



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO AL FUEGO DE
VIGAS TIPO I CON SECCIÓN REDUCIDA:
EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA ESTRUCTURAL
FRENTE A CONDICIONES DE INCENDIO.**

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

AUTOR: RONNY DAMIÁN CABRERA PESANTEZ

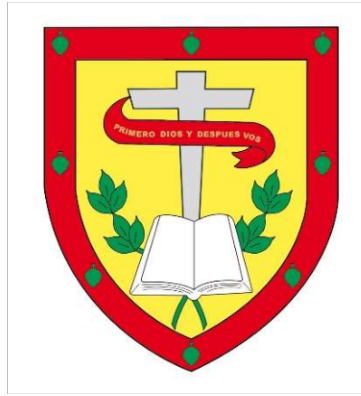
CARLOS IVÁN TENEZACA ORTÍZ

DIRECTOR: ING. MSC. CARLOS JULIO CORDERO CABRERA.

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO AL FUEGO DE VIGAS TIPO I
CON SECCIÓN REDUCIDA: EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA
ESTRUCTURAL FRENTE A CONDICIONES DE INCENDIO.

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

AUTOR: RONNY DAMIÁN CABRERA PESANTEZ

CARLOS IVÁN TENEZACA ORTÍZ

DIRECTOR: ING. MSC. CARLOS JULIO CORDERO CABRERA.

CUENCA – ECUADOR


2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD

Ronny Damián Cabrera Pesantez y Carlos Iván Tenezaca Ortiz, portadores de las cédulas de ciudadanía N° 0106927999 y 0302658182. Declaramos ser los autores de la obra: **“Análisis del comportamiento al fuego de vigas tipo I con sección reducida: Evaluación de la resistencia estructural frente a condiciones de incendio”**, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 8 de agosto de 2024

F: 

Ronny Damián Cabrera Pesantez

C.I. 0106927999

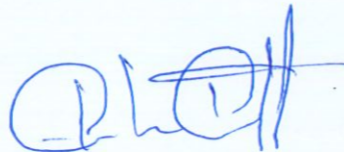
F: 

Carlos Iván Tenezaca Ortiz

C.I. 0302658182

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Yo, Carlos Julio Cordero Cabrera, certifico que el presente trabajo de titulación, fue ejecutado por los estudiantes Cabrera pesantez Ronny Damián y Tenezaca Ortiz Carlos Iván bajo mi dirección:



F:

Carlos Julio Cordero Cabrera

0103382958

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, primeramente, a Dios por darme sabiduría, salud y fortaleza para poder lograr y alcanzar esta meta. A mi padre Genaro Cabrera, que siempre me apoyo y nunca hizo que me faltara nada durante la carrera. Por siempre lograr darme todo lo que necesito y enriquecer mi conocimiento con su sabiduría, sus palabras y su afecto incondicional. A mi madre Piedad Pesantez, que siempre estuvo ahí para reconfortarme y brindarme su cariño. Apoyarme con sus sabias palabras y alentarme a llegar más lejos de lo que creí que podría. Que supo corregirme y guiarme durante todo este largo camino que he tenido. A mis hermanos, Magno y Carla porque sin sus palabras, sermones y su gran apoyo que me trajeron hasta aquí. Que fueron mi pañuelo en los momentos más difíciles de mi carrera.

A cada uno de mis profesores de la Universidad Católica de Cuenca, que compartieron sus conocimientos, su apoyo. A mis amigos que siempre me ayudaron durante mis estudios, mis compañeros de aula que me brindaron esa mano amiga. A Carlos y Tatiana, que siempre estuvieron ahí en las buenas, en las malas, en esas largas noches y por todos los buenos momentos.

-Ronny Damián Cabrera Pesantez

El presente trabajo se lo dedico primero a Dios, quien me ha dado la oportunidad de vivir y ha sido guía y maestro a lo largo de mi carrera universitaria. A mis padres, Rosa Ortiz y Wilson Tenezaca quienes han sido pilar fundamental en el trayecto de esta travesía,

principalmente a mi madre que siempre me ha brindado apoyo en los momentos más difíciles y que nunca permitió que me diera por vencido. Gracias papá y mamá por darme una carrera para el futuro, por creer en mí y por todo el sacrificio que han realizado durante estos años. A mis hermanas Gissela e Isabella gracias por estar siempre a mi lado y ser una parte importante de mi vida. Finalmente quiero agradecer a todos mis familiares que me brindaron su apoyo incondicional, este logro también es para ustedes.

-Carlos Iván Tenezaca Ortiz

AGRADECIMIENTO

Al finalizar este trabajo de titulación queremos agradecer primero a Dios por darnos la fortaleza y la capacidad de superar las dificultades a lo largo de la carrera. A nuestros familiares por ser nuestro principal apoyo e inspiración, por demostrarnos que con esfuerzo y dedicación podemos cumplir cada meta y sueño propuesto.

A los docentes de la facultad de Ingeniería Industria y Construcción, especialmente de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Cuenca quienes a través de sus conocimientos brindados nos han ayudado a la formación como profesionales.

A nuestro estimado director de tesis, ING. Msc. Carlos Cordero y a nuestro Asesor Metodológico, Ingeniero Juan Monge por ayudarnos a cumplir con los objetivos planteados en este trabajo. También agradecemos de una manera especial a la Ingeniera Claudia Ortiz e Ingeniera MGs Paola Delgado por guiarnos y apoyarnos durante todo el proceso de titulación.

RESUMEN

Los incendios han presentado un peligro para las construcciones, debido a que estos al llegar a temperaturas elevadas son capaces de alterar las propiedades mecánicas de las estructuras provocando que los elementos fallen y lleguen al colapso. Es por eso que el objetivo del presente trabajo de investigación es evaluar el comportamiento de un elemento estructural de acero como las vigas tipo I armadas con sección reducida ante la exposición del fuego en intervalos de tiempo (5, 10 y 15 minutos).

El cálculo y diseño de los elementos estructurales se realizó mediante normativa AISC 341-16, AISC 358-16, AISC 360-16, AWS y del software IDEA StatiCa. Se utilizaron vigas IPE 140 y una columna HEB 160 armadas, pernos ASTM 354 o grado 8 y placas con espesores de 10 y 20 mm. Los ensayos se lo realizaron con la ayuda de la prensa hidráulica ubicada en el CIITT de la Universidad Católica de Cuenca, mientras que la aplicación del fuego y la medida de las temperaturas se lo realizó con herramientas manuales.

Los resultados demostraron que las vigas sometidas a fuego durante más tiempo, presentaron una mayor deformación y una menor capacidad de carga. Existe una reducción del 57.37% de la viga patrón con respecto a la viga con mayor exposición al fuego. Se observó un ligero pandeo en las vigas expuestas al fuego durante más tiempo. También se evidenció que a mayor tiempo se encuentre una viga sometida a fuego menor es la capacidad de retención de calor.

Palabras clave: sección reducida, vigas tipo i, temperatura, deformación, comportamiento del acero

ABSTRACT

Fires have become a danger for buildings because when they reach high temperatures, they can alter the mechanical properties of structural elements, causing them to fail and collapse. Therefore, this research aims to evaluate the behavior of a steel structural element, such as type I-beams with reduced cross-section, under fire exposure at time intervals (5, 10, and 15 minutes).

The structural elements were calculated and designed using AISC 341-16, AISC 358-16, AISC 360-16, AWS, and IDEA StatiCa software. IPE 140 beams and a reinforced HEB 160 column, ASTM 354 or grade 8 bolts, and plates with 10 and 20 mm thicknesses were used. The tests were conducted with the help of the hydraulic press located at the Research, Innovation, and Technology Transfer Center (CIITT by its Spanish acronym) of the Catholic University of Cuenca, while the application of fire and the measurement of temperatures were performed with manual tools.

The results showed that the beams exposed to fire for a longer period exhibited greater deformation and lower load capacity. There is a 57.37% reduction of the standard beam compared to the beam with the longest fire exposure. Slight buckling was observed in the beams exposed to fire for extended periods. It was also shown that the longer a beam is exposed to fire, the lower its heat retention capacity.

Keywords: reduced section, type I beams, temperature, deformation, steel behavior

TABLA DE CONTENIDO

DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD.....	3
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS.....	4
DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTO	7
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
1 CAPITULO I: GENERALIDADES.....	16
1.1. Introducción	16
1.2. Formulación del problema	16
1.3. Delimitación del problema.....	21
1.4. Justificación	22
1.5. Objetivos.....	22
1.5.1. Objetivo general	22
1.5.2. Objetivos específicos.....	23
2 CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE Y MARCO CONCEPTUAL.....	24
2.1. Estado del arte.....	24
2.2. Marco Teórico.....	33
2.2.1. Propiedades mecánicas del acero	33
2.2.2. Ventajas del acero	36
2.2.3. Desventajas del acero	36
2.2.4. Valores de R_y y R_t , ANSI/AISC 341-16	38
2.2.5. Comprobación de Patín y Alma de la viga.....	39
2.2.6. Diseño de viga a momento - flexión (Zona de trabajo).....	42
2.2.7. Sección Reducida – AISC 358-16.....	44

2.2.8.	Rótula Plástica.....	44
2.2.9.	Parámetros para diseño de sección reducida en viga	45
2.2.10.	Diseño de sección reducida y columna.....	45
2.2.11.	Pernos estructurales, ASTM A354	52
2.2.12.	Transferencia de calor	53
3	CAPITULO III: METODOLOGÍA.....	55
3.1.	Diseño de la Viga.....	55
3.1.1.	Dimensiones de la Sección Reducida.....	56
3.1.2.	Comprobación de Ductilidad en la viga.....	57
3.1.3.	Cálculo de la fuerza en la punta del voladizo.....	59
3.1.4.	Cálculo de Momentos y Cortantes en la Sección reducida	60
3.2.	Diseño de la conexión.....	61
3.2.1.	Configuración de la Normativa de Diseño.....	61
3.2.2.	Configuración del material.....	62
3.2.3.	Geometría de los elementos estructurales	63
3.2.4.	Introducción de Cargas.....	64
3.2.5.	Diseño de Pernos, Placas y Soldaduras.....	65
3.2.6.	Verificación de la conexión.....	67
3.2.7.	Deformaciones Esperadas	68
3.3.	Fabricación de los elementos estructurales.....	68
3.4.	Ensayo a Flexión de las distintas Vigas.....	71
3.4.1.	Materiales	71
3.4.2.	Prensa Hidráulica	74
3.4.3.	Montaje.....	75
3.4.4.	Carga	76

3.4.5.	Ensayo de vigas sin fuego	77
3.4.6.	Protección contra el fuego.....	79
3.4.7.	Ensayo de vigas con fuego.....	80
4	CAPITULO IV: RESULTADOS.....	84
4.1.	Análisis de datos	84
4.1.1.	Viga patrón.....	84
4.1.2.	Viga con tiempo de exposición de 5 minutos	85
4.1.3.	Vigas con tiempo de exposición de 10 minutos.....	86
4.1.4.	Vigas con tiempo de exposición de 15 minutos.....	87
4.2.	Comparación de resultados	87
4.3.	Temperaturas del fuego durante el quemado	92
4.4.	Muestras ensayadas.....	97
5	CAPITULO V: CONCLUSIONES	106
5.1.	Conclusiones.....	106
5.2.	Recomendaciones	107
6	BIBLIOGRAFÍA.....	109
	AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	113

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Revisión de Literatura.</i>	24
<i>Tabla 2. Valores de R_y y R_t para distintos Aceros.</i>	39
<i>Tabla 3. Fórmulas para cálculo de ductilidad – Patín.</i>	39
<i>Tabla 4. Fórmulas para el cálculo de ductilidad – Alma.</i>	40
<i>Tabla 5. Propiedades del Acero Estructural.</i>	55
<i>Tabla 6. Valores para sección reducida.</i>	56
<i>Tabla 7. Cálculo de momentos y cortante en sección reducida.</i>	60
<i>Tabla 8. Cálculo de momentos y cortante para cara de la columna.</i>	60
<i>Tabla 9. Geometría de viga reducida y Columna.</i>	64
<i>Tabla 10. Selección de placas y pernos.</i>	66
<i>Tabla 11. Pasos para montar las muestras.</i>	75
<i>Tabla 12. Cargas máximas y deformaciones en vigas.</i>	88
<i>Tabla 13. Porcentaje de trabajo en vigas ensayadas.</i>	90
<i>Tabla 14 Cálculo de rigidez.</i>	92
<i>Tabla 15. Valores de temperatura - Viga de 5 minutos.</i>	94
<i>Tabla 16. Valores de temperatura - Viga de 10 minutos.</i>	94
<i>Tabla 17. Valores de temperatura - Viga de 15 minutos.</i>	94
<i>Tabla 18. Daños en vigas sin fuego.</i>	97
<i>Tabla 19. Daños en viga al fuego - 5 minutos.</i>	99
<i>Tabla 20. Daños en viga al fuego - 10 minutos.</i>	101
<i>Tabla 21. Daños en viga al fuego - 15 minutos.</i>	103

