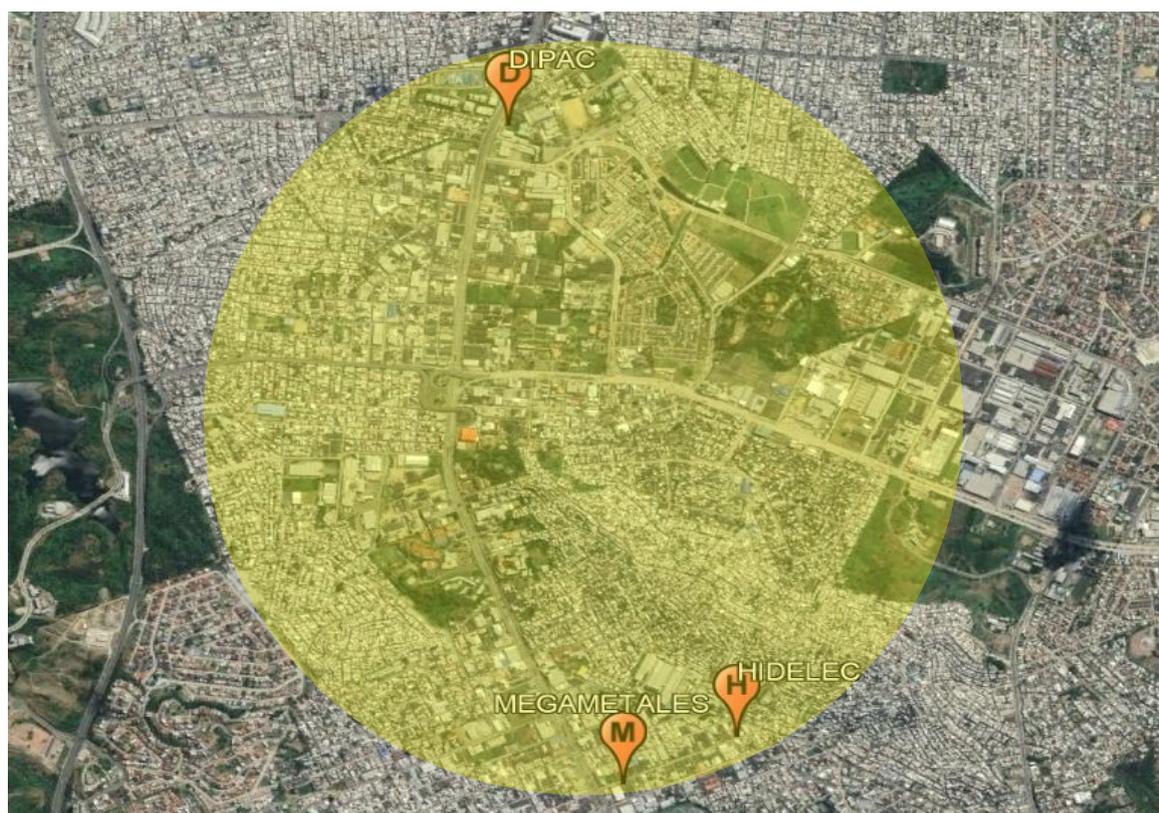
El trabajo de campo consistió en la indagación de costos a través de cotizaciones a empresas proveedoras de aceros estructurales. De esta forma se construyó una idea de la base presupuestaria necesaria para realizar ensayos empíricos. Además, como aspecto complementario se indagaron valores referidos a artículos que funcionaren como sustitutos confiables de los equipos y materiales determinados en los documentos consultados, una vez, más pensando en la replicación del ensayo normado hacia un ensayo empírico.

Las razones que justifican obtener la información necesaria para realizar un ensayo empírico se sustentan en el hecho de que tanto las edificaciones como la magnitud de los incendios, sumado a las condiciones de infraestructura como la existencia de sistemas de protección contra incendios o de diseños constructivos orientados a la protección contra incendios, son tan variables que, aunque un ensayo normado brinda información estandarizada sobre ciertos aspectos fijos de la realidad, no alcanza para cubrir la amplitud de las variables involucradas en accidentes de edificaciones como un incendio.

### 3.7.1 Proveedores Locales – Guayaquil

Se realizó un pequeño sondeo en un sector de Guayaquil caracterizado por su actividad económica dedicada a la industria de la construcción. A lo largo de una de sus avenidas más grandes como lo es la Vía a Daule, cubriendo un diámetro de aproximadamente 3300 m cotizando el precio en específico de láminas de acero tipo A36 mejor conocido como *planchas de acero negro* o *tool negro*.

Ilustración 5: Zonificación del Sondeo de Precios en Zona Industrial.



Fuente: Google Earth.

Elaborado por: Brito, B. (2024).

Los proveedores consultados fueron los siguientes:

**3.7.1.1 Megametales.** Empresa distribuidora cuyo objetivo de servicio es proporcionar una variedad de productos y servicios para la construcción e industria de ferretería, ofreciendo a sus clientes opciones de compra competitivas y ventajosas.

**3.7.1.2 Hidelec.** Hierros del Ecuador Hidelec S.A. es una empresa con sede en Guayaquil, Ecuador, que opera en el sector de comerciantes al por mayor de otros materiales de construcción. Fundada el 28 de febrero de 1995, la empresa presenta resultados financieros como crecimiento de su activo total experimentado desde el 2022 en 4,35%. Siendo una de las empresas referentes en ventas de aceros.

**3.7.1.3 Dipac.** Dipac Manta S.A. fundada en 1978, una de las empresas líder en el mercado ecuatoriano de productos de acero. La empresa importa, transforma, comercializa y distribuye un amplio portafolio de productos que incluye perfiles estructurales, laminados en frío y caliente, galvalume, galvanizados, zinc, tubos, vigas, tuberías, planchas navales, techos, ejes, soldadura, carburo, ferretería y otros accesorios relacionados.

## CAPÍTULO IV PROPUESTA O INFORME

### 4.1 Presentación y Análisis de Resultados

#### 4.1.1 Resultados de la Revisión Documental

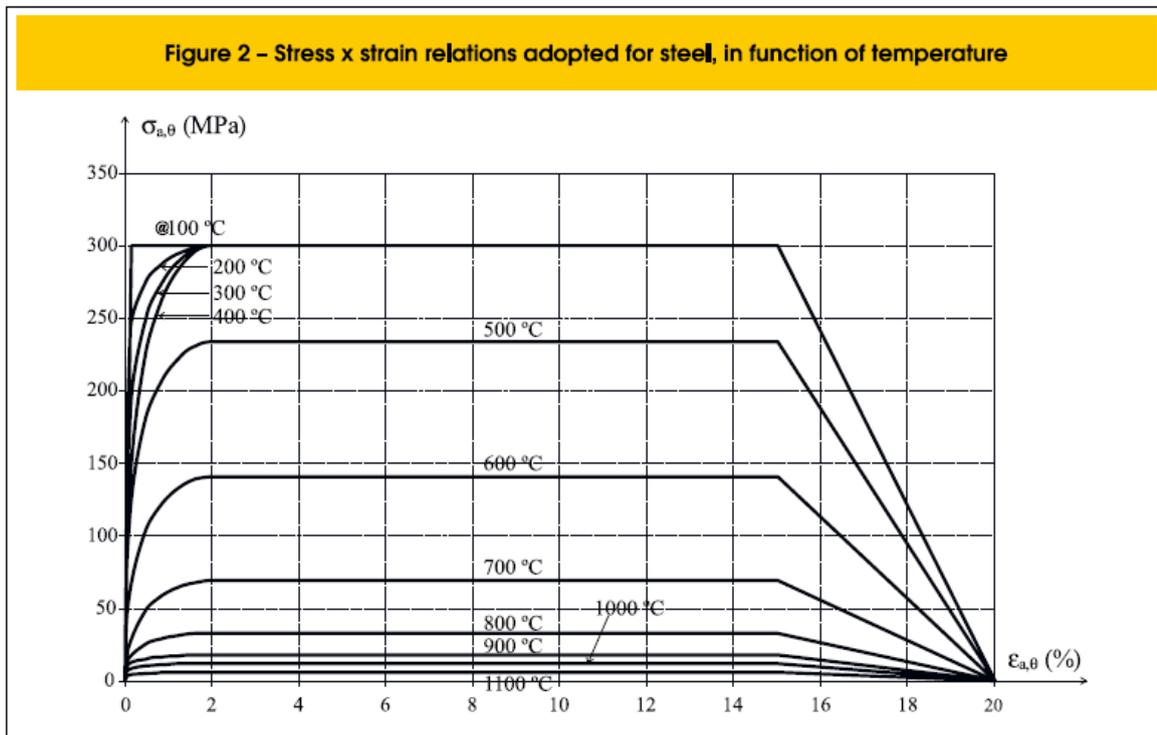
##### 4.1.1.1 Bloque Variable: Incendio.

**4.1.1.1.1 La Influencia de las Condiciones Finales en los Modelos Numéricos de Vigas Compuestas de Acero y Hormigón Conformadas En Frío en el Fuego.** El texto menciona las propiedades térmicas importantes para el análisis térmico de concreto y acero, tales como la conductividad térmica, el calor específico y la elongación. Para el acero, se utilizan los valores recomendados por ABNT NBR 14323:1999, mientras que para el concreto se emplean los valores presentados por EN 1992-1-2:2004, considerando una humedad del 3%. Se adopta una ecuación para la conductividad térmica del concreto que se refiere al límite inferior y se tiene en cuenta la variación ligera de la densidad del concreto a altas temperaturas. Además, se proporcionan los parámetros para mampostería, recomendados por el software Ozone v2.0, que incluyen densidad, calor específico y conductividad térmica.

Con respecto a las propiedades mecánicas, fueron adoptadas para el modelado computacional de acero y concreto a temperatura ambiente, incluyendo el límite de elasticidad y el módulo de Young para el acero, y la resistencia a compresión característica y el módulo de elasticidad secante para el concreto. Por el lado del análisis estructural de elementos de acero a altas temperaturas, se consideran los efectos térmicos mediante coeficientes de reducción para las propiedades mecánicas suministradas por normativas específicas.

Se emplean diagramas de esfuerzo-deformación recomendados para acero y concreto, adaptados de normativas pertinentes. Además, se presentan los parámetros para obtener el diagrama de esfuerzo-deformación del concreto en función de la temperatura, incluyendo factores de reducción de resistencia y de módulo de elasticidad. Se utiliza el modelo HJELM para el comportamiento del concreto en el software ANSYS, considerando diferentes comportamientos en tracción y compresión.

Ilustración 6: Diagrama esfuerzo vs deformación para el acero en función de la temperatura.



Fuente: Rigobello, R. et al. (2010).

**4.1.1.1.2 Diseño de Conexiones Tipo Perno en Vigas Compuestas de Acero y Hormigón en Situación de Incendio.** El texto menciona la amplia utilización de la modelación numérica en la ingeniería estructural para resolver problemas en situaciones de incendio. Destaca la eficacia del software SuperTempcalc, desarrollado por FSD (Fire Safety Design, Suecia), en la modelación de transferencia de calor en ingeniería estructural, respaldado por estudios anteriores. Este programa se basa en el método de los elementos finitos y se utiliza para modelar el ensayo push-out de conexiones tipo perno en vigas compuestas de acero y hormigón, considerando secciones de acero tanto cómo sin revestimiento contra incendio.

El estudio del comportamiento de las vigas compuestas de acero y hormigón en situación de incendio es complejo debido a la diversidad de materiales involucrados. Cuando estas vigas se exponen al fuego, tanto el perfil de acero como la losa de hormigón se ven afectados directamente, mientras que los conectores de cortante se calientan indirectamente a través del perfil de acero.

Para garantizar la seguridad estructural, muchas veces es necesario revestir la estructura metálica con materiales retardantes contra incendios. El flujo neto de calor está determinado por la suma del flujo neto por convección y por radiación. La emisividad resultante, controlada por la emisividad del material y del fuego, juega un papel crucial en el desarrollo de las temperaturas durante el incendio.

Las normativas EN 1994-1-2 (2005) y EN 1991-1-2 (2002) asumen una emisividad del fuego de 1 y una emisividad del acero y hormigón relacionada con las superficies de los miembros de 0.7. La conductividad térmica y el calor específico del acero son considerados propiedades dependientes de la temperatura, según EN 1994-1-2 (2005), mientras que se asume una densidad constante de 7850 kg/m<sup>3</sup>.

Las temperaturas en el hormigón y en los conectores para vigas con revestimiento contra incendios suelen ser mayores que en vigas sin revestimiento, debido a un calentamiento más lento, lo que impacta en el diseño de la conexión. Sin embargo, este impacto se atenúa porque se aplican como un factor multiplicador a temperaturas promedio del perfil de acero notablemente inferiores debido a la presencia del revestimiento.

**4.1.1.1.3 Análisis de los Métodos de Evaluación de Vigas de Concreto Reforzados en Condiciones de Incendio Propuestas por NBR 15200.** El texto menciona que, al dimensionar vigas de hormigón armado mediante el método tabular, se pueden considerar las siguientes hipótesis: (a) vigas bajo losas, que calientan solo tres de sus superficies, (b) redistribución de momentos, como en vigas continuas, y (c) temperatura crítica de las armaduras longitudinales inferiores igual a 500°C.

Para definir los factores de reducción de resistencia de los materiales expuestos a altas temperaturas, se menciona que la NBR 15200 se basó en correlaciones antiguas, presentadas en ecuaciones para el acero, representadas gráficamente en la norma. Estos factores de reducción se utilizan tanto en los métodos simplificados como en los avanzados. Los criterios de diseño se inspiraron

en Eurocódigo 2, aunque se realizaron ajustes y simplificaciones para adaptarse a la realidad brasileña.

Según el texto, el dimensionamiento de las vigas de hormigón para todas las clases de diseño de durabilidad debe estar en congruencia con la norma NBR 6118. Se señala que la cubierta de refuerzo y la resistencia del hormigón interfieren con la clasificación de resistencia al fuego de los elementos. El diseño estructural de las vigas no consideró la contribución de la losa y fueron calculadas como rectangulares. Se dimensionaron en función del momento flector, ya que usualmente fallan debido a la flexión en lugar de cortante cuando están expuestas al fuego. El cálculo se basó en hipótesis de secciones planas, adherencia absoluta entre el acero y el hormigón, y nula participación de esfuerzos de tracción en el hormigón.

Las secciones rectangulares de las vigas se diseñaron con refuerzos simples, que fueron verificados mediante el análisis de la profundidad relativa del eje neutro y la aplicación del criterio de redistribución de esfuerzos. El procedimiento de dimensionamiento a temperatura ambiente se dedujo del equilibrio de fuerzas, mientras que el procedimiento para condiciones de incendio fue similar, pero consideró un momento flector reducido. Los factores de reducción de resistencia se definieron en función de la temperatura promedio de cada tiempo de exposición al fuego admitido, según lo establecido por la norma mencionada.

El método de evaluación consistió en comparar el momento de inercia de la sección de la viga, teniendo en cuenta la pérdida de resistencia del acero y el hormigón a altas temperaturas, con el momento flector en condiciones de incendio. En este caso, se asumió que el esfuerzo de flexión calculado era el 70% del que se produce a temperatura ambiente, según la norma NBR 15200.

Se admitió la redistribución de momentos en condiciones de incendio para las vigas B2, lo que redujo el momento en el tramo en un 25% y se recalculó según la ecuación (6), siguiendo el criterio practicado por ciertos autores. Este criterio también se utilizó a temperatura ambiente, aunque con diferentes factores de

seguridad, donde "l" representa la luz de la viga, y son los momentos flectores negativos y positivos de cálculo redistribuidos en condiciones de incendio, y  $M_{Sd,fi}^-(red)$  y  $M_{Sd,fi}^+(red)$  son los valores de la carga distribuida uniformemente en condiciones de incendio.

Ecuación 1: Ecuación del método simplificado.

$$M_{Sd,fi}^-(red) = \frac{p_{d,fi} l^2}{2} p_{d,fi} l^2 \sqrt{\frac{2 M_{Sd,fi}^+(red)}{p_{d,fi} l^2}}$$

Fuente: Bolina, F. et al (2018).