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Diagrama de barras de construcciones con distintos materiales – En Ecuador...</i>	17
<i>Figura 2. Reducción de la capacidad de trabajo de vigas expuestas a fuego.</i>	18
<i>Figura 3. Datos de incendios registrados en la zona sur del país.</i>	20
<i>Figura 4. Tabla de propiedades mecánicas para el acero ASTM A36.</i>	34
<i>Figura 5. Ubicación de sección reducida en vigas tipo I.....</i>	46
<i>Figura 6. Diagrama de cortante y momento en la cara de la columna.</i>	49
<i>Figura 7. Representación de la conducción del calor.</i>	54
<i>Figura 8. Geometría de la viga.</i>	56
<i>Figura 9. Factores de diseño (LRFD).....</i>	61
<i>Figura 10. Propiedades del acero - Editado.....</i>	63
<i>Figura 11. Cargas para el modelamiento.</i>	65
<i>Figura 12. Modelamiento 3D.....</i>	66
<i>Figura 13. Análisis del diseño por capacidad en el software Idea StatiCa.</i>	67
<i>Figura 14. Deformaciones esperadas en la viga.....</i>	68
<i>Figura 15. Taller de fabricación para muestras a ensayar.</i>	69
<i>Figura 16. Vigas a ensayar.</i>	70
<i>Figura 17. Columna para ensayos.</i>	71
<i>Figura 18. Protección para ensayos.</i>	72
<i>Figura 19. Pistola para temperatura - Láser.....</i>	73
<i>Figura 20. Termocupla.....</i>	73
<i>Figura 21. Prensa Hidráulica.</i>	74
<i>Figura 22. Aplicación de carga en viga.....</i>	77
<i>Figura 23. Ensayo con carga.</i>	78
<i>Figura 24. Deformación de viga.</i>	78

<i>Figura 25. Protección para pernos y columna.</i>	<i>79</i>
<i>Figura 26. Placas de gypsum y vigas a ensayar.</i>	<i>80</i>
<i>Figura 27. Ensayo en viga - 10 minutos.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 28. Ensayo a fuego en viga - 15 minutos.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 29. Aplicación del fuego en sección reducida de viga.</i>	<i>83</i>
<i>Figura 30. Viga patrón.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 31. Viga con exposición al fuego de 5 minutos.</i>	<i>85</i>
<i>Figura 32. Viga con exposición al fuego de 10 minutos.</i>	<i>86</i>
<i>Figura 33. Viga con exposición al fuego de 15 minutos.</i>	<i>87</i>
<i>Figura 34. Comparación de vigas ensayadas.</i>	<i>88</i>
<i>Figura 35. Fuerza máxima en vigas.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 36. Deformaciones en vigas ensayadas.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 37 Pendiente para rigidez.</i>	<i>91</i>
<i>Figura 38. Comportamiento de la temperatura en las vigas.</i>	<i>93</i>
<i>Figura 39. Porcentaje promedio de transmisión térmica en las vigas.</i>	<i>96</i>

1 CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1.Introducción

El acero es uno de los materiales más usados en obras de ingeniería. Hoy en día gran parte de las edificaciones que se observan tiene como material de construcción principal al acero, esto debido a las grandes capacidades mecánicas que estos poseen. Una de las más destacables ventajas que los elementos de acero presentan reside en su relación resistencia/peso. No obstante, existe un inconveniente notable, el cual se trata del comportamiento ante el fuego por las elevadas temperaturas que puede ocasionar un incendio.

El diseño y análisis de estructuras resistentes al fuego es un aspecto crucial para garantizar la seguridad y la integridad de edificaciones en situaciones de incendio. Las vigas tipo I con sección reducida han surgido como una opción innovadora que busca mejorar la capacidad de adaptación y la eficiencia estructural de las edificaciones, con el objetivo de que estas sean resistentes a movimientos telúricos del suelo y garantizar que la estructura no colapse.

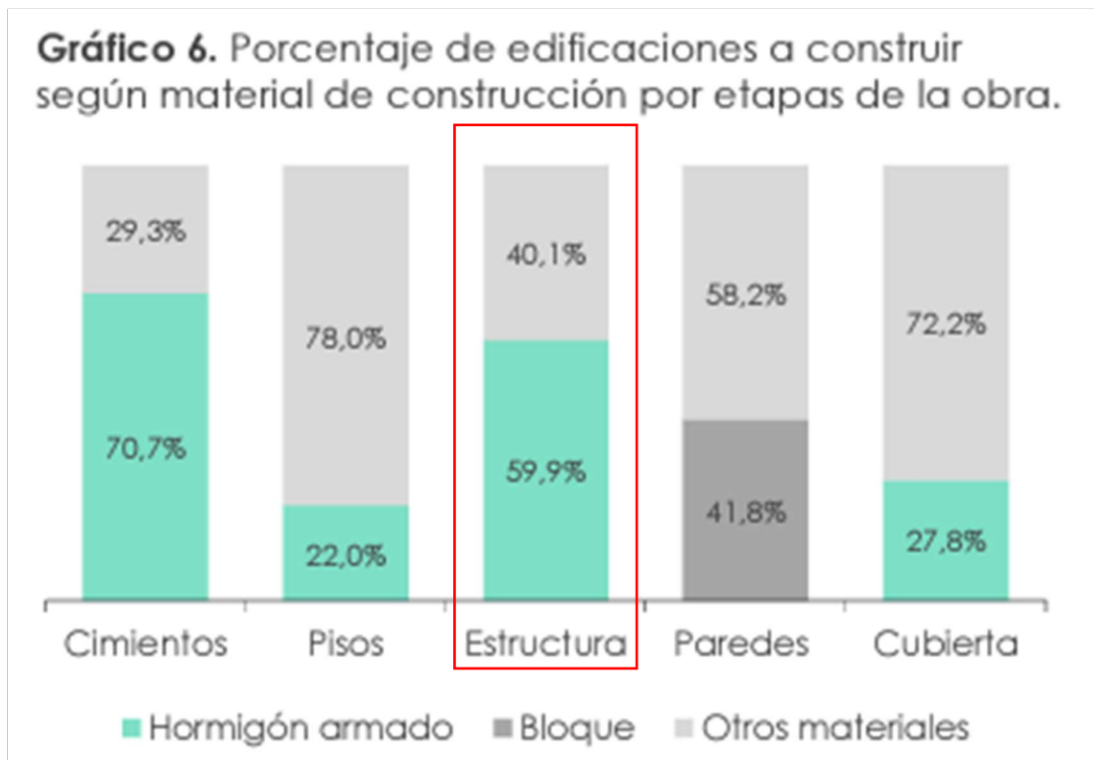
Se conoce el comportamiento de las secciones reducidas en condiciones normales. En este estudio se investigará cual es el comportamiento de la sección reducida cuando esta se ha expuesto al fuego durante eventos de incendio. Con el objetivo de comprender su respuesta mecánica y evaluar su resistencia estructural.

1.2.Formulación del problema

La construcción de edificaciones y viviendas, normalmente se lo ha realizado de hormigón, acero o una combinación de los dos materiales a nivel mundial. En Ecuador, la mayor parte de las edificaciones se las ha realizado de hormigón armado (INEC, 2021).

Figura 1.

Diagrama de barras de construcciones con distintos materiales – En Ecuador.



Nota. Tomado de (INEC, 2021)

Como se observa en la figura 1, el hormigón armado es el material que más se emplea de manera estructural luego de las cimentaciones (INEC, 2021), no obstante, el acero en estructuras no se emplea con tanta frecuencia, debido a que estos presentan un mayor costo a la hora de construir edificaciones o viviendas. El precio de una estructura de acero puede ser mucho mayor al precio de una de hormigón estructural.

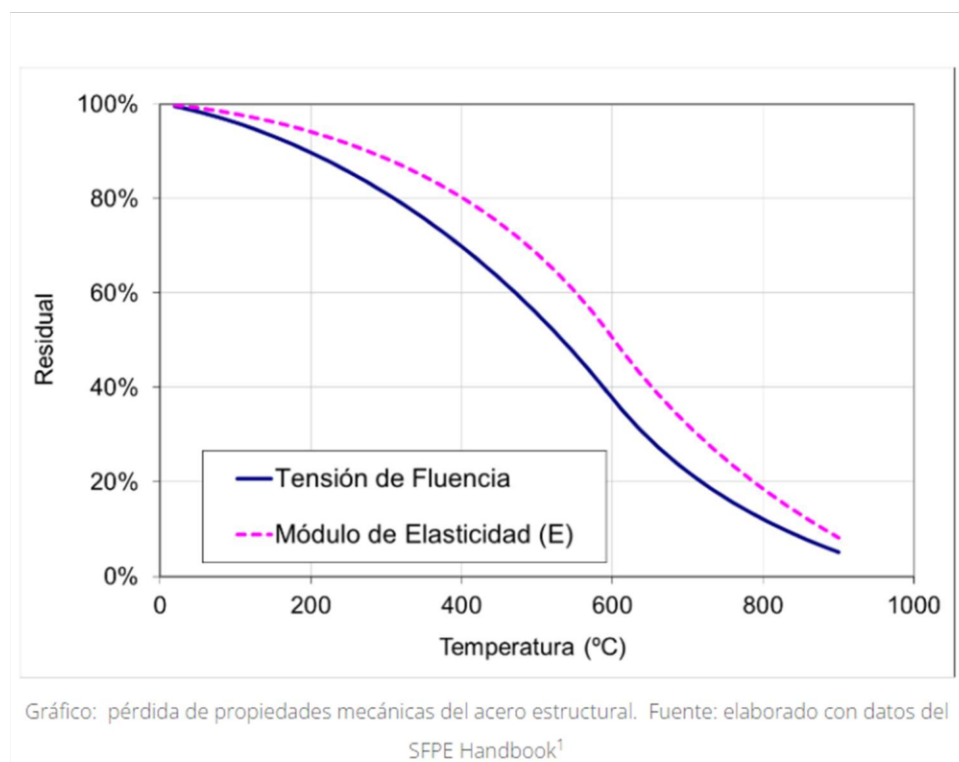
Los incendios han representado siempre un peligro para la sociedad, debido a que estos elevan la temperatura del lugar y los gases provocan que se tengan inconvenientes para respirar. Los incendios se pueden dar en diferentes zonas y por diferentes motivos. Se realizó

un estudio de 24 ciudades del mundo de donde el 25.7% de los incendios se produjeron en edificaciones con chimeneas, residenciales y otros edificios (CTIF, 2023).

Las estructuras de acero al ser sometidas a altas temperaturas, como en el caso de un incendio, sus propiedades mecánicas se alteran significativamente. La resistencia del acero disminuye y el material se vuelve más maleable, aumentando la deformación debido a la elevación de temperatura. En el caso de las estructuras de acero al estar en contacto con el fuego puede provocar que el elemento se vuelva frágil (Sfintesco D., 1965). En la figura 2, se observa como el acero disminuye su capacidad de trabajo, a medida que la temperatura del fuego aumenta. A temperaturas mayores a los 500°C, el acero ya trabaja aproximadamente al 60% de su capacidad de carga original (CORTAFUEGOS, 2020).

Figura 2.

Reducción de la capacidad de trabajo de vigas expuestas a fuego.



Nota. Tomado de (CORTAFUEGOS, 2020).