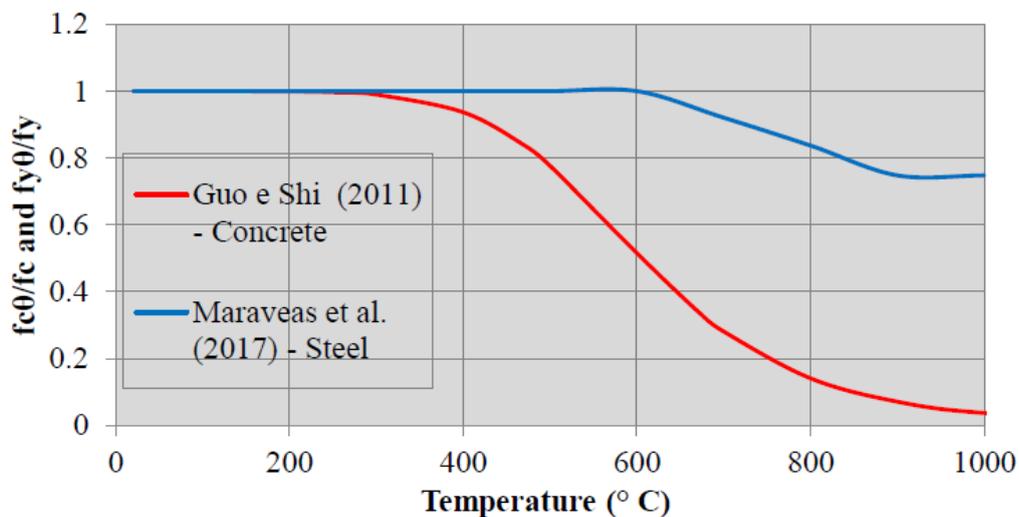
**4.1.1.1.4 Evaluación de la Resistencia Mecánica Residual de Vigas de Concreto Reforzadas Después del Fuego.** La temperatura elevada afecta la resistencia del acero, aunque puede recuperarla parcialmente tras enfriarse, pero las transformaciones cristalográficas por encima del punto eutéctico impiden completamente esa recuperación, resultando en una pérdida residual de resistencia. La literatura internacional muestra valores diversos para la reducción de propiedades mecánicas después del fuego, evidenciando la necesidad de más investigación para establecer un consenso.

Se utilizaron diferentes barras de refuerzo para las vigas: barras de acero CA-50 de 10 mm de diámetro para el refuerzo longitudinal positivo, y barras de acero CA-60 de 6.3 mm de diámetro para el refuerzo transversal y de montaje. El espacio entre las barras de refuerzo fue de 60 mm cerca de los soportes y 80 mm en la región central de la viga. La cubierta de concreto, medida desde la cara hasta el eje del refuerzo longitudinal, fue de 30 mm según la norma NBR 15200:2012.

El ensayo se realizó después de 60 días de curado de las muestras y constó de dos etapas. Primero, se calentaron las vigas de acuerdo con una curva específica, sin aplicar carga mecánica. Luego, después de 24 horas de enfriamiento, se aplicó carga mecánica hasta la ruptura siguiendo un modelo predeterminado.

Se realizaron pruebas en tres vigas a temperatura ambiente para determinar la reducción de la resistencia residual. Se establecieron propiedades térmicas y mecánicas para el análisis numérico de vigas de concreto reforzado, siguiendo las normas nacionales NBR 6118 (2014), NBR15200 (2012) y NBR14323 (2013). Estas propiedades incluyen la masa específica, el coeficiente de expansión térmica, la conductividad térmica y el calor específico del concreto y el acero en función de la temperatura. La masa específica se mantuvo constante, con valores de 7850 kg/m<sup>3</sup> y 2400 kg/m<sup>3</sup> para acero y concreto, respectivamente. Además, se definieron propiedades mecánicas como el módulo de elasticidad, el coeficiente de Poisson y las propiedades plásticas de los materiales en función de la temperatura. Cuando se anticipan deformaciones finitas en la estructura, las tensiones y deformaciones deben considerarse con base en la geometría real de la estructura deformada.

Ilustración 7: Factores de reducción para la resistencia a la compresión residual del concreto y para el flujo de acero después del enfriamiento.



Fuente: Pereira, R. et al. (2018).

**4.1.1.1.5 Análisis Numérico de Vigas de Acero y Concreto Compuesto Sometidos a Fuego en Diferentes Condiciones de Soporte.** El diseño convencional de vigas de acero y concreto no proporciona suficiente seguridad estructural en caso de incendio, a menos que se apliquen medidas adicionales, lo que aumenta los costos y hace que esta opción sea poco práctica. El objetivo del estudio es evaluar el comportamiento de vigas compuestas de acero y concreto en incendios, considerando la rigidez rotacional de los soportes proporcionada por el refuerzo de malla de la losa y la restricción de la brida inferior del perfil, creando una

conexión compuesta que garantice un comportamiento semi-continuo de la viga.

El contacto entre un haz de acero y una losa de concreto durante un incendio resulta en una distribución de temperatura no uniforme a lo largo de la sección transversal debido a la protección que proporciona la losa a la brida superior del perfil. Este gradiente térmico genera deformaciones adicionales y tensiones indirectas que pueden amplificarse en vigas semicontinuas ya sujetas a momentos de flexión negativos en los soportes.

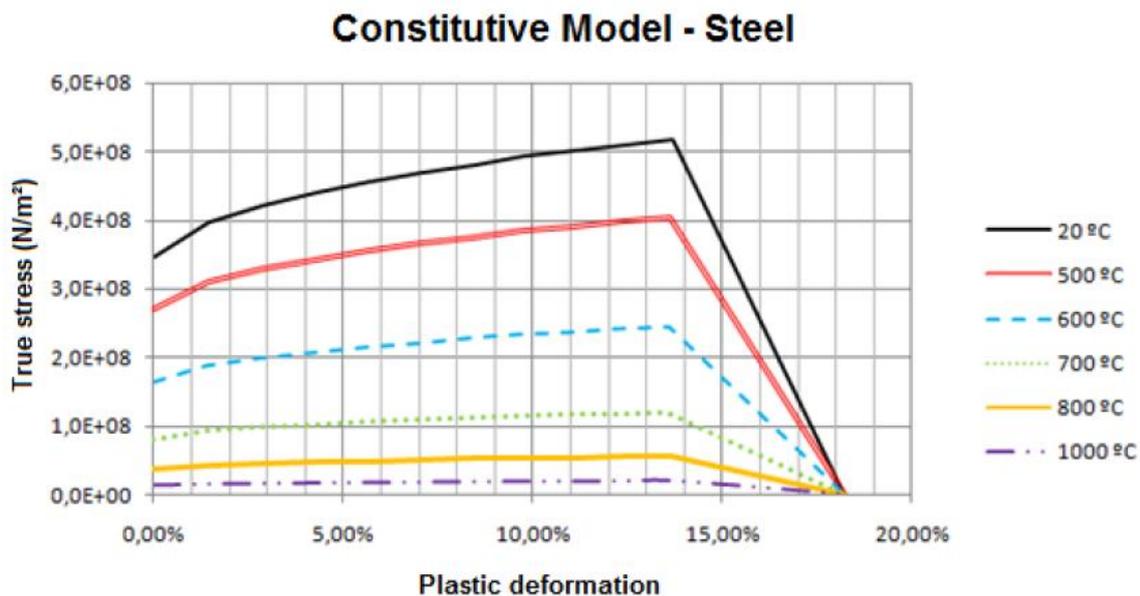
Para evaluar este efecto, se realizó un análisis numérico termoestructural no lineal que consideró tensiones catenarias en la losa y comportamiento no lineal del material. Los resultados indicaron que, para vigas compuestas semicontinuas, el aumento en la capacidad de momento de flexión podría eliminar la necesidad de recubrimiento de protección contra incendios para requisitos de resistencia al fuego estándar de menos de 30 minutos. Estos cálculos siguieron los procedimientos del código de diseño que consideran la formación de bisagras de plástico en los soportes y el tramo medio como el estado límite final. Sin embargo, estudios previos simplificaron las hipótesis al no considerar las tensiones indirectas causadas por la expansión y el gradiente térmicos, lo que podría llevar a resultados excesivamente conservadores.

La elección de estructuras de acero suele implicar la necesidad de aplicar recubrimientos contra incendios, lo que aumenta los costos. Sin embargo, los estudios en el diseño de incendios buscan cambiar este paradigma, comprendiendo mejor los fenómenos relacionados con el fuego y el comportamiento de las estructuras a altas temperaturas para lograr edificios más seguros y económicos. Los recubrimientos contra incendios representaban hasta el 30% del costo total de una estructura de acero, lo que generaba desventajas frente al concreto. Por ello, tanto la industria del acero como la comunidad científica han investigado el efecto del fuego en los elementos estructurales.

Estudios han demostrado los beneficios de la construcción compuesta de acero y concreto en la resistencia al fuego, resaltando la importancia de considerar

el coeficiente de expansión térmica de los materiales para obtener resultados más precisos. Además, se ha observado que las grandes deformaciones en la losa de concreto inducen un comportamiento de membrana que previene su colapso, subrayando la importancia del refuerzo de malla en la losa para aumentar la resistencia de los elementos compuestos.

Ilustración 8: Propiedades mecánicas del acero.



Fuente: Coscia, L. & Pignatta, V. (2020).

**4.1.1.1.6 Incendios en Estacionamientos - Revisión de los Efectos y Sistemas de Protección.** El 7 de enero de 2020, un incendio en una estructura de estacionamiento del Aeropuerto de Stavanger en Sola, Noruega, causó la destrucción de al menos 300 vehículos y provocó el colapso de una parte significativa de la estructura. La información sobre la estructura en el informe principal del incidente es limitada, pero se sabe que la parte del edificio que colapsó estaba construida con acero estructural sin protección.

Además, el texto describe un ejemplo de otro incendio muy intenso pero de corta duración, basado en una de las referencias del autor. Este incendio se utilizó en un estudio sobre temperaturas en secciones de acero en aislamiento. Se destaca que el incendio alcanzó una temperatura de 1000 °C a los 20 minutos, lo cual es aproximadamente 200 °C más alto que las curvas de resistencia al fuego estándar

ASTM E119 o ISO 834:1. La temperatura máxima, alrededor de 1030 °C, se registró a los 27 minutos, seguida de un rápido descenso. Se menciona que este modelo de incendio se caracterizó por tener una gran cantidad de combustible por unidad de superficie y una considerable área de ventana que proporcionaba ventilación.

Entre otras cosas el texto destaca la importancia de buscar incendios realistas para evaluar la seguridad estructural, pero en la actualidad, la curva de tiempo-temperatura ASTM E119 sigue siendo considerada el enfoque más seguro y confiable. La mayoría de los estacionamientos construidos con concreto pretensado y reforzado con barras de acero tienen una clasificación de resistencia al fuego de al menos 1 hora, lo cual es adecuado para prevenir colapsos incluso en incendios severos.

Se sugiere que la instalación de sistemas de rociadores en la mayoría de los garajes nuevos puede limitar la propagación de incendios y reducir la probabilidad de daños estructurales importantes o colapsos. Sin embargo, se necesitarán más estudios y posiblemente pruebas para determinar si los estacionamientos de acero estructural sin protección estarán adecuadamente protegidos por sistemas automáticos de rociadores, como se evidenció en el reciente incendio en Noruega.

**4.1.1.1.7 Aplicabilidad del Método de Isotherma de 500 ° C para Determinar la Resistencia de las Vigas de Concreto Reforzadas Después del Fuego.** El texto aborda la determinación de la capacidad residual de las vigas de concreto reforzado (RC) después de un incendio, enfocándose en los efectos de la temperatura tanto en el concreto como en el acero. Se señala que el concreto tiene un buen desempeño frente al fuego debido a su baja conductividad térmica y alta capacidad térmica, pero experimenta una pérdida de resistencia residual dependiendo de la severidad del fuego. Después de alcanzar temperaturas entre 500 y 600 °C, el acero recupera su resistencia a temperaturas ambiente.

Aunque la mayoría de los elementos estructurales de concreto no colapsan durante un incendio, se observa que después del mismo puede ocurrir un cambio en el modo de falla crítica, con la falla por cizalladura como una posibilidad significativa

y repentina. Esta tendencia a la falla por cizalladura en vigas de concreto reforzado después del fuego ocurre especialmente en elementos con concreto de baja resistencia a la compresión, lo que disminuye la capacidad de corte de los elementos debido a la importancia del concreto en la resistencia a la cizalladura.

Los estándares ABNT NBR 15200, EuroCode 1 1-2 y Eurocode 2 1-2 no ofrecen una recomendación clara sobre la evaluación de la capacidad de carga residual en elementos de concreto reforzado después de un incendio. Para abordar esta cuestión, se han propuesto formulaciones analíticas, y se mencionan en el texto algunos enfoques específicos propuestos por distintos autores.

Además, se discute la resistencia residual después del fuego en otros materiales como mortero de alta resistencia, madera y mampostería. Se presentan métodos propuestos para evaluar esta resistencia en tales materiales. Finalmente, se mencionan enfoques específicos propuestos por distintos autores para calcular la resistencia a la flexión residual de las vigas de concreto reforzado después de un incendio, utilizando factores de reducción para la resistencia del acero y el concreto.

En específico, el texto tuvo un enfoque sobre la evaluación de la resistencia residual de las barras de refuerzo de acero después de un incendio, utilizando factores de reducción propuestos en estudios anteriores. Estos factores se determinan mediante un modelo estocástico basado en datos experimentales. Se destaca que, tras un incendio, el acero de refuerzo tiene la capacidad de recuperar su resistencia inicial hasta temperaturas de 600°C.

Para las barras de acero longitudinales, se emplea un coeficiente reductor basado en la temperatura medida en su eje. Para las barras transversales, se utiliza un factor de reducción según lo recomendado en las normativas pertinentes. Se emplean ecuaciones y procedimientos de cálculo para determinar las fuerzas en la sección transversal, siguiendo pautas específicas. Además, se consideran factores como la profundidad de las vigas y la presencia de refuerzo de corte, ajustando la contribución del acero en función de la configuración estructural.

#### **4.1.1.2 Bloque Variable: Comportamiento Mecánico.**

**4.1.1.2.1 Alternativas de Protección de Vigas de Acero Frente al Fuego y Valoración Económica.** El texto resalta la importancia de proteger las estructuras de acero contra incendios debido a los graves daños que pueden sufrir, incluido el colapso y la pérdida de vidas humanas. Aunque el acero es incombustible, el aumento de temperatura puede afectar su rigidez y resistencia. Se mencionan avances significativos en el diseño de estructuras de acero frente a incendios, lo que ha permitido establecer dimensiones apropiadas mediante análisis térmicos y estructurales.

Se destaca la necesidad de tomar medidas adecuadas para evitar daños estructurales por fuego, incluso utilizando protección térmica en los elementos más susceptibles. Se advierte sobre la falta de avances en la ingeniería civil ecuatoriana en la prevención de falencias relacionadas con el fuego. El propósito de la protección contra incendios es preservar la vida humana y garantizar que las estructuras sean funcionales después del evento, lo que requiere materiales con baja conductividad térmica y una estructura que conserve su estabilidad.

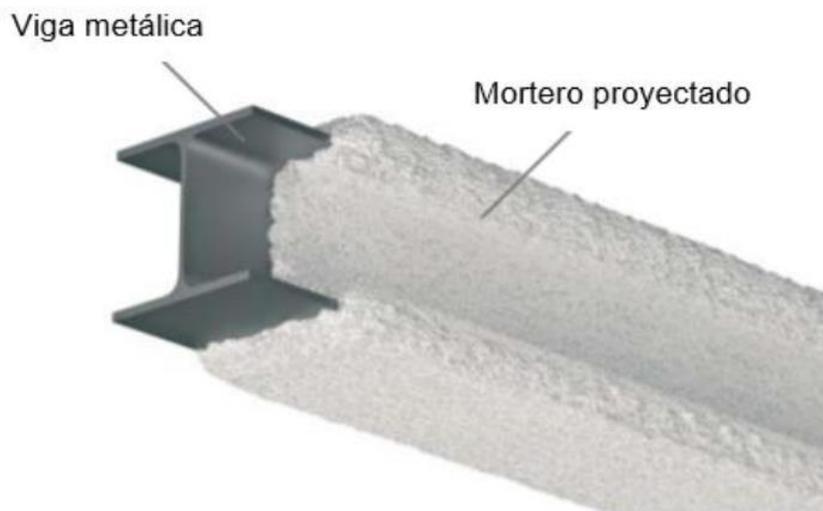
Además, el texto presenta dos métodos de protección pasiva contra incendios: morteros proyectados y pinturas intumescentes. Los morteros proyectados se utilizan para recubrir o envolver elementos, creando una barrera térmica sin uniones ni juntas, y presentan un alto coeficiente de aislamiento térmico. Entre los tipos de morteros proyectados se encuentran la vermiculita y la perlita, que tienen una estabilidad al fuego de hasta 240 minutos.