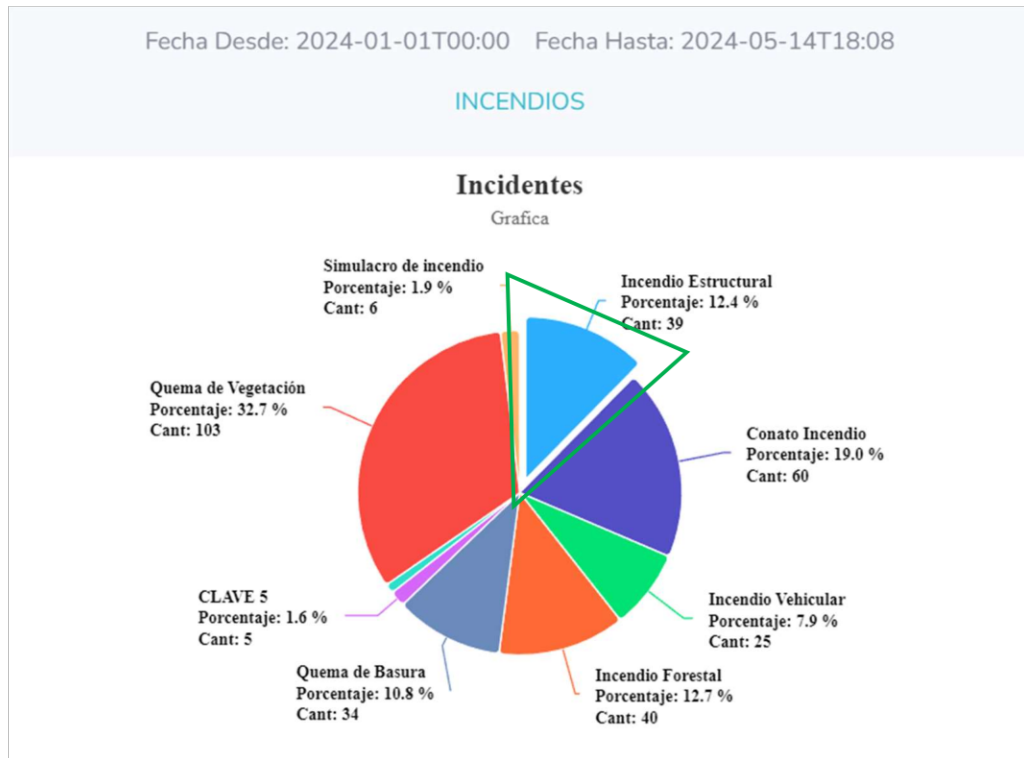
Los incendios en estructuras pueden alcanzar elevadas temperaturas, como en el caso de las torres gemelas. El colapso de las edificaciones con el atentado, se dio por las elevadas temperaturas a las cuales fue sometido el acero estructural durante el incendio. Primeramente, se tuvieron temperaturas de 250 y 500 grados Fahrenheit (121 y 260°C), pero luego se alcanzó una temperatura de 800 grados Fahrenheit (426°C); hasta tener una temperatura máxima de 2000 grados Fahrenheit (1090 °C) (Oscar de Buen, 2001).

En Ecuador en el año 2022 se han provocado 181 incendios forestales y 137 incendios estructurales por lo que es de suma importancia realizar un estudio de las estructuras. (BCBVC, 2023). Las principales causas de incendios implican accidentes domésticos, fallas eléctricas, manipulación inadecuada de líquidos inflamables, fugas de gases combustibles, acumulación de basura, velas y cigarrillos mal apagados, artefactos de calefacción en mal estado y niños jugando con fósforos, entre otros (Iñiguez Jiménez et al., 2017).

En 2024 los tipos de Incendio más frecuentes registrados por el Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca (BCBVC), han sido la quema de vegetación (32.7%), conato incendio (19%), incendios forestales (12.7%) y los incendios estructurales, que ocupan el 4to lugar con el 12.4% sumando un total de 39 emergencias registradas en lo que va del año. Estas emergencias son cubiertas en 5 provincias del sur de Ecuador: Azuay, Cañar, Morona Santiago, Loja y Zamora Chinchipe (BCBVC, 2023).

Figura 3.

Datos de incendios registrados en la zona sur del país.



Nota. Tomado de (BCBVC, 2024).

En la actualidad, las estructuras de acero y de hormigón son diseñadas para soportar las cargas muertas permanentes, muertas adicionales y las cargas vivas, así como también deben soportar las de sismos. Esto hace que las estructuras se diseñen como sismorresistentes con las columnas fuertes y vigas débiles. En estos diseños estructurales la viga se diseña con una conexión precalificada; en este caso con una sección reducida que se puede asemejar a una rótula plástica, esta permite la disipación de la energía cuando ocurren sismos, pero no se tiene conocimiento de lo que sucede con su comportamiento luego de un incendio.

Por ello, se realizarán ensayos en vigas tipo I, con sección reducida en uno de los extremos para que se pueda dar la formación de una rótula plástica. Estas vigas serán expuestas al fuego en la sección reducida con tiempos de 5, 10 y 15 min. Una vez las muestras sean calentadas, estas serán ensayadas mientras estén calientes para así poder determinar el comportamiento que presentan mediante ensayos a flexión. Con la aplicación de una carga en el extremo de la viga y determinar los cambios que presentan luego de exponerse al fuego.

1.3.Delimitación del problema

Para el problema planteado, se llevará a cabo un análisis del comportamiento de la sección reducida en vigas de acero con perfiles tipo I. Los perfiles tipo I que se analizarán, serán armados en taller y su capacidad de carga no excederá la capacidad de la prensa hidráulica utilizada para este estudio.

Se analizará la deformación de las vigas tipo I ante una carga aplicada P antes y después de ser expuestas al calor durante los ensayos. Las vigas estarán fabricadas con acero ASTM A36. Los tiempos de exposición al fuego serán de 5, 10 y 15 minutos. Se obtendrá datos sobre el comportamiento de las secciones y se observara como las condiciones mencionadas afectan las deformaciones de las vigas.

Las vigas serán forzadas a trabajar netamente a flexión pura, con una carga actuante en el extremo de la viga. Los resultados obtenidos, darán la posibilidad de tener un mayor conocimiento de los daños que pueden sufrir las vigas con sección reducida ante el fuego.

1.4. Justificación

Actualmente, se observa un incremento en la construcción de edificaciones completamente en acero, debido a diversas ventajas sobre las construcciones tradicionales en hormigón armado. Entre estas ventajas se incluye la reducción de tiempo de construcción en obra, el menor peso de las estructuras de acero frente a las estructuras de hormigón, y el bajo costo de mano de obra requerido para su montaje.

El análisis del uso de vigas tipo I conlleva la recopilación detallada de información para comprender de mejor manera el comportamiento de estas secciones estructurales. La exposición al fuego a distintos tiempos y temperaturas provoca que las vigas presenten distintas variaciones en sus propiedades mecánicas tales como la disminución en la dureza, así como un aumento en la plasticidad y ductilidad.

El análisis de este tipo de cambios, permitirá una comprensión más profunda del desempeño y comportamiento de las vigas tipo I con sección reducida en condiciones de incendio. Proporcionando información para la mejora de su resistencia y seguridad estructural.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Evaluar el comportamiento de secciones reducidas en vigas tipo I ante la aplicación de cargas sin exposición y con exposición al fuego con distintas duraciones (5, 10 y 15 minutos) para comprender el comportamiento que tienen estas ante el fuego.

1.5.2. *Objetivos específicos*

- 1) Diseñar y construir los prototipos de la sección reducida, columna y unión emperrada de vigas, siguiendo la normativa técnica aplicable y utilizando software.
- 2) Analizar la transmisibilidad térmica de las vigas expuestas al fuego durante tiempos prolongados.
- 3) Analizar los datos obtenidos en los distintos ensayos y establecer un comportamiento general de la sección reducida en vigas tipo I.

2 CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE Y MARCO CONCEPTUAL

2.1.Estado del arte

Tabla 1.

Revisión de Literatura.

Resultados Obtenidos	Tema	Autor/Año
<p>Para la obtención de los resultados los autores propusieron vigas de sección cuadrada de 150 mm de lado y 750 mm de longitud, con un acero de refuerzo longitudinal y transversal de 420 MPa. El tiempo de exposición al fuego fue realizado en intervalos de 30,60,90,120,150 y 180 minutos.</p> <p>Los resultados demostraron que la resistencia a flexión y la carga máxima disminuyen frenéticamente a medida que la temperatura del fuego aumenta. La resistencia la flexión disminuye aproximadamente en un 50 % cuando la temperatura</p>	<p>“Efecto del tiempo de exposición al fuego en la resistencia a flexión de vigas de hormigón armado”</p>	<p>(Ureña & Alvarado, 2018)</p>

a la cual está sometida la viga alcanza los 900° C, y cae por debajo del 10% al llegar a los 1050°C. La resistencia a la flexión disminuye alrededor del 30% por cada hora que la viga se encuentre sometida a altas temperaturas.

Los autores diseñaron y probaron un pórtico de 36 m de luz, con una distancia de 12 m entre columnas y una altura de alero de 5,4 m. Utilizaron termopares para la medición de la temperatura al fuego en diferentes puntos del pórtico, además de crear un escenario de incendio natural con volumen de 8m³. La duración total del incendio fue de 28 minutos, no obstante, la estructura empezó a colapsarse a los 15 minutos dando como resultados el pandeo de las columnas mismo que alcanzo un valor máximo de aproximadamente 50 mm, provocando que las columnas se doblaran hacia adentro. Además de producirse un pandeo local por torsión con deformaciones considerables en el

“Fire test on full-scale Steel portal frame against progressive collapse”

(Lou et al., 2018)

alma y las alas de la viga. En relación a la temperatura las columnas alcanzaron los 1100°C y las vigas los 1200°C.

La metodología aplicada por los autores fue un puente conformado por un tablero mixto de 6 m de luz, y a su vez este compuesto por una losa de hormigón armado de 15 cm de canto y 2 m de anchura conectado a dos vigas IPE-160. Los autores crearon 4 escenarios de incendio con diferente magnitud, ubicados bajo el tablero, al considerar esta zona como la más desfavorable, logrando también que afecte a la viga metálica como normalmente ocurre en los incendios reales. La medición de la temperatura se la realizó empleando termopares tipo K. Una vez concluido el experimento la máxima temperatura en el gas fueron entre los 320°C y los 920°C, mientras que la máxima temperatura en el acero desde los 226 °C, 512°C, 469°C hasta los 749°C en los respectivos escenarios. Estas

“Valencia bridge fire test, análisis experimental de la respuesta de puentes frente al fuego” (Zaforteza et al., 2020)

temperaturas también presentaron importantes variaciones a lo largo del eje longitudinal del puente, con un gradiente térmico de 250 °C/m para el primer escenario, 200°C/m para el segundo y tercer escenario y 60°C/m para el cuarto escenario, lo que conlleva asumir un calentamiento no uniforme a lo largo del puente. Adicionalmente la flecha máxima que alcanzo la viga fue de 0.12m tras el incendio. Finalmente, este experimento demuestra que la potencia del fuego y la distancia vertical entre el tablero y el fuego son los factores que más perjudica a los elementos estructurales.

La perdida y resistencia del acero inicia a partir de los 100 a 200°C, a los 400 a 600°C su resistencia se reduce aproximadamente al 50%, mientras que a los 700 °C llegaría a un poco más del 23% de su resistencia a temperatura ambiente, por otro lado, su rigidez podría reducirse alrededor del 70%. A

“Estudio de resistencia al fuego en sistema estructural mixto” (Jiménez, 2017)

comparación del hormigón las deformaciones que se respeta en el acero cuando está sometido a temperaturas elevadas ocasionan que los sistemas estructurales tengan más probabilidades de colapsar. Sin embargo, las pérdidas de resistencia y dilataciones térmicas entre el acero y hormigón son muy similares debido a que ambos pierden la misma cantidad de resistencia a temperaturas alcanzables en el mismo tiempo en un incendio y se dilatan de forma similar. No obstante, el acero sigue siendo mucho más afectado debido a características propias del material como la conductividad térmica, la masividad, el calor específico entre otros.

Según el artículo el objetivo de reducir la sección de una viga es tener una conexión viga columna más resistente, obligando así que las deformaciones plásticas se desarrollen en la viga. El uso de vigas de sección reducida genera una pequeña

“Innovaciones en el diseño sísmico de estructuras de acero”

(Beltran & Herrera, 2008)

disminución de la rigidez lateral del marco, pero proporciona un extenso aumento de la ductilidad al sistema, también disminuye los niveles de tensión en la zona de la conexión e induce deformaciones inelásticas a la viga. En el caso de marcos de tipo especial al ser sometidos a fuerzas que resultan del diseño sismorresistente, se espera que la mayor parte de las deformaciones inelásticas se encuentren en la viga de sección reducida por medio de la formación de rotulas plásticas.

La reducción de la viga se puede realizar de varios métodos, uno de ellos es conocido como perfil “hueso de perro”. Este método consiste en remover una fracción del ala de la viga de manera simétrica alrededor del eje de la misma.

No obstante, es de suma importancia tener un adecuado cuidado con la forma en que se realizan las reducciones de sección, estas deben ser finas transiciones para evitar efectos de

“Diseños de Conexiones Viga-Columna para Estructuras de Acero antes Efectos Sísmicos” (Van der velde & Oviedo, 2003)

concentración de tensiones. El adecuado comportamiento de estas vigas con sección reducida depende directamente de la calidad de las soldaduras de penetración completa entre las alas de la viga y columna y del comportamiento transversal de las alas de la columna

La metodología aplicada por los autores se basó en realizar conexiones metálicas con vigas de sección reducida y de placas apernadas a las alas para pórtico resistentes a momentos, mediante el desarrollo del programa denominada DICASBYR. Se utilizó acero A 36 para las vigas tipo IPE-300 y columnas tipo HEB-400 en los pórticos. Además, para las conexiones se emplearon electrodos del tipo E70xx y pernos A490. Las cargas permanentes y vivas aplicadas sobre las vigas son de 1920kfg/m y 960kgf/m respectivamente, mientras que la carga axial sobre la columna es de 150000 kgf. Los resultados

“Desarrollo y Programación de Conexiones Sismorresistentes Tipo BFP y RBS conforme a la normativa ANSI/AISC 358-16”. (Pannillo et al., 2018)

demonstraron que el software presenta una buena confiabilidad sobre los procesos de cálculos y resultados obtenidos, siendo estos comparados con cálculos realizados por otros autores. Los escritos del artículo resaltan también que ensayos realizados mediante investigaciones demostraron que la formación de rotulas plásticas ocurren principalmente en la sección reducida de la viga, evitando así que las deformaciones inelásticas se desarrollen en las columnas

Nota. Fuente: Elaboración propia.