Por otro lado, las pinturas intumescentes reaccionan químicamente al fuego, produciendo un importante incremento de volumen de espuma carbonosa disipadora de calor. Estas pinturas pueden mantener una temperatura baja en el elemento protegido durante al menos 120 minutos, permitiendo que el acero conserve su resistencia a temperaturas de hasta 500°C. Las pinturas intumescentes pueden aplicarse sobre superficies metálicas, de hormigón y de madera, tras asegurarse de que el perfil esté en condiciones adecuadas y se haya aplicado una imprimación compatible.

Con respecto a los costos, el texto evalúa la valoración económica de la protección pasiva para un edificio residencial, destacando que la placa de yeso Tipo C es la más factible en términos económicos, pero carece de seguridad ante los efectos del fuego debido a que su resistencia mecánica se ve afectada al inicio del incendio. Se señala que la placa de yeso Tipo B es más viable económicamente, ya que protege todo el entrepiso, reduce el tiempo de ejecución de la mano de obra, brinda características estéticas y cumple con el tiempo de resistencia al fuego requerido de 60 minutos, permitiendo la evacuación de los habitantes antes de que el incendio cause daños considerables.

Sin embargo, el Cuerpo de Bomberos de Quito exige la colocación del sistema de rociadores, lo que añade un componente adicional a considerar en el costo y diseño del sistema de protección contra incendios.

Ilustración 9: Aplicación de mortero proyectado sobre viga metálica.



Fuente: Carrera, S. et al. (2019).

**4.1.1.2.2 Resistencia a Fuego en Estructuras de Acero y Hormigón Armado - Disposiciones Reglamentarias.** El texto destaca la importancia de considerar la acción del fuego en el diseño de estructuras civiles, aunque es un fenómeno poco probable durante la vida útil de una obra, su impacto puede ser catastrófico si no se toman medidas preventivas.

Se subraya que una obra debe mantenerse estable durante un tiempo

razonable en caso de incendio para permitir la evacuación segura de las personas. El diseño frente al fuego implica un enfoque multidisciplinario, llevado a cabo por la ingeniería de protección contra incendios, que incluye la prevención, planificación de vías de escape y sistemas de detección y supresión del fuego. Además, se mencionan tres pilares fundamentales para estudiar el desempeño estructural en condiciones de incendio: las condiciones del incendio, la respuesta térmica de la estructura y la respuesta mecánica de los elementos estructurales. Se describen diferentes enfoques de diseño de incendios, desde modelos simples hasta métodos computacionales más complejos, destacando la norma ISO-834 como la curva más frecuentemente adoptada en el campo reglamentario.

Los autores señalaron la importancia de considerar la acción del fuego en el diseño de estructuras civiles, aunque es un fenómeno poco probable durante la vida útil de una obra, su impacto puede ser catastrófico si no se toman medidas preventivas. Se subraya que una obra debe mantenerse estable durante un tiempo razonable en caso de incendio para permitir la evacuación segura de las personas.

El diseño frente al fuego implica un enfoque multidisciplinario, llevado a cabo por la ingeniería de protección contra incendios, que incluye la prevención, planificación de vías de escape y sistemas de detección y supresión del fuego. Además, se mencionan tres pilares fundamentales para estudiar el desempeño estructural en condiciones de incendio: las condiciones del incendio, la respuesta térmica de la estructura y la respuesta mecánica de los elementos estructurales. Se describen diferentes enfoques de diseño de incendios, desde modelos simples hasta métodos computacionales más complejos, destacando la norma ISO-834 como la curva más frecuentemente adoptada en el campo reglamentario.

La norma AISC proporciona especificaciones para el diseño de estructuras de acero en condiciones de incendio, detallando aspectos como las características del fuego, los sistemas de protección contra incendios y las propiedades termomecánicas del acero bajo altas temperaturas. En ausencia de provisiones específicas, la resistencia requerida de la estructura se determina a partir de las cargas gravitacionales, incluyendo el efecto accidental del fuego.

La norma también proporciona coeficientes tabulados para determinar las propiedades mecánicas del acero y del hormigón en altas temperaturas, así como métodos simplificados de diseño frente a fuego aplicables a elementos estructurales individuales. Estos métodos permiten la utilización de modelos unidimensionales para la determinación de la transferencia de calor y el cálculo de la resistencia nominal del elemento estructural. Además, la norma AISC permite el uso de métodos de diseño avanzado que consideren la respuesta termo-mecánica de la estructura, siguiendo las bases de diseño del fuego y de la degradación de las propiedades termo mecánicas dadas por la misma norma.

Para diseñar de elementos estructurales con compresión dominante y que a su vez puedan experimentar algún tipo de pandeo, la norma AISC ha establecido una tensión crítica de pandeo en alta temperatura:

Ecuación 2: Tensión crítica de pandeo en alta temperatura.

$$F_{cr(T)} = \left[ 0.42 \sqrt{F_{y(T)}/F_{e(T)}} \right] F_{y(T)}$$

Fuente: Ripani, M. et al. (2021).

**4.1.1.2.3 Comparación de Modelos de Comportamiento Ante Fuego de vigas de Acero Usando Abaqus y Vulcan.** El modelado numérico de estructuras de acero en situaciones de incendio implica tres fases principales: el modelo de fuego del área donde ocurre el incendio, el análisis térmico y el modelo mecánico de la estructura. Se pueden utilizar diferentes formas de representación del fuego, como curvas estándar, curvas paramétricas del Eurocódigo, curvas obtenidas de modelos de zonas, curvas derivadas de análisis de dinámica de fluidos computacionales (CFD) o curvas de fuego natural medidas experimentalmente.

Los ensayos de fuego son costosos, por lo que las curvas paramétricas son comúnmente utilizadas, ya que permiten simular el escenario de fuego en dos etapas: calentamiento y enfriamiento. Las curvas paramétricas se ajustan mejor a un escenario de fuego real en comparación con las curvas estándar, que solo se

desarrollan durante la fase de calentamiento. Los modelos térmicos, ya sea en 2D o 3D, se utilizan para determinar la historia de temperaturas del miembro estructural o de la estructura en sí, proporcionando información crucial para el modelado mecánico de la estructura.

Estos análisis térmicos describen la variación de la temperatura en el espacio y en el tiempo, y se basan en propiedades térmicas del acero y condiciones de contorno adecuadas. En la práctica, se utilizan multiplicadores de temperatura con respecto a la temperatura paramétrica del fuego para aplicar temperaturas distribuidas en la sección transversal por regiones, simplificando el proceso de modelado y reduciendo el esfuerzo computacional.

El estudio, además, analiza el comportamiento de una viga de acero sometida a una curva paramétrica de fuego, evaluando dos configuraciones de apoyo: articulada-articulada y empotrada-empotrada. Se comparan los resultados obtenidos mediante simulaciones realizadas con los programas Vulcan y Abaqus. En la configuración articulada-articulada, se observan diferencias mínimas entre los resultados de ambos programas, con deflexiones verticales permanentes considerables al final del período de enfriamiento y esfuerzos axiales residuales.

En la configuración empotrada-empotrada, se evidencia una influencia significativa de las condiciones de apoyo en las deflexiones, con valores casi la mitad de los obtenidos en la configuración articulada-articulada. Al final del período de calentamiento-enfriamiento, persisten fuerzas axiales residuales considerables. Las curvas de deflexión muestran deflexiones negativas durante la etapa de calentamiento y aumentan durante la etapa de enfriamiento, con trayectorias similares en ambas configuraciones de apoyo.

Las conclusiones destacan que las curvas de fuego de larga duración aumentan la deflexión y la fuerza axial de la viga, mientras que las de corta duración tienen un impacto menor. Las condiciones de apoyo afectan significativamente las deflexiones, y al final del incendio, permanecen fuerzas axiales residuales considerables, lo que debe tenerse en cuenta en el diseño estructural. La fuerza

axial se mantiene en órdenes de magnitud similares en los cuatro casos modelados.

**4.1.1.2.4 Estudio del Comportamiento Mecánico de Puertas Metálicas Bajo Fuego Mediante Modelización Numérica.** El texto resalta la importancia de las puertas resistentes al fuego en la protección contra incendios de estructuras, destacando su papel crucial en frenar la propagación del fuego y el humo dentro de un edificio o construcción para garantizar la seguridad. Se enfatiza la necesidad de estudiar la deformación de la puerta bajo la acción del fuego para diseñar puertas confiables y efectivas. Se menciona que las puertas deben contener el fuego y el humo, manteniendo el espacio entre el marco y la puerta lo más pequeño posible durante un período específico de tiempo.

La tesis se enfoca en puertas correderas de acero de gran tamaño, comúnmente utilizadas en entornos industriales o garajes. Se señala que el principal desafío con este tipo de puertas es la dificultad y el costo asociado con la realización de pruebas de fuego debido a su tamaño. Por lo tanto, se sugiere que un modelo de elementos finitos confiable de estas puertas sería beneficioso para la industria. Las puertas de acero analizadas en la tesis tienen dimensiones específicas y están compuestas por placas de acero con cierto grosor, así como aislamiento de lana mineral dentro de la puerta para mejorar su resistencia al fuego.

En el diseño de estructuras contra incendios, es común utilizar la curva estándar de fuego para representar la distribución de temperatura. En esta investigación, se empleó la curva estándar de fuego ISO 834, definida por la Ecuación:

Ecuación 3: Ecuación que gobierna la curva tiempo vs temperatura.

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

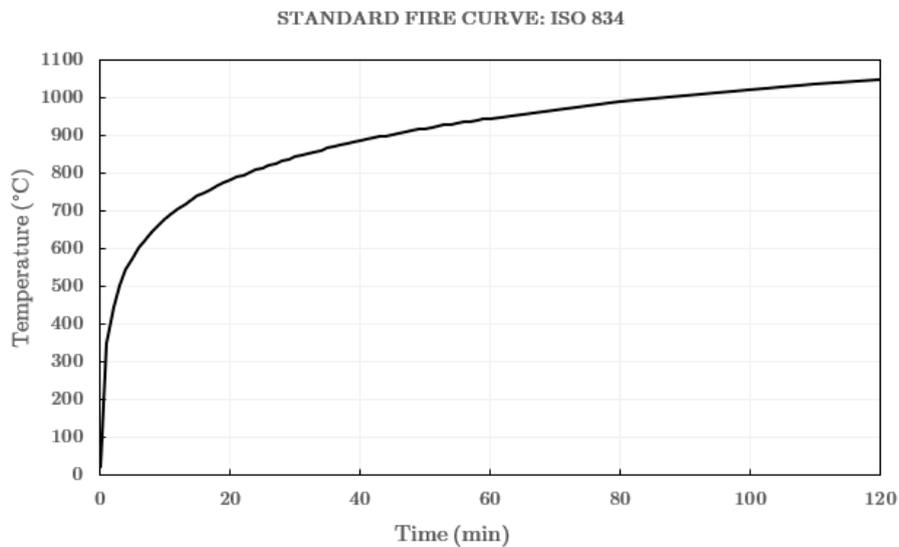
Fuente: Pérez, C. (2021).

donde  $t$  es el tiempo en minutos,  $T$  es la temperatura del horno en grados Celsius en el momento  $t$ , y  $T_0$  es la temperatura inicial en grados Celsius.

El material utilizado en el modelo desarrollado es acero galvanizado, típico en

el diseño de puertas resistentes al fuego. Se eligió el acero galvanizado ASTM A525, que ofrece la resistencia necesaria para los paneles de acero de la puerta. Este tipo de acero se caracteriza por su protección contra la corrosión mediante un recubrimiento de zinc-hierro, actuando como barrera contra elementos corrosivos.

Ilustración 10: Curva tiempo vs temperatura.



Fuente: Pérez, C. (2021).

El acero galvanizado A525 tiene un módulo de Young de 210 GPa, una relación de Poisson de 0.3 y una densidad de 7800 kg/m<sup>3</sup>. El diagrama de esfuerzo-deformación muestra la elongación del material versus el esfuerzo aplicado, y se divide en dos zonas: elástica y plástica. La relación de Poisson mide la expansión/contracción del material en diferentes direcciones según la carga aplicada.

Cuando el acero se expone a cambios de temperatura, sus propiedades mecánicas se degradan a medida que aumenta el calor, afectando la curva de esfuerzo-deformación y el módulo de Young. La resistencia al límite elástico y la pendiente del rango elástico disminuyen con el aumento de temperatura, variaciones determinadas en Eurocódigo-3 mediante diferentes factores de reducción.

**4.1.1.2.5 Influencia del Efecto del Fuego en el Diseño de Edificaciones Industriales.** El texto aborda la acción del fuego, desencadenada principalmente por incendios, que pasan por distintas etapas: ignición, crecimiento, desarrollo y

declinación. La fuente de ignición puede variar en velocidad según la combustión y el oxígeno disponibles, lo que provoca un crecimiento rápido del fuego, aumentando el calor y propagándose a elementos combustibles de la estructura. Durante el período de crecimiento y desarrollo, se experimentan los mayores cambios de temperatura en el ambiente.

Estos cambios de temperatura causan la degradación de las propiedades mecánicas de los materiales expuestos a elevadas temperaturas, especialmente en materiales con altas conductividades como el acero. A pesar de ello, el acero es ampliamente utilizado en estructuras industriales debido a su fácil manipulación, constructividad y excelentes propiedades. Sin embargo, surge la necesidad de protegerlo contra los efectos del fuego mediante protección pasiva.

Aunque existen diversas formas de proteger al acero del calor, la protección pasiva es obligatoria según la OGUC (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones), aunque a menudo se prioriza la protección activa debido a su bajo costo y fácil implementación. Los códigos de diseño, como el ANSI/AISC 360-10, NFPA 220 y ASTM E119, ofrecen métodos para el diseño de estructuras de acero en condiciones de fuego. Sin embargo, investigaciones muestran que en muchos proyectos aprobados hasta el año 2020, la especificación de la pintura intumescente, una forma común de protección pasiva es incorrecta o poco efectiva. A menudo se promueve incorrectamente que la pintura intumescente proporciona aislamiento completo del acero contra el fuego, lo que no es del todo cierto en la práctica.

La temperatura crítica es la máxima temperatura que un elemento estructural puede alcanzar sin colapsar mientras soporta cargas de diseño en una situación de incendio. Si esta temperatura crítica se supera, el elemento estructural colapsaría. Se utilizan dos métodos para determinar la temperatura crítica: uno basado en el dominio de la temperatura y otro basado en el dominio de las resistencias.

Sin embargo, para la aplicación de pintura intumescente, los proveedores suelen definir en las especificaciones de su producto una temperatura crítica

estimada para el acero, que generalmente es de 500°C (aunque puede variar según el producto). El Listado Oficial de Comportamiento al Fuego también establece una temperatura crítica de 500°C para el acero.

La protección pasiva tiene como función principal proporcionar un aislamiento a los elementos de acero, permitiéndoles resistir el fuego durante un período de tiempo específico sin alcanzar temperaturas peligrosas. Esto retrasa la propagación del fuego y facilita la evacuación segura de los ocupantes, así como brinda tiempo para que los bomberos intervengan.

Los métodos de protección incluyen revestimientos que pueden ser intumescentes o sublimantes, que reaccionan ante el fuego para proporcionar aislamiento. Se utilizan diversos sistemas, como protección pulverizada con compuestos químicos que absorben calor, sistemas secos como placas de hidrosilicato o paneles de lana de roca, que actúan como barreras térmicas, y revestimientos intumescentes. Estos sistemas deben cumplir con ciertas características clave, como resistir temperaturas críticas, ser incombustibles, tener baja conductividad térmica y adherirse firmemente al acero.

La normativa chilena, específicamente el Artículo 4.3.3 del Manual de Seguridad contra Incendios de la Cámara Chilena de la Construcción, establece requisitos de resistencia al fuego para los elementos estructurales de los edificios, medidos en minutos. Esta resistencia varía según el tipo de elemento y el uso previsto del edificio, con valores que van desde 15 hasta 180 minutos, en incrementos de 15, 30 o 60 minutos.

Los elementos se clasifican en tipos del 1 al 9, como verticales u horizontales, y la resistencia mínima requerida se determina según el destino del edificio, conforme al Capítulo 3 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC). Los tipos de edificios A, B, C y D se definen en función del uso, la superficie edificada, la carga combustible, la capacidad de ocupantes y el número de pisos, de acuerdo con los estudios basados en las Tablas 1, 2 y 3 de la OGUC. Se debe cumplir con la exigencia más alta si un elemento requiere múltiples

resistencias.