El acero es un material considerablemente utilizado en el ámbito de la construcción debido a su alta resistencia y ductilidad. No obstante, en muchas edificaciones no se aplican conexiones RBS (Vigas de Sección Reducida), que están diseñadas con el objetivo de mejorar la ductilidad de las estructuras de acero, específicamente para zonas sísmicas.

La falta de empleo de este tipo de conexiones significa que no se conoce y comprende por completo el comportamiento de estas secciones bajo condiciones de un incendio. Por lo tanto, es crucial investigar y entender los efectos del fuego en las vigas con sección reducida.

Los resultados de esta investigación podrán influir en las prácticas de diseño y construcción y de esta manera mejorar la seguridad y resistencia de las estructuras de acero frente a condiciones de incendio.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Propiedades mecánicas del acero

El acero presenta muchas propiedades dependiendo principalmente del tipo de acero que se emplea. El acero ASTM A36 es el que se usa con mayor frecuencia, por lo que se debe tener en cuenta sus propiedades. Este acero es muy utilizado en la construcción de maquinarias, herramientas, edificios y obras públicas. Para un mayor control en la calidad del material existen normas reguladoras a nivel internacional como con la AISI, ASTM, DIN o ISO. Estas normativas regulan las cantidades mínimas y máximas de los componentes y también las propiedades mecánicas que tendrá el material (NEC, 2015).

El acero ASTM A36 presenta una aleación de hierro con contenidos de carbono y otras pequeñas porciones de minerales como manganeso y silicio. Además, se toma en consideración las propiedades que este presenta como límite de fluencia, de fractura, resistencia y módulo de elasticidad (NEC, 2015).

Módulo de elasticidad

Es la constante de proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación, en el que el comportamiento del material es elástico y prácticamente lineal. El acero estructural ASTM A36 laminado en caliente, se denomina como acero al carbono y posee un límite de fluencia de 250 MPa, equivalente a 29 000 ksi (Aguirre Sosapanta & Figueroa Bernal, 2008).

Figura 4.

Tabla de propiedades mecánicas para el acero ASTM A36.

Especificación ASTM		Mínimo (ksi)	Media (ksi)	Máximo (ksi)
ASTMA36	Esfuerzo de Fluencia	36.00	47.12	63.00
	Resistencia a la Tensión	51.00	64.76	84.00
	F_v/F_u (%)	56.00	73.00	98.00
ASTMA572 Gr 50	Esfuerzo de Fluencia	49.00	55.36	70.00
	Resistencia a la Tensión	67.00	82.26	94.00
	F_v/F_u (%)	59.00	67.00	82.00
ASTMA588 Gr 50	Esfuerzo de Fluencia	50.00	58.38	73.00
	Resistencia a la Tensión	71.00	81.26	90.00
	F_v/F_u (%)	62.00	72.00	87.00

Nota. Tabla tomada de (NEC, 2015)

Tenacidad

Es la medida de energía por unidad de volumen necesaria para deformar un cuerpo hasta el momento de la fractura, esta propiedad tiene gran importancia en los modelos sismorresistentes. Los factores que influyen son la composición química, estructura metalográfica, inclusiones no metálicas y segregaciones (Ñauta Uzhca & Riera Morocho, 2015).

Alta resistencia

Su alta resistencia en relación a su peso, permite la elaboración de estructuras ligeras, las cuales sin acero aumentarían drásticamente sus dimensiones. Es esta alta resistencia tanto a compresión como a tracción lo que permite a las vigas obtener una notable resistencia a flexión (Quiroga Briñez, 2021).

Durabilidad

La durabilidad de las estructuras de acero depende mucho de la manera en la que se cuide y la exposición que tenga a condiciones ambientales. Un buen cuidado puede ayudar a

dar una mayor vida útil de la estructura sin la necesidad de realizar muchos mantenimientos (Aguirre Sosapanta & Figueroa Bernal, 2008).

Ductilidad

Propiedad que se tiene el material para poder ser transformados en hilos, es decir, que se pueda estirar sin sufrir una fractura al ser sometido a grandes esfuerzos de tensión. Los aceros estructurales permiten que estos puedan fluir para evitar fallos tempranos en las estructuras (Ñauta Uzhca & Riera Morocho, 2015).

Dureza

Resistencia a la penetración superficial, esta puede ser determinada mediante algunos ensayos como el dinámico con el ensayo de dureza al impacto y el ensayo de dureza de Shore. También se pueden realizar ensayos estáticos como el ensayo Brinell, ensayo Vickers y el ensayo Rockwell. (Ñauta Uzhca & Riera Morocho, 2015).

Plasticidad

Capacidad que tienen el acero para sobrepasar su límite elástico bajo la aplicación de una carga, esto provoca que sufra de deformaciones de manera permanente. Esta deformación en el acero, se da sin que esta sufra de alguna fractura, pero no permite que regrese a su estado original como en el caso del límite elástico (Ñauta Uzhca & Riera Morocho, 2015).

Fragilidad

Capacidad que tiene el acero de absorber la energía, por lo que se puede fracturar si este está sometido a mayores esfuerzos de los que puede resistir. Si el acero tiene una alta dureza también es más frágil, esto depende mucho de la cantidad de carbono en especial. Mientras mayor sea la cantidad de carbono presente en la aleación del acero, este se vuelve más frágil, pero de mayor dureza (Aguirre Sosapanta & Figueroa Bernal, 2008).

2.2.2. *Ventajas del acero*

El acero en las estructuras presenta múltiples ventajas como son:

- La rapidez en la construcción, ya que el ensamble se las puede realizar por medio de sistemas empernados o soldaduras. El tiempo de entrega es mucho menor a comparación con las estructuras de concreto (FERROStexar, 2023).
- El costo en la mano de obra será mucho menor, debido al rápido ensamble de la estructura (Quiroga Briñez, 2021).
- Es un material reutilizable, ya que luego de su uso se lo puede volver a fundir y así darle un nuevo uso. Aunque no se lo puede usar de la misma manera original, si se lo puede usar con otras formas (FERROStexar, 2023).
- Capacidad del acero de resistir cargas en grandes luces, lo que es beneficioso para un menor número de columnas o apoyos (Instituto Técnico de la Estructura en Acero, 2001).
- Mayor control de calidad, puesto que las piezas (Columna, viga o vigueta) están compuestas de perfiles metálicos ya prefabricados y cumpliendo los estándares rigurosos de calidad (Instituto Técnico de la Estructura en Acero, 2001).

2.2.3. *Desventajas del acero*

Algunas desventajas que presenta el uso del acero en las estructuras son:

- Se debe realizar un mantenimiento periódico debido al deterioro progresivo de la estructura, al estar expuesta a condiciones naturales año tras año. Este mantenimiento

se lo debe realizar cada 4 o 5 años, dependiendo de la localización de la estructura (Aranda Pazmiño & Dután Amay, 2009).

- La mayoría de los aceros son susceptibles a la corrosión al estar expuestos al aire y al agua. Estos factores como la sal y el agua, aceleran la reacción química y aceleran la oxidación en los aceros; lo que incrementa el deterioro del mismo. Por consiguiente, tienen que pintarse periódicamente con anticorrosivos (Quiroga Briñez, 2021).
- La fatiga del acero es que su resistencia se puede achicar si se somete a un enorme conjunto de inversiones del sentido del esfuerzo, o bien, a un enorme conjunto de cambios en la intensidad del esfuerzo de tensión (Quiroga Briñez, 2021).
- Bajo algunas condiciones, el acero puede perder su ductilidad y la fractura frágil puede suceder en sitios de concentración de esfuerzos. Las cargas que generan fatiga y muy bajas temperaturas agravan la circunstancia. Las condiciones de esfuerzo triaxial además tienen la posibilidad de conducir a la fractura frágil (Quiroga Briñez, 2021).
- El acero al estar sometido al fuego, puede llegar a perder parte de su capacidad a la carga. El excesivo contacto con el fuego puede hacer disminuir el porcentaje de la capacidad de las vigas o columnas en una estructura. Cuando se supera la temperatura de 500 °C, el acero puede trabajar a un 60% de su capacidad. Esto puede provocar deformaciones permanentes o incluso el colapso de la estructura, ya que el acero es un material conductor de calor (Aranda Pazmiño & Dután Amay, 2009).
- Muy poco personal capacitado para la construcción o montaje de la estructura, debido a que se requiere de personal certificado o que tenga conocimiento de las normativas.

2.2.4. Valores de R_y y R_t , ANSI/AISC 341-16

En la tabla 2 se detallan los valores de resistencia de R_y y R_t para diferentes tipos de acero. Para valores de R_y y R_t estos se deben establecer mediante ensayos con probetas de similar tamaño y origen de los materiales que se empleen. Los ensayos se deben llevar a cabo con los requisitos establecidos en las normas ASTM (AISC, 2016a). Los valores de R_y y R_t seleccionados para el diseño y modelamiento en el software IdeaStatica son para un acero ASTM A36, en donde:

- R_y es la relación entre el límite elástico esperado y el límite elástico mínimo especificado, F_y .
- R_t es la relación entre la resistencia a la tracción esperada y la resistencia a la tracción mínima especificada F_u .

Tabla 2.

Valores de R_y y R_t para distintos Aceros.

TABLE A3.1 R_y and R_t Values for Steel and Steel Reinforcement Materials		
Application	R_y	R_t
Hot-rolled structural shapes and bars:		
• ASTM A36/A36M	1.5	1.2
• ASTM A1043/A1043M Gr. 36 (250)	1.3	1.1
• ASTM A992/A992M	1.1	1.1
• ASTM A572/A572M Gr. 50 (345) or 55 (380)	1.1	1.1
• ASTM A913/A913M Gr. 50 (345), 60 (415), 65 (450), or 70 (485)	1.1	1.1
• ASTM A588/A588M	1.1	1.1
• ASTM A1043/A1043M Gr. 50 (345)	1.2	1.1
• ASTM A529 Gr. 50 (345)	1.2	1.2
• ASTM A529 Gr. 55 (380)	1.1	1.2
Hollow structural sections (HSS):		
• ASTM A500/A500M Gr. B	1.4	1.3
• ASTM A500/A500M Gr. C	1.3	1.2
• ASTM A501/A501M	1.4	1.3
• ASTM A53/A53M	1.6	1.2
• ASTM A1085/A1085M	1.25	1.15
Plates, Strips and Sheets:		
• ASTM A36/A36M	1.3	1.2
• ASTM A1043/A1043M Gr. 36 (250)	1.3	1.1
• ASTM A1011/A1011M HSLAS Gr. 55 (380)	1.1	1.1
• ASTM A572/A572M Gr. 42 (290)	1.3	1.0
• ASTM A572/A572M Gr. 50 (345), Gr. 55 (380)	1.1	1.2
• ASTM A588/A588M	1.1	1.2
• ASTM A1043/A1043M Gr. 50 (345)	1.2	1.1
Steel Reinforcement:		
• ASTM A615/A615M Gr. 60 (420)	1.2	1.2
• ASTM A615/A615M Gr. 75 (520) and Gr. 80 (550)	1.1	1.2
• ASTM A706/A706M Gr. 60 (420) and Gr. 80 (550)	1.2	1.2





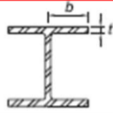
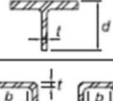
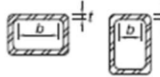


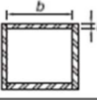
Nota. Tabla tomada de (AISC, 2016a).

2.2.5. Comprobación de Patín y Alma de la viga

Para la determinación de la ductilidad se emplearon fórmulas de la ANSI/AISC 341-16 en la sección D1 en la tabla D1.1. En las tablas 3 y 4, se detallan las fórmulas que se deben emplear para la comprobación de la sección transversal de la viga para la delimitación de la ductilidad. Se debe comprobar el patín y el alma de la sección ya que es una viga tipo I.

Tabla 3.

Fórmulas para cálculo de ductilidad – Patín.

TABLE D1.1 Limiting Width-to-Thickness Ratios for Compression Elements for Moderately Ductile and Highly Ductile Members				
Description of Element	Width-to- Thickness Ratio	Limiting Width-to-Thickness Ratio		Example
		λ_{hd} Highly Ductile Members	λ_{md} Moderately Ductile Members	
Unstiffened Elements	b/t	$0.32 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$0.40 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	
				
				
				
Flanges of H-pile sections per Section D4	b/t	not applicable	$0.48 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	
Stems of tees	d/t	$0.32 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}^{(a)}$	$0.40 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	
Stiffened Elements	Walls of rectangular HSS used as diagonal braces	$0.65 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$0.76 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	
	Flanges of boxed I-shaped sections			
	Side plates of boxed I-shaped sections and walls of built-up box shapes used as diagonal braces			
	Flanges of built-up box shapes used as link beams			

Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, July 12, 2016
American Institute of Steel Construction

Nota. Tabla tomada de (AISC, 2016a)

Tabla 4.