Para estimar las cargas combustibles, se realiza un análisis de la cantidad total de calor que podría liberar un incendio potencial, considerando los materiales de construcción y sus contenidos, regido por la normativa NCh1916Of.1999. La clasificación de edificios también se basa en la densidad de carga combustible media y la densidad de carga combustible puntual máxima, según la normativa NCh1993Of.1998. Se destaca que una clasificación incorrecta puede generar sobrecostos y el diseño inadecuado de estructuras con protección contra incendios, incluyendo problemas con el espesor de la protección.

#### 4.1.2 Resultados del Trabajo de Campo

##### 4.1.2.1 Cotización Empresa Megametales.

Ilustración 11: Cotización acero A36 calidad estructural - Empresa Megametales.

<b>MEGAMETALES S.A.</b>		Cotización No. : 1109769	
MAPASINGUE ESTE MZ.S-A SOLAR11			
Tel:	04-3903660 Ext. 1804/1805/1806		
Ruc:	0992166070001		
Almacén:	L5 MAPASINGUE	Fecha:	09/02/2024
Cliente:	0990430397 BRITO VASQUEZ BRYAN MARCOS	Vendedor:	MM2 MUNIZ ARREAGA MARI SC

Producto	Descripción	Cantidad	Precio	Subtotal	Dcto 1	Dcto 2	Total
P125	PLANCHA NEGRA 1/40 0.60 MM (4X8)	1.00	15.3724	15.3724	25.00	-3.00	11.1800

<b>Peso Total en Kg: 12 KG</b>	
Su <b>ahorro</b> total es <b>\$4.19</b>	
Preséntenos una mejor oferta y se la mejoramos.	Subtotal :
El descuento (Dcto 1) es un <b>beneficio</b> que sólo aplica para pagos de contado (efectivo o cheque).	Exento :
Las existencias y los precios están sujetos a cambios sin previo aviso.	I.V.A : 12.00 %
	<b>Total :</b>
	11.18
	.00
	1.34
	<b>12.52</b>

Fuente: Megametales S.A.

Elaborado por: Brito, B. (2024).

#### 4.1.2.2 Cotización Empresa Hidelec.

Ilustración 12: Cotización acero A36 calidad estructural - Empresa Hidelec.

**COTIZACION**  
**HIDELEC** 0042102

Fecha:

Si tiene otra Proforma podemos reajustarla, siempre a su favor.

Mapasingue Este - Av. Segunda 501 entre Calle Sept  
TELEFONO/FAX. /

eMail:

FECHA: 08/feb/2024 Hora: 12:51

CLIENTE: Consumidor final

CI/RUC: 999999999999999

ATENCIÓN A:

CANT.	DESCRIPCION	P.V.P.	Desc 5%	TOTAL
1	PLAN NEG 1/40 (0.5) 4 X 8	12.000	11.429	11.43

Sub-total	Desc 5%	Sub-total	I.V.A.	Total
12.00	0.57	11.43	1.37	12.80

NOTA:

VALIDEZ : 1 día

CONTACTARSE CON : Gabri Gerencia

\*\*\*GRACIAS POR SU VISITA\*\*\*

**\*Estimado Cliente, puede comprar en uno y retirar en otro Punto de Venta, de acuerdo a su comodidad.**  
**\*Sugerencias y reclamos favor contactarse en el Telf.: 2 004215**

Fuente: Hidelec S.A.

Elaborado por: Brito, B. (2024).

#### 4.1.2.3 Cotización Empresa Dipac.

La empresa de razón social Dipac Manta S.A. no suele tener como política la emisión de proformas de sus productos. Sin embargo, expresó que el acero A36 en su presentación de lámina de acero negro a un espesor de 0.50 mm y dimensiones de 4x8 pies, producto de su portafolio de comercialización, tenía un precio de \$12.70.

## **4.2 Propuesta**

Para tener en cuenta los lineamientos de mejora constructiva en protección contra incendios implican la implementación de medidas y técnicas que aumenten la seguridad y reduzcan los riesgos de propagación del fuego en las edificaciones.

### **4.2.1 Informe de Buenas Prácticas Constructivas Enfocadas a la Protección Contra Incendios**

**4.2.1.1 Materiales Resistentes al Fuego.** Utilizar materiales de construcción que sean inherentemente resistentes al fuego o que puedan ser tratados con recubrimientos intumescentes para aumentar su resistencia al calor. En base a los textos consultados se pudo determinar que de forma específica para instalaciones de estructura metálica e aconsejable realizar revestimientos a fin de aislar las partes metálicas expuestas directamente al calor. Estos materiales pueden ser morteros de revestimiento y pinturas ignífugas.

**4.2.1.2 Sistemas de Detección y Alarma Temprana.** Instalar sistemas de detección de incendios y alarmas que alerten a los ocupantes y a los servicios de emergencia en caso de un incendio.

**4.2.1.3 Sistemas de Extinción de Incendios.** Implementar sistemas de extinción de incendios adecuados, como rociadores automáticos, extintores portátiles, y sistemas de supresión de incendios por gas, según sea necesario para las características y riesgos de la edificación.

**4.2.1.4 Compartimentación.** Diseñar la edificación con compartimentos cortafuegos para limitar la propagación del fuego y los humos, restringiendo así el alcance del incendio y proporcionando rutas de escape seguras.

**4.2.1.5 Vías de Escape Seguras** Diseñar y mantener vías de escape claras y seguras, incluyendo escaleras bien iluminadas y amplias, salidas de emergencia claramente marcadas y accesibles, y sistemas de iluminación de emergencia.

**4.2.1.6 Entrenamiento y Concienciación.** Proporcionar formación en seguridad contra incendios a los ocupantes del edificio para que sepan cómo reaccionar en caso de emergencia y cómo utilizar los equipos de extinción de incendios.

**4.2.1.7 Mantenimiento Regular.** Realizar inspecciones y mantenimiento regulares de los sistemas de protección contra incendios, como sistemas de detección, extinción, iluminación de emergencia y vías de escape, para garantizar su funcionamiento óptimo en caso de emergencia.

**4.2.1.8 Plan de Emergencia.** Desarrollar y practicar un plan de emergencia detallado que incluya procedimientos de evacuación, puntos de encuentro, responsabilidades del personal y coordinación con los servicios de emergencia locales.

Al implementar estas medidas, se puede mejorar significativamente la protección contra incendios en las edificaciones, reduciendo el riesgo de pérdidas humanas y materiales en caso de un incendio.

## CONCLUSIONES

- Se concluyó que los parámetros de comportamiento mecánico que fueron principalmente analizados en situación de incendio fueron:

Módulo de elasticidad: También conocido como módulo de Young, es una medida de la rigidez de un material. Indica la relación entre la tensión aplicada y la deformación resultante dentro del rango elástico.

Resistencia a la tracción: Es la máxima fuerza que puede soportar un material antes de fracturarse. Se mide en unidades de presión, como MPa (megapascales) o psi (libras por pulgada cuadrada).

Límite elástico: Es la máxima tensión a la que un material puede ser sometido y aún retornar a su longitud original una vez que la carga se elimina.

- Se concluyó que los métodos de ensayo al acero en condiciones de incendio están contenidos en un amplio espectro de normas enfocadas a la seguridad tanto nacionales como internacionales.
- Se concluyó que enfocando los procesos constructivos hacia la protección contra incendios se logran minimizar los riesgos y aumentar la seguridad en las edificaciones. Al mismo tiempo, un enfoque técnico basado en el comportamiento mecánico del acero generó un contexto de aprendizaje sobre cómo proteger particularmente el acero contra el fuego.
- La propuesta estuvo basada en el análisis previo de las necesidades, es decir, los requerimientos mínimos a tomar en cuenta al momento de planificar una edificación.

## **RECOMENDACIONES**

- Es aconsejable dedicar un espacio al enfoque sobre la protección contra incendios en la planificación de proyectos constructivos mediante el análisis de los materiales a utilizar. Durante la investigación resultó evidente que de acuerdo a la conductividad térmica de los materiales, en parte, depende si un incendio se expande o limita su rango de acción de daños.
  