Fórmulas para el cálculo de ductilidad – Alma.

2.2.6. Diseño de viga a momento - flexión (Zona de trabajo)

Para la determinación del valor de momento nominal, se analizó la zona de trabajo en la que se encuentra la viga. Para ello, se debe determinar 3 valores, que son L_b , L_p y L_r , en donde:

- L_b Se refiere a la máxima longitud sin refuerzo lateral a lo largo de cualquiera de las alas en el punto de carga, medida en milímetros.
- L_p La extensión máxima sin deformación lateral en milímetros para alcanzar el límite de fluencia se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$L_p = 1.76 * r_y * \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (1)$$

En donde:

- r_y es el radio de giro alrededor del eje y , mm
 - E es el módulo de elasticidad del acero, $E = 29\ 000$ ksi (200 000 MPa)
 - F_y es la mínima tensión de fluencia de la viga, ksi (MPa)
- L_r es la longitud máxima sin refuerzo lateral para el estado límite de pandeo lateral-torsional inelástico en milímetros y se calcula en milímetros mediante la siguiente ecuación:

$$L_r = 1.95 * r_{ts} * \frac{E}{0.7 * F_y} * \sqrt{\frac{J * c}{S_x * h_o} + \sqrt{\left(\frac{J * c}{S_x * h_o}\right)^2 + 6.76 * \left(\frac{0.7 * F_y}{E}\right)^2}} \quad (2)$$

En donde:

- r_{ts} es el radio de giro efectivo de alabeo, mm.

- J es el momento de inercia torsional, mm^4 .
- c es un coeficiente, con valor de 1 ($c = 1$) para vigas I con doble simetría.
- S_x es el módulo mínimo de la sección elástica tomada alrededor del eje x , mm^3 .
- h_o es la distancia entre centros de brida, mm .

Para determinar la zona de trabajo, el valor de L_b debe cumplir los rangos para emplear las ecuaciones de la normativa ANSI/AISC 360-16 (AISC, 2016b) y determinar la zona de trabajo. En esta normativa se identifican 3 zonas de trabajo con sus respectivas fórmulas para el cálculo del momento nominal:

Zona 1: ($L_b \leq L_p$)

$$\varphi M_n = \varphi_f * F_y * Z_x \quad (3)$$

Zona 2: ($L_p < L_b \leq L_r$)

$$M_p = F_y * Z_x \quad (4)$$

$$\varphi M_n = \varphi_f * C_b * \left[M_p - (M_p - 0.7 * F_y * S_x) * \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq \varphi_f * M_p \quad (5)$$

Zona 3: ($L_b > L_p$)

$$\varphi M_n = \varphi_f * F_{cr} * S_x \leq \varphi_f * M_p \quad (6)$$

$$F_{cr} = \frac{C_b * \pi^2 * E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} * \sqrt{1 + \frac{0.078 * J * c}{S_x * h_o} * \left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \quad (7)$$

Donde:

- ϕ_f es el factor de resistencia a la flexión (LRFD)
- Z_x es el módulo de sección plástica alrededor del eje x , mm^3 .
- C_b es el factor de ajuste para pandeo lateral se aplica a diagramas de momentos no uniformes cuando ambos extremos del segmento están reforzados. ($C_b = 1$)

2.2.7. Sección Reducida – AISC 358-16

En una conexión a momento de viga – columna, se realiza una reducción de una parte de la viga. Esta viga reducida se recorta de manera selectiva, que consiste en recortar una porción de las alas de la viga con el objetivo de que se pueda dar la fluencia del acero y se forme una articulación como una rótula plástica dentro de la sección reducida (AISC, 2016). Este destaje en la viga debe cumplir con las condiciones definidas en la norma AISC 358-16.

2.2.8. Rótula Plástica

Las rotulas plásticas son mecanismos localizados en zonas específicas de los elementos estructurales, permitiendo la disipación de energía, estas se usan para describir la deformación que se produce por la flexión plástica en una sección de la viga. Cuando un elemento que está sometido a momentos alcanza o sobrepasa el momento plástico, se forma una rotula plástica permitiendo la rotación libre de forma constante (García, 2018). Las rótulas plásticas se forman cuando el elemento estructural sufre una deformación lo que provoca que el elemento alcance su estado plástico. El esfuerzo que sufre la sección, provoca

que se redistribuyan los esfuerzos a secciones que no han alcanzado su estado plástico. Esta deformación es permanente, debido a que se ha alcanzado el estado plástico y ya no se puede contemplar el estado elástico del material (Ayala Bizarro, 2022)

2.2.9. Parámetros para diseño de sección reducida en viga

La viga debe cumplir con las siguientes delimitaciones, que se especifican en el capítulo 5 de la AISC 358-16 (AISC, 2016), en el apartado 5.3 se especifica:

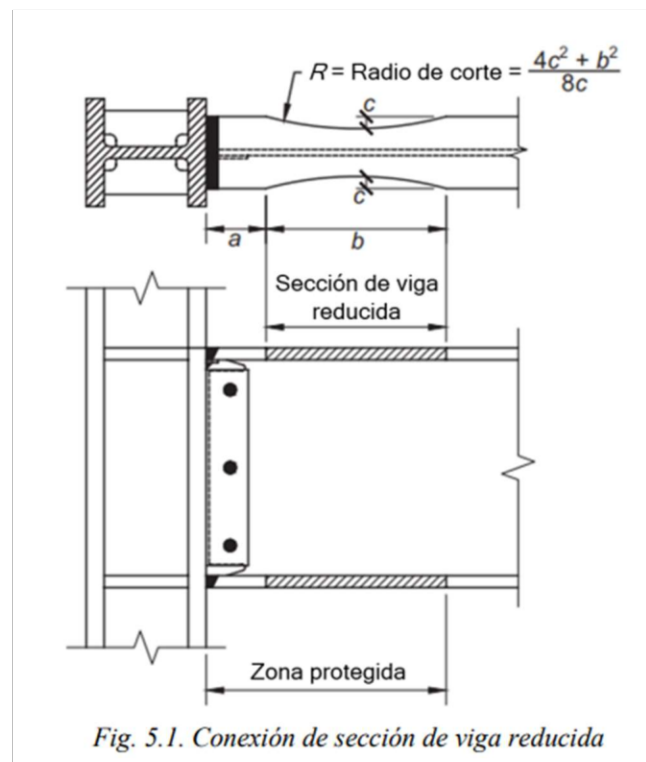
- 1) La viga deberá ser una sección ensamblada de sección I y deberá cumplir con los requerimientos especificados en la sección 2.3
- 2) El máximo peralte del perfil para la viga deberá ser un W36 para perfiles laminados.
- 3) El peso del perfil será como máximo de 447 kgf/m.
- 4) El máximo espesor de la aleta del perfil será de 44 mm.

2.2.10. Diseño de sección reducida y columna

Para el diseño de la sección reducida y la selección de una columna que cumpla con el diseño de viga débil y columna fuerte, la AISC 358-16 recomiendan 11 pasos para el diseño (AISC, 2016):

Figura 5.

Ubicación de sección reducida en vigas tipo I.



Nota. Tomado de (AISC, 2016).

1. Valores de prueba para la sección reducida para la viga

Para el dimensionamiento de la sección reducida, esta está limitada a las siguientes medidas establecidas en la Norma AISC 358-16, las medidas de a , b y c deben estar entre los siguientes rangos de valores (AISC, 2016):

$$0.5b_{bf} \leq a \leq 0.75b_{bf} \quad (8)$$

$$0.65d \leq b \leq 0.85d \quad (9)$$

$$0.1b_{bf} \leq c \leq 0.25b_{bf} \quad (10)$$

Donde:

- a es la distancia horizontal desde la cara de la columna hasta el inicio de la sección reducida, mm.
- b es la longitud de corte de la sección reducida en la viga, mm.
- b_{bf} es el ancho del patín de la viga, mm.
- c es la profundidad del corte en la sección reducida, mm.
- d es el peralte de la viga, mm.

2. Cálculo del momento plástico en el centro de la sección reducida de la viga

$$Z_{RBS} = Z_x - 2 * c * t_{bf} * (d - t_{bf}) \quad (11)$$

Donde:

- Z_{RBS} es el módulo plástico de la sección de la viga en el que se encuentra localizado la rótula plástica, mm³.
- Z_x es el módulo plástico de la sección respecto al eje x para la sección transversal completa de la viga, mm³.
- t_{bf} es el espesor del patín de la viga, mm.

3. Cálculo del momento máximo probable en el centro de la sección reducida de la viga

$$M_{pr} = C_{pr} * R_y * F_y * Z_{RBS} \quad (12)$$

$$C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2 * F_y} \leq 1.20 \quad (13)$$

Donde:

- M_{pr} es el momento máximo probable de la viga.
- F_y es la mínima tensión de fluencia de la viga.

- C_{pr} es el factor que tiene en cuenta la resistencia máxima de la conexión, incluyendo el endurecimiento por tensión, restricciones locales, refuerzos adicionales y otras condiciones de la conexión.
- R_y es el coeficiente obtenido de la norma Provisiones Sísmicas del AISC. Este relaciona la tensión de fluencia esperada con la mínima tensión de fluencia de la viga.

4. Cálculo de la fuerza cortante en el centro de la sección reducida de la viga en los extremos de la viga

$$V_{pr} = V_p + V_g \quad (14)$$

$$V_p = \frac{2 * M_{pr}}{L_h} \quad (15)$$

$$V_g = \frac{Q * L_h}{2} \quad (16)$$

$$L_h = L - 2 * S_h - d_c \quad (87)$$

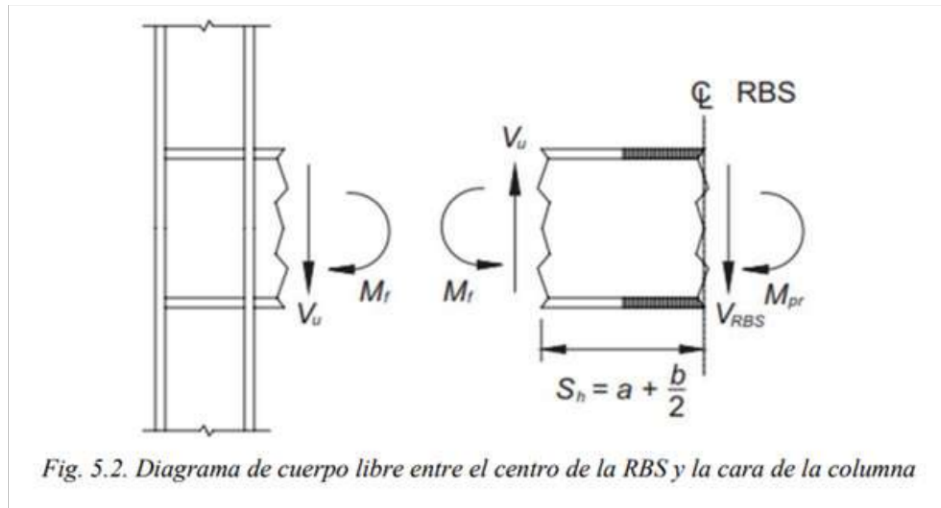
Donde:

- S_h distancia horizontal desde la cara de la columna hasta el centro de la sección reducida de la viga, mm.
- d_c distancia desde el centro de la columna hasta el patín de unión con la viga, mm.
- L_h distancia entre secciones reducidas de la viga, mm.
- L es la longitud desde el centro de columna a columna, mm.
- Q carga gravitacional mayorada, N/mm.
- V_p cortante por capacidad de la sección reducida de la viga, N.
- V_g cortante gravitacional en la sección reducida de la viga, N.
- V_{pr} cortante esperada en la sección reducida de la viga, N.

5. Cálculo del momento máximo probable en la cara de la columna

Figura 6.

Diagrama de cortante y momento en la cara de la columna.



Nota. Tomado de (AISC, 2016).

$$M_f = M_{pr} + V_{RBS} * S_h \quad (18)$$

$$S_h = a + \frac{b}{2} \quad (19)$$

Donde:

- M_f momento máximo en la cara de la columna, N*mm.
- V_{RBS} es el mayor valor de la fuerza cortante en el centro de la sección reducida de la viga, N.

6. Cálculo del momento plástico de la viga basado en el esfuerzo de fluencia esperado

$$M_{pe} = R_y * F_y * Z_x \quad (20)$$

7. Verificación de la resistencia a flexión de la viga en la cara de la columna

$$M_f \leq \phi_d * M_{pe} \quad (21)$$

Donde:

- $\phi_d = 1.00$ es para estados límites dúctiles.
- $\phi_n = 0.90$ es para estados límites no dúctiles

8. Determinación de la resistencia requerida a cortante entre la conexión del alma de la viga y la columna

$$V_u = \frac{2 * M_{pr}}{L_h} + V_{gravedad} \quad (22)$$

Donde:

- V_u es la resistencia requerida a cortante de la viga y la conexión entre el alma de la viga y la columna, N.

9. Diseño de conexión del alma de la viga a la columna

Esto se explica en la sección 5.6 de la norma ANSI/AISC 358-16, de donde se deben satisfacer las siguientes limitaciones

1.- La resistencia requerida a cortante de la conexión del alma de la viga a la columna se debe determinar con la ecuación del paso 8

2.- Los detalles de la conexión del alma se deberá limitar a

- a) Para los sistemas PRM-DES, se prescribe la unión del alma de la viga con la aleta de la columna mediante una soldadura acanalada CJP que se extienda entre los orificios de acceso para soldadura. La conexión a cortante con una placa simple debe abarcar los mismos orificios de acceso para la soldadura, como se ilustra en la Figura 5. Esta conexión a cortante con placa simple puede servir como soporte para la soldadura acanalada CJP. La placa debe tener un espesor mínimo de 9.5 mm (3/8 de pulgada). No se necesitan placas de extensión de soldadura en los extremos de la soldadura acanalada CJP en el alma de la viga. Se permiten perforaciones para pernos en el alma de la viga para propósitos de montaje.
- b) Para los sistemas PRM-DMO, se permite conectar el alma de la viga a la aleta de la columna mediante una conexión a cortante con placa simple empernada, diseñada como una conexión de deslizamiento crítico. Se establecen límites para la resistencia de deslizamiento y la resistencia al aplastamiento en las perforaciones de los pernos. La placa debe unirse a la aleta de la columna mediante soldadura acanalada CJP o soldaduras de filete, con un tamaño mínimo del 75% del espesor de la placa. Las perforaciones estándar están permitidas, aunque se pueden usar perforaciones de ranura corta en el alma de la viga o la placa, pero no en ambas. La pretensión de los pernos se puede aplicar antes o después de la soldadura.

10. Verificación de requisitos para placa de continuidad

Se especifica el diseño a seguir en el capítulo 2 de la norma ANSI/AISC 358-16, en caso de ser necesario para el correcto funcionamiento de la sección reducida de la viga en conjunto con la columna.

11. Verificación de los límites de la relación entre los momentos de la columna y la viga

$$\frac{\sum M_{pc} M_{pc}}{\sum M_{pb} M_{pb}} > 1 \quad (23)$$

$$M_{pc,i} = Z_c * \left(F_{yc} - \frac{P_{uc}}{A_{gc}} \right) \quad (24)$$

$$M_{pb,i} = M_{pr} + V_{pr} * \left(S_h + \frac{d_c}{2} \right) \quad (25)$$

Donde:

- $M_{pc,i}$ momento en la columna, N*mm.
- $M_{pb,i}$ momento en la viga, N*mm.
- Z_c es el módulo plástico de la sección respecto al eje x para la sección transversal completa de la columna, mm³.
- F_{yc} es la mínima tensión de fluencia de la columna.
- P_{uc} es la carga actuante sobre la columna, N.
- A_{gc} es el área transversal de la columna, mm².

2.2.11. Pernos estructurales, ASTM A354

La norma ASTM A354 establece los criterios tanto químicos como mecánicos aplicables a los pernos, tornillos y otros elementos de sujeción fabricados con acero de aleación, que han sido tratados térmicamente y templados, y que tienen un diámetro de 4 pulgadas o menos. Dentro de esta especificación se describen dos niveles de resistencia, designados como grados BC y BD. Es importante destacar que esta especificación no impone restricciones en cuanto a la forma del elemento de sujeción, pudiendo ser un perno con cabeza, un perno doblado o una varilla roscada (ASTM, 2017).

2.2.12. Transferencia de calor

- **Conducción.** El calor se transmite de un cuerpo a otro ya sea por contacto directo o por intermedio de un medio conductor. La conductividad del material determinara la cantidad y el rango de transferencia de calor.
- **Convección.** Es la transferencia de calor debido al movimiento de aire o de líquido. En el caso del aire si este se encuentra caliente dentro de una edificación se expandirá y se elevará, haciendo que el fuego se propague mayormente en dirección ascendente.
- **Radiación.** La transferencia de calor se realiza mediante ondas electromagnéticas. Emitidas por los cuerpos a diferentes temperaturas inclusive a temperatura ambiente. Un claro ejemplo de este tipo de transferencia de calor es la energía solar.

Un elemento estructural de acero al someterse a la acción del fuego ya sea de forma directa o indirecta, recibe el calor por convección al calentarse el aire que lo rodea.

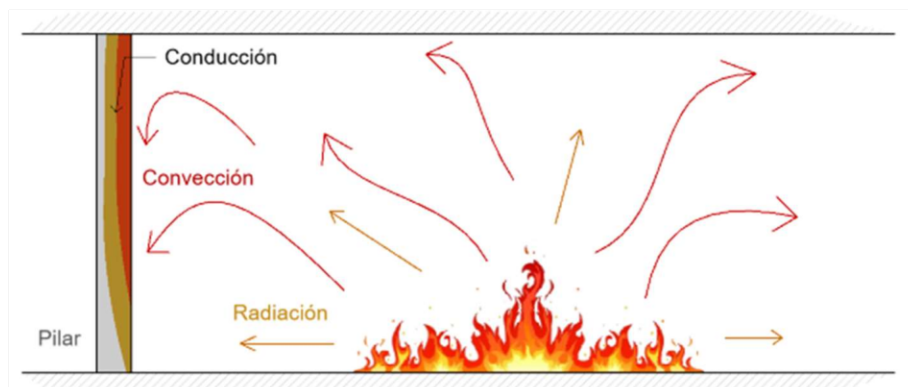
Luego por conducción cada una de las partes del elemento se ira calentando y elevando su temperatura a partir del punto de contacto con el aire caliente.

Finalmente, el elemento radiará energía por ondas electromagnéticas, y en un lapso de tiempo determinado tendrá una temperatura constante a lo largo de toda su longitud

(Escobar, 2019)

Figura 7.

Representación de la conducción del calor.



Nota. Tomada de (Escobar, 2019)

3 CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. Diseño de la Viga

Se seleccionó una carga de pre-dimensionamiento de 2 tonnef/m (19.6133 kN/m). Luego, se realizó un modelamiento en el software ETABS, colocando la viga en voladizo con la carga seleccionada. Mediante un proceso iterativo se optó por una viga IPE 140, debido a que esta no excede su capacidad permisible de carga. Las propiedades del acero con el cual se diseñaron los elementos estructurales se presentan a continuación:

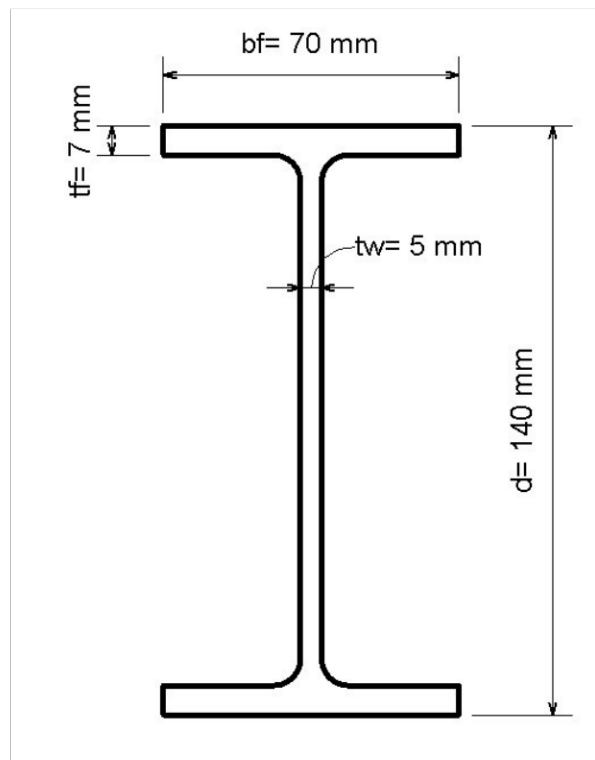
Tabla 5.

Propiedades del Acero Estructural.

Acero Estructural A36	
Esfuerzo de fluencia (F_y)	36 ksi (248 MPa)
Resistencia a la Tracción (F_u)	58 ksi (400MPa)
Módulo de Elasticidad	29000 ksi

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la industria de la construcción Ecuatoriana, las vigas fabricadas en acero en caliente suelen estar disponibles en longitudes estándares de 6, 12 y 15 metros. Debido a que las muestras a ensayar en esta investigación cuentan con una longitud menor a un metro. Se optó por realizar el armado de 4 vigas IPE 140, de esta manera evitar el desperdicio del material y optimar el costo de adquisición.

Figura 8.*Geometría de la viga.**Nota.* Fuente: Elaboración propia.

3.1.1. Dimensiones de la Sección Reducida

Para el dimensionamiento de la sección reducida, esta está limitada a las siguientes medidas establecidas en la Norma AISC 358-16. En la siguiente tabla se presenta los valores de a , b y c para la viga IPE 140.

Tabla 6.*Valores para sección reducida.*

Parámetro	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor escogido
a	$0.50 * b_f = 35 \text{ mm}$	$0.50 * b_f = 52.5 \text{ mm}$	50 mm

b	$0.65 * d = 91 \text{ mm}$	$0.85 * d = 119 \text{ mm}$	110 mm
c	$0.1 * b_f = 7 \text{ mm}$	$0.25 * b_f = 17.5 \text{ mm}$	17 mm

Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Comprobación de Ductilidad en la viga

Para la comprobación de la ductilidad en el patín de la viga se emplearon las fórmulas de la tabla 2, que se muestran a continuación:

$$b_{viga} = \frac{\text{Base de la viga}}{2} \quad (26)$$

$$b_{viga} = \frac{70 \text{ mm}}{2} = 35 \text{ mm}$$

$$\lambda_{real_patin} = \frac{b_{viga}}{\text{Espesor del patin}} \quad (27)$$

$$\lambda_{real_patin} = \frac{b_{viga}}{7 \text{ mm}} = 5$$

$$\lambda_{hd_patin} = 0.32 * \sqrt{\frac{E}{f_y * R_y}} \quad (28)$$

$$\lambda_{hd_patin} = 7.416$$

$$\lambda_{md_patin} = 0.40 * \sqrt{\frac{E}{f_y * R_y}} \quad (29)$$

$$\lambda_{md_patin} = 9.27$$

Para la comprobación de la ductilidad en el patín de la viga se emplearon las fórmulas de la tabla 3, que se muestran a continuación:

$$h_{viga} = \text{Altura de la viga} - 2 * \text{Espesor del patín} \quad (30)$$

$$h_{viga} = 126 \text{ mm}$$

$$\lambda_{real_alma} = \frac{h_{viga}}{\text{Espesor del alma}} \quad (31)$$

$$\lambda_{real_alma} = \frac{h_{viga}}{5 \text{ mm}} = 25.2$$

$$\lambda_{hd_alma} = 1.57 * \sqrt{\frac{E}{f_y * R_y}} \quad (32)$$

$$\lambda_{hd_alma} = 36.383$$

$$\lambda_{md_alma} = 1.57 * \sqrt{\frac{E}{f_y * R_y}} \quad (33)$$

$$\lambda_{md_alma} = 36.383$$

El λ_{real_patin} del patín es menor al λ_{hd_patin} y al λ_{md_patin} , por lo cual el patín presenta una alta ductilidad. El λ_{real_alma} del alma es menor al λ_{hd_alma} , por lo cual el alma presenta una alta ductilidad. En conclusión, la sección presenta una alta ductilidad y es compacta.

3.1.3. Cálculo de la fuerza en la punta del voladizo.

Para determinar el momento nominal primero se determinó en que zona está trabajando la viga para ello se tomaron en consideración los valores de Lb, Lp y Lr. La longitud de la viga es de 0.80 m que sería el valor para el Lb, mientras que aplicando la formula número 1, el valor de Lp es igual a 0.8242 m. Una vez obtenido los datos se concluyó que la viga está trabajando en la zona 1 dado que el valor de Lb es menor al valor de Lp.

Por lo tanto, para el cálculo del momento nominal se aplicó la siguiente formula.

$$M_n = \phi * F_y * Z_x \quad (34)$$

$$M_n = 19.73 \text{ kN} * \text{m}$$

Mediante el cálculo del momento nominal se obtendrá la fuerza que será aplicada sobre el extremo de la viga de acero teniendo en cuenta que la longitud de la viga es de 0.80 m. Para ello se aplicará la siguiente formula.

$$\text{Fuerza en la punta del voladizo} = \frac{\text{Momento Nominal } (M_n)}{\text{Longitud de la viga } (L)} \quad (35)$$

Finalmente, la fuerza en la punta del voladizo para que las deformaciones plásticas se concentre en la sección reducida es igual a 24.6625 kN equivalente a 2.5149 toneladas.