- Se aconseja revisar manuales de implementación de mejoras para edificios ya construidos y que no tuvieron el enfoque antes mencionado. Con consulta previa de un profesional especialista, establecer los criterios y necesidades de la edificación para poder implementar las mejoras.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Referencias

- Alonso de Silvero, M., y Aguilera, P. S. (2020). *Evaluación de riesgo de incendio en hoteles de San Bernardino, Paraguay*. SciELO: [http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2076-054X2020005100026](http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2076-054X2020005100026)
- Aranda Díaz, A. (2018). *Plan interno de seguridad contra incendios*. Repositorio Institucional de Investigación - Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz: <http://reini.utcv.edu.mx/handle/123456789/361>
- Bespin, A., Pérez, N., Martínez, E., y Scola, S. (2018). Efecto del fuego sobre la resistencia a tracción del acero de refuerzo en. *Ingeniería UC*.
- Calderón Rivera, M. A. (2018). *Diseño De Presurización De Escaleras Para La Evacuación Ante El Suceso De Un Incendio En El Edificio De Comercio - Chorrillos*. DSpace - JSPUI: <https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/494>
- Camacho Piedra, C. A. (2019). *Propuesta de programa para la mejora de las condiciones en seguridad humana contra incendios y accesibilidad para las residencias estudiantiles del Campus Tecnológico Local San Carlos*. Repositorio TEC: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/11512>
- Camaraza Medina, Y. (2022). *Influencia de la temperatura y la composición en la predicción de las propiedades termofísicas del acero (I)*. SciELO: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202022000300382&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202022000300382&script=sci_arttext&tlng=en)
- Carbo Andrade, R. A. (2022). *Implementación de protección contra incendios en procesos constructivos*. Editorial Politécnico Grancolombiano: <https://journal.poligran.edu.co/index.php/gsst/article/view/3013>
- Ciappesoni, C. D. (2021). *Sistema de Evacuación y Protección contra incendio en Edificio Industria*. Repositorio Institucional - Centro de Recursos para el Aprendizaje e Investigación - Universidad Siglo 21: <https://repositorio.21.edu.ar/handle/ues21/23216>
- De la Herrán Souto, A., Martínez Collado, J. C., y Cabrera Ayllón, A. (2019). *Incendios Industriales*. face2fire: <https://www.face2fire.com/>
- Díaz Rubiano, S., y Rozo García, W. A. (2019). *Guía para el diseño hidráulico de redes contra incendio, mediante el estudio de caso del Edificio la Quinta (Chapinero, Bogotá D.C)*. Institutional Repository - Universidad Piloto de Colombia: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/4877>
- Echeverría, J. B., Rubio, N., Rodríguez, I., Jonsson, J., Vigne, G., y Sánchez, J. (2020). *Retos de la seguridad en caso de incendio de levantes en edificios de vivienda existentes*. Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7580616>

- Espín Lagos, S. M., y Guamanquispe Vaca, F. P. (2022). *Caracterización de elementos estructurales de acero que hayan sido expuestos a diferentes tiempos y temperaturas debido a un incendio*. Repositorio Universidad Técnica de Ambato: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/34735>
- Figuera Serna, O. J. (2020). *Guía de procedimiento para la protección contra incendio de vigas metálicas basado en el Título J de la NSR-10*. Repositorio Institucional UNILIBRE: <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/20231?show=full>
- Flores Padilla, C. E. (2019). *Diseño de un sistema de agua contra incendio para el centro Comercial Batán Shopping perteneciente a la empresa Piedra Huasi S.A.* DSpace - Universidad del Azuay: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8662>
- García, M. (2023). *Informe de seguridad, higiene y medio ambiente para la empresa MAN SER S.R.L. Diseño de un plan de emergencia y evacuación*. Repositorio Institucional - Centro de Recursos para el Aprendizaje e Investigación - Universidad Siglo 21: <https://repositorio.21.edu.ar/handle/ues21/27438>
- González Castro, A., y Sandoval Jimenez, J. A. (2019). *Guía metodológica para instalaciones hidráulicas de redes contra incendio en instituciones educativas*. Ciencia Unisalle: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_civil/325/](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/325/)
- González Sáenz, D. M., Volpi León, V., Serralde Lealba, J. R., Bigurra Alzati, C. A., Juárez Sedano, A. D., y Sánchez Roldán, M. E. (2023). *Revisión del estado actual de los sistemas de protección pasiva contra incendios (PPCI) y su impacto en la alcaldía Cuauhtémoc, Ciudad de México*. Padi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/view/11522>
- Jiménez Flores, G. A. (2018). *Análisis de los sistemas electrónicos de alarma, detección y extinción automática de incendios en las nuevas edificaciones multiusos en Colombia*. Repositorio Institucional UMNG: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/20396>
- Martínez Pérez, Y. E., Collazo Carceller, R., Autie Pérez, M. A., y Valín Rivera, J. L. (2021). *Efectos de la conductividad térmica en la pared sólida de palanquillas de acero en el molde*. ResearchGate: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59442021000100046&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59442021000100046&script=sci_arttext&tlng=en)
- Mucha Hospinal, L. F., Chamorro Mejía, R., Oseda Lazo, M. E., y Alania Contreras, R. D. (2020). Evaluación de procedimientos empleados para determinar la población y muestra en trabajos de investigación de posgrado. *Desafíos*.
- Ochoa, J., y Yunkor, Y. (2019). El estudio descriptivo en la investigación científica. *Acta Jurídica Peruana*.

- Orozco Alvarado, J. C., y Díaz Pérez, A. A. (2018). ¿Cómo redactar los antecedentes de una investigación cualitativa? *Revista Electrónica de Conocimientos, Saberes y Prácticas*.
- Ortega, C. (s.f.). ¿Cómo realizar un muestreo aleatorio simple? QuestionPro: <https://www.questionpro.com/blog/es/como-realizar-un-muestreo-aleatorio-simple/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20el%20muestreo%20aleatorio,en%20cualquier%20etapa%20del%20proceso>.
- Placeres, J. M. (2018). Diseño de sistemas de detección y alarma de incendio. *Negocios de Seguridad*.
- Rincón Quintero, A. D., Rondón Romero, W. L., Cárdenas Arias, C. G., Ducey Díaz, D. C., y Sandoval Rodríguez, C. L. (s.f.). *Procedimiento experimental para la determinación de la conductividad térmica de los aceros AISI SAE 1045 y 4140 mediante el método de barras concéntricas*. Repositorio Institucional RI - UTS: [http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/881/IPP-Coautor\\_1-IPP%20CONDUCTIVIDAD.pdf?sequence=1](http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/881/IPP-Coautor_1-IPP%20CONDUCTIVIDAD.pdf?sequence=1)
- Salgado Vega, M. (2019). *Muestra probabilística y no probabilística*. Repositorio Institucional - Universidad Autónoma del Estado de México: [http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/108928/secme-10911\\_1.pdf?sequence=](http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/108928/secme-10911_1.pdf?sequence=)
- Sánchez Flores, F. A. (2019). Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: Consensos y disensos. *Revista Digital de Investigación En Docencia Universitaria*.
- Sempere Ibáñez, J. F. (2021). *Diseño y proyecto de un sistema estructural de acero sismorresistente según el EC-8, incluyendo instalaciones de suministro de agua, ACS, saneamiento y protección contra incendios, de un hangar privado de 5.000m<sup>2</sup> de superficie construida*. Repositorio Institucional UPV: <https://riunet.upv.es/handle/10251/158663>
- Servin Castañeda, R., López Reyna, L., García Yregol, M., Rosales Sosa, M. G., y Barrera Moreno, M. A. (2018). Desarrollo de un modelo de redes neuronales artificiales para predecir la dureza de la superficie de un acero A - 36, tomando como variables la deformación térmica y la temperatura, producidas a lo largo del proceso de soldadura. *Revista del Diseño Innovativo*.
- Torres Zafra, F., y Torres Castellanos, N. (2018). *Conceptos básicos y principales metodologías del diseño estructural para condiciones de incendio según normas internacionales, aplicadas al Reglamento Colombiano de Construcciones Sismorresistentes (NSR-10)*. Repositorio Digital Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1887>
- Urbina, E. C. (2020). Investigación Cualitativa. *ASD Journal - Applied Sciences in Dentistry*.

Villa Sanchez, F., y Alvarado Aguilar, C. (2018). Plan de emergencia en caso de incendio para una institución superior en el Ecuador. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*.