3.1.4. Cálculo de Momentos y Cortantes en la Sección reducida

Una vez aplicadas las fórmulas explicadas anteriormente y establecidas en la normativa ANSI/AISC 358-16 se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 7.

Cálculo de momentos y cortante en sección reducida.

Momento y Cortante esperado en la sección reducida	
Modulo Plástico en el centro de la sección de la viga reducida (Z_{RBS})	56706 mm ³
Momento Máximo Probable en el centro de la sección de la viga reducida (M_{pr})	25.335 kN*m
Cortante esperada en la sección reducida (V_{pr})	79.72 kN

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8.

Cálculo de momentos y cortante para cara de la columna.

Momento y Cortante esperado en la cara de la columna	
Cortante máximo en la sección reducida ($V_{RBS} = V_{pr}$)	79.72 kN
Momento máximo probable (M_f)	33.706 kN*m
Momento plástico de la viga basado en el esfuerzo de fluencia esperado (M_{pe})	33.706 kN*m

Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.2. Diseño de la conexión

El diseño de la conexión se lo realizo mediante el software IDEA Statica. Software que permite el diseño de conexiones de vigas de acero, atornilladas, soldadas bajo la aplicación de normativas y filosofías de diseño actuales.

3.2.1. Configuración de la Normativa de Diseño

El diseño se lo realizo aplicando la normativa LRFD (Load and Resistance Factor Design). El software por defecto nos establece los factores de resistencia, mismos que son establecidos por la normativa AISC- 360-16.

Figura 9.

Factores de diseño (LRFD)



Nota. Fuente: Tomada de IDEA StatiCa.

3.2.2. Configuración del material

La conexión se desarrolló mediante el Diseño por Capacidad, puesto que se buscaba estimar la máxima resistencia esperada a flexión, razón por la cual se modificó el esfuerzo de fluencia (F_y) y la resistencia a la tracción (F_u). La AISC 341-16 nos indica los valores del factor de esfuerzo de fluencia probable (R_y) y del factor de resistencia a la tracción probable (R_t) para un acero A36. Los valores esperados se obtienen a través de las siguientes fórmulas, para luego ser colocados en el programa de diseño.

$$F_{ye} = R_y * F_y = 1.5 * 248MPa = 372.3Mpa$$

$$F_{ue} = R_u * F_u = 1.2 * 400MPa = 480Mpa$$

Figura 10.*Propiedades del acero - Editado.*

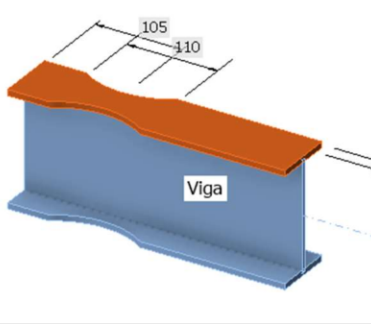
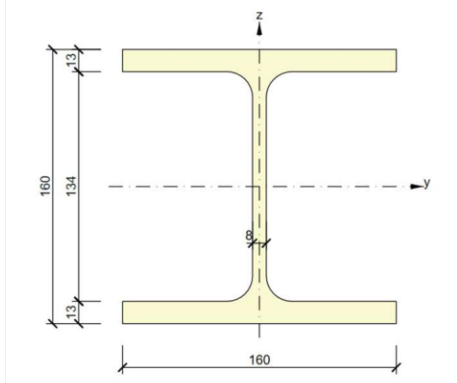
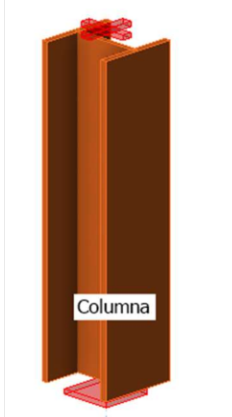
Propiedades del material	
General	
Nombre	A36 Editado
Propiedades físicas	
m [kg/m ³]	7860
E [MPa]	200000.0
ν	0.3
G [MPa]	76923.1
α [1e-6/K]	12
λ [W/(m.K)]	45
c [kJ/(kg.K)]	0.49
Propiedades específicas de la Norma Americana	
f _u [MPa]	480.0
f _y [MPa]	372.3
R _y [-]	1.50
R _t [-]	1.20

Nota. Fuente: Tomada de IDEA StatiCa.

3.2.3. Geometría de los elementos estructurales

El software Idea Statica permite escoger una amplia gama de perfiles estructurales que existe dentro su catálogo. Anteriormente se había demostrado la viga elegida para este trabajo y las dimensiones de la sección reducida o hueso de perro, por ende, en el programa solo se eligio las secciones ya dimensionadas. En el caso de la columna al ser un elemento en el cual no se realizará ningún estudio se la diseño directamente en el software mediante un proceso iterativo.

Tabla 9.*Geometría de viga reducida y Columna.*

Sección	Dimensiones software Idea Statica	Vista 3D en el software Idea Statica														
Viga IPE 140 con Sección Reducida (Hueso de Perro)	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">▼ Abertura, muesca</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Parte de la sección</td> <td>Viga Ala superior 1</td> </tr> <tr> <td>Forma</td> <td>Arco de dog bone</td> </tr> <tr> <td>Localización</td> <td>Ambos</td> </tr> <tr> <td>B, B1 - anchura [mm]</td> <td>110</td> </tr> <tr> <td>Profundidad [mm]</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>Posición X [mm]</td> <td>105</td> </tr> </tbody> </table>	▼ Abertura, muesca		Parte de la sección	Viga Ala superior 1	Forma	Arco de dog bone	Localización	Ambos	B, B1 - anchura [mm]	110	Profundidad [mm]	17	Posición X [mm]	105	
▼ Abertura, muesca																
Parte de la sección	Viga Ala superior 1															
Forma	Arco de dog bone															
Localización	Ambos															
B, B1 - anchura [mm]	110															
Profundidad [mm]	17															
Posición X [mm]	105															
Columna HEB 160																

Nota. Fuente: Tomada de IDEA StatiCa.

3.2.4. Introducción de Cargas

En relación a la introducción de cargas, el software IDEA StatiCa permite ingresar los valores de Momento y Cortante esperados, bien sea en la sección reducida o en la cara de la columna. Es crucial considerar la distancia a la que se encuentra la aplicación de la carga. En este modelo, se ha optado por ingresar los valores del Momento Probable (M_{pr}) y Cortante

(Vpr) esperado en la sección reducida. Estos valores se encuentran a una distancia de 205 mm tal como se ilustra en la siguiente imagen.

Figura 11.

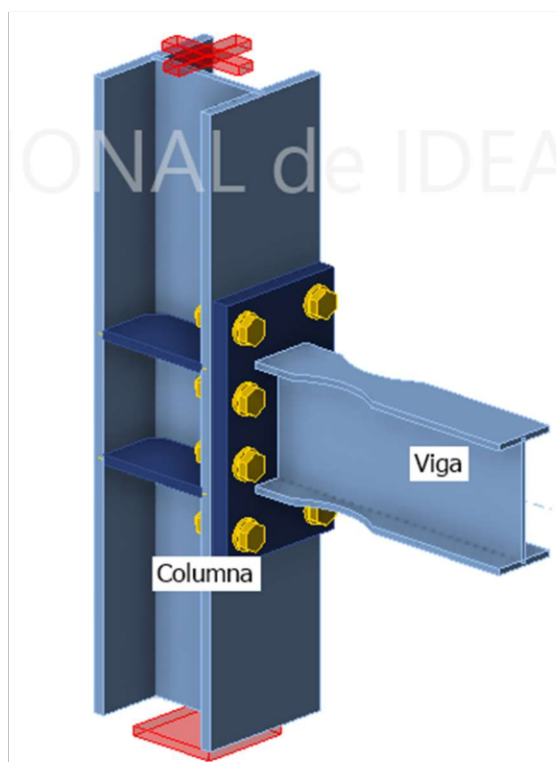
Cargas para el modelamiento.

LE-MC1 [Carga]		Copia Eliminar				
Elemento	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Columna / Finalizar	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
> Viga / Finalizar	0.0	0.0	-79.7	0.0	25.3	0.0

Nota. Fuente: Tomada de IDEA StatiCa.

3.2.5. Diseño de Pernos, Placas y Soldaduras

El diseño de pernos, placas se lo realizo mediante un proceso iterativo, verificando que cada uno los elementos cumplan En el caso de las placas y de la soldadura se tomaron en consideración parámetros establecidos por la normativa AISC 358-16. El espesor mínimo de las placas es de 9.5 mm y estas deben ser ancladas mediante una soldadura acanalada CJP (Soldadura de penetración completa) o mediante una soldadura de filete con un tamaño mínimo de 75%, no obstante, se optó por una soldadura CJP. La viga soldada a la placa se conectó hacia la columna mediante la utilización de pernos estructurales ASTM A354 o también conocidos como pernos estructurales Grado 8. A continuación, se presenta los espesores definitivos de las placas, así como también el número de pernos utilizados.

Figura 12.*Modelamiento 3D.**Nota.* Fuente: Tomada de IDEA StatiCa.**Tabla 10.***Selección de placas y pernos.*

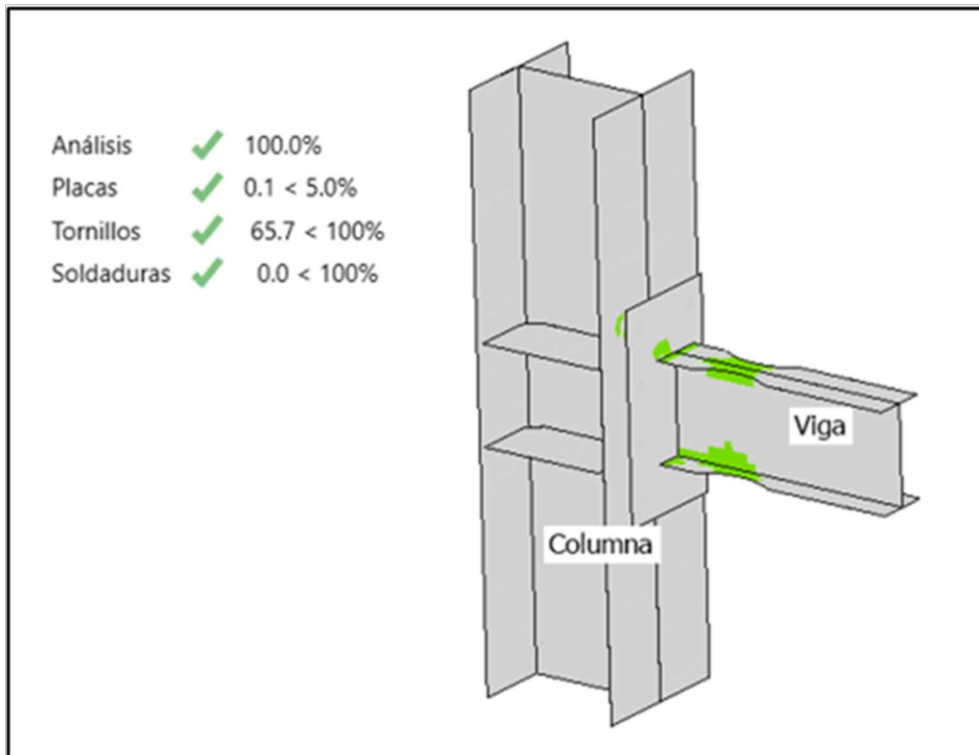
Placas de continuidad	10 mm de espesor
Placa de anclaje a la columna	20mm de espesor
Perno estructurales grado 8	8 pernos en total distribuidos 4 en dos columnas

Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.2.6. Verificación de la conexión

Figura 13.

Análisis del diseño por capacidad en el software Idea StatiCa.



Nota. Fuente: Tomada de IDEA StatiCa.

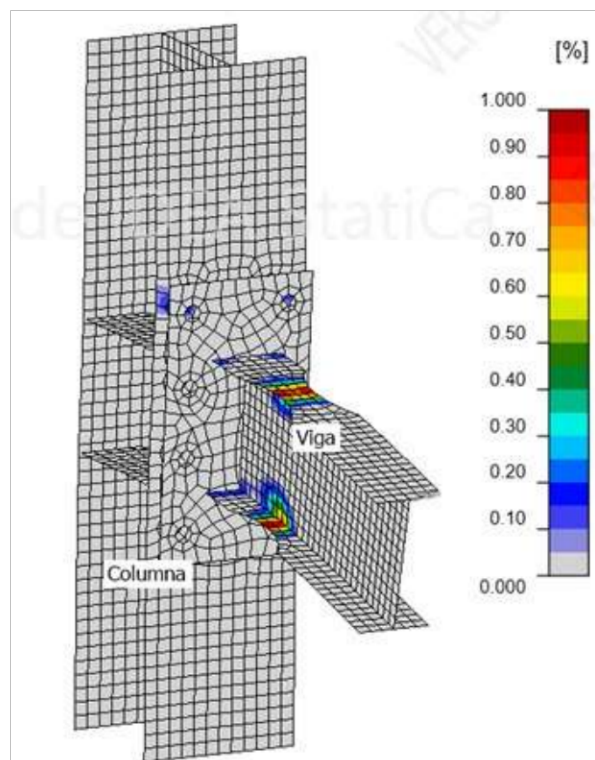
La verificación general realizada mediante el análisis por diseño de capacidad (CD) por el software Idea StatiCa fue completada exitosamente al 100%, El análisis muestra que las placas, la soldadura y los pernos cumplen. Cabe recalcar que los pernos fueron sobredimensionados con el único fin de poder reutilizarlos para las siguientes vigas soldadas a la placa, lo que permite un ahorro financiero del material.

3.2.7. Deformaciones Esperadas

El software Idea Statica nos plantea una idea de cómo deben ser las deformaciones de la viga tal como se muestra en la figura número 14. Además de revelar en que parte de la viga se presentan las deformaciones plásticas, en este caso dichas deformaciones aparecen en la sección reducida logrando así lo que se esperaba.

Figura 14.

Deformaciones esperadas en la viga.



Nota. Fuente: Tomada de IDEA StatiCa.

3.3. Fabricación de los elementos estructurales.

Las vigas y columnas fueron fabricadas en un taller especializado en el armado de elementos de acero. En total se armaron 4 vigas soldadas a placas. Una viga patrón con la que se obtuvo datos iniciales, 3 vigas iniciales para someter al fuego en un tiempo de 5, 10 y 15

minutos respectivamente. Por el contrario, se armó una sola columna de 70 cm de longitud, debido a que esta será utilizada para el ensayo de todas las vigas.

Figura 15.

Taller de fabricación para muestras a ensayar.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 16.

Vigas a ensayar.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 17.

Columna para ensayos.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.4. Ensayo a Flexión de las distintas Vigas.

3.4.1. Materiales

Para realizar los ensayos en las vigas, se empleó la prensa para la aplicación de la carga, el teclé, llaves para el montaje de las piezas de acero. El deformímetro para analizar la deformación de la viga, sopletes para calentar el material, la termocupla con una capacidad de

medir hasta temperaturas de entre los 900°C a 1000°C, el uso de la pistola de temperatura laser con una capacidad de medida de hasta 600 °C para medir la transmisibilidad del calor a través de la viga con una precisión de emisividad de 0.1 a 1. Adicionalmente, también se tendrá equipo de seguridad como guantes de cuero para evitar la transmisión de calor, protector facial y ocular para evitar el contacto con el calor y el uso de un mandil para altas temperaturas como protección para el cuerpo.

Figura 18.

Protección para ensayos.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 19.

Pistola para temperatura - Láser.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 20.

Termocupla.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Prensa Hidráulica

Para realizar los ensayos a flexión de las distintas vigas, se utilizará una prensa hidráulica que se encuentra en el Laboratorio de Materiales de Construcción ubicado en el CIITT de la Universidad Católica de Cuenca. El pistón que se encuentra colocado tiene una capacidad de 200 toneladas de carga.

Figura 21.

Prensa Hidráulica.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.4.3. Montaje

Tabla 11.

Pasos para montar las muestras.

Pasos	Imágenes
<p>Con la ayuda de un teclé se levantó la columna diseñada para conectarla hacia la columna de la prensa, esto con la intención de no ocasionar deformaciones y daños a los elementos estructurales que confirman las prensa.</p>	
<p>Una vez conectada la columna se procedió a empernar la viga soldada a la placa hacia la columna.</p>	
<p>Finalmente, el elemento se encuentra suspendido en el aire en posición</p>	

perpendicular al pistón del cual será transmitido la carga mediante la utilización de un elemento transmisor



Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.4.4. Carga

Una vez colocadas las vigas en posición, la carga del pistón fue transmitida con la ayuda de dos perfiles tipo I. El uno armado y otro que se encontraba en el laboratorio, esto debido a que el desplazamiento del pistón no es lo suficientemente grande y que además los orificios en la columna de la prensa para conectar la pieza que se va a ensayar se encuentran considerablemente distante del pistón. Para que la carga se transmita perpendicularmente hacia la viga, el elemento transmisor se lo colocó con la ayuda de niveles.

Figura 22.

Aplicación de carga en viga.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.4.5. Ensayo de vigas sin fuego

Primero se realizó el ensayo de la viga patrón que no fue expuestas al fuego para determinar valores iniciales de sus propiedades mecánicas y que permita tener datos de comparación con respecto a los elementos que se ensayarán en contacto con el fuego.

Figura 23.

Ensayo con carga.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 24.

Deformación de viga.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.4.6. Protección contra el fuego

Tanto los pernos como la placa y la columna serán protegidos mediante una plancha de Gypsum de un 1 cm de espesor. Esta placa se la coloco por dos razones, la primera para evitar la transmisión de calor hacia la columna diseñada y por ende hacia la columna de la prensa y la segunda para evitar la dilatación de los pernos con la finalidad de que la viga se pueda montar y desmontar para los próximos ensayos.

Figura 25.

Protección para pernos y columna.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 26.

Placas de gypsum y vigas a ensayar.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.4.7. Ensayo de vigas con fuego

El fuego fue aplicado directamente en la sección reducida de las vigas mediante la utilización de un soplete, de esta manera las vigas serán expuestas a condiciones de calor. Las vigas se calentarán en tiempos de 5 minutos, 10 minutos y 15 minutos. Una vez calentadas las vigas, se procederá a aplicar la carga mediante el pistón de la prensa hidráulica hasta que su deformación visualmente sea notable.

Figura 27.

Ensayo en viga - 10 minutos.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 28.

Ensayo a fuego en viga - 15 minutos.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 29.

Aplicación del fuego en sección reducida de viga.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

4 CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1. Análisis de datos

Una vez culminados los ensayos, se lograron obtener resultados de las respectivas vigas a los diferentes tiempos de exposición al fuego. A continuación, se procedió a realizar un análisis comparativo de las deformaciones y fuerzas máximas de las distintas vigas. Además, se expuso los tiempos y temperaturas máximas a las que llegaron cada una de las vigas, así como también la temperatura de retención.

4.1.1. Viga patrón

Figura 30.

Viga patrón.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

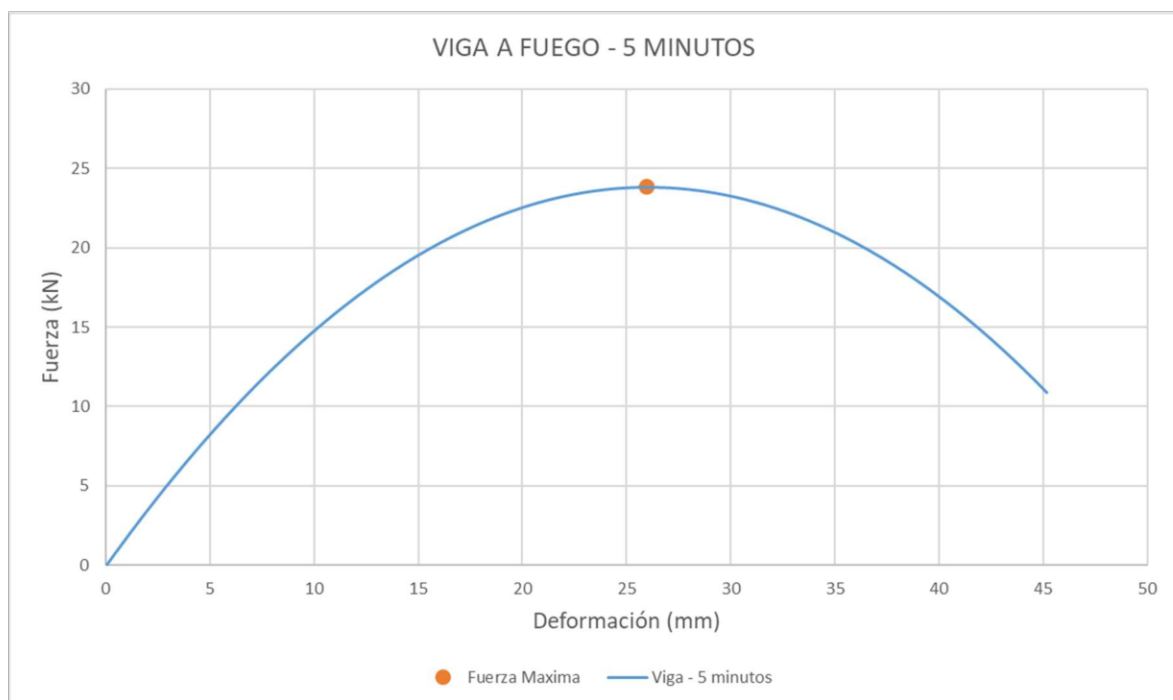
Como se puede observar en la figura 30, existe una relación directa entre el incremento de la fuerza aplicada y la deformación resultante en la viga patrón analizada. Inicialmente, a medida que la fuerza aplicada aumenta, la deformación también lo hace. Una vez superado su máxima capacidad de carga, esta comienza a disminuir, mientras que la deformación continúa incrementándose hasta llegar a su valor máximo.

La viga patrón registró una fuerza máxima de 32.19 kN alcanzado una deformación de 18.95 mm. La obtención de datos sugiere que la viga patrón presenta un comportamiento típico de materiales dúctiles, donde la deformación continúa ocurriendo incluso después de alcanzar la carga máxima, resultando en una disminución de la capacidad de carga antes de la falla total.

4.1.2. Viga con tiempo de exposición de 5 minutos

Figura 31.

Viga con exposición al fuego de 5 minutos.



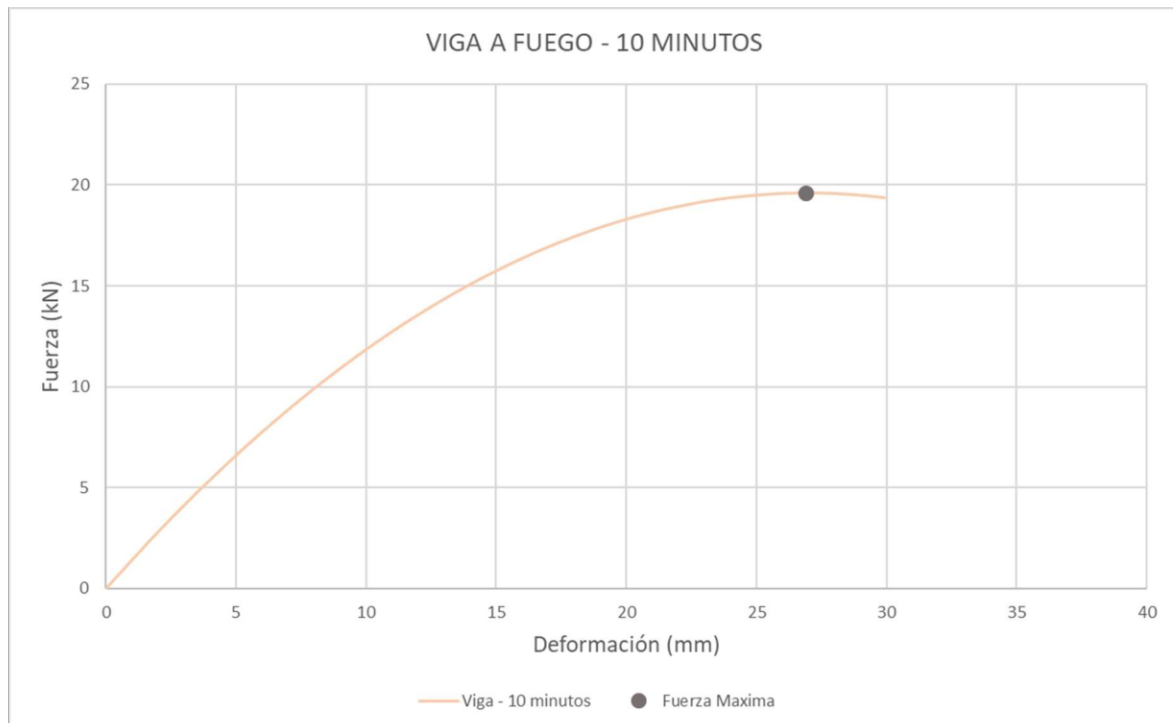
Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 31, se observa que la carga máxima que soporta la viga ensayada es de 23.83 kN con una deformación de 25.95 mm para esa carga.

4.1.3. Vigas con tiempo de exposición de 10 minutos

Figura 32.

Viga con exposición al fuego de 10 minutos.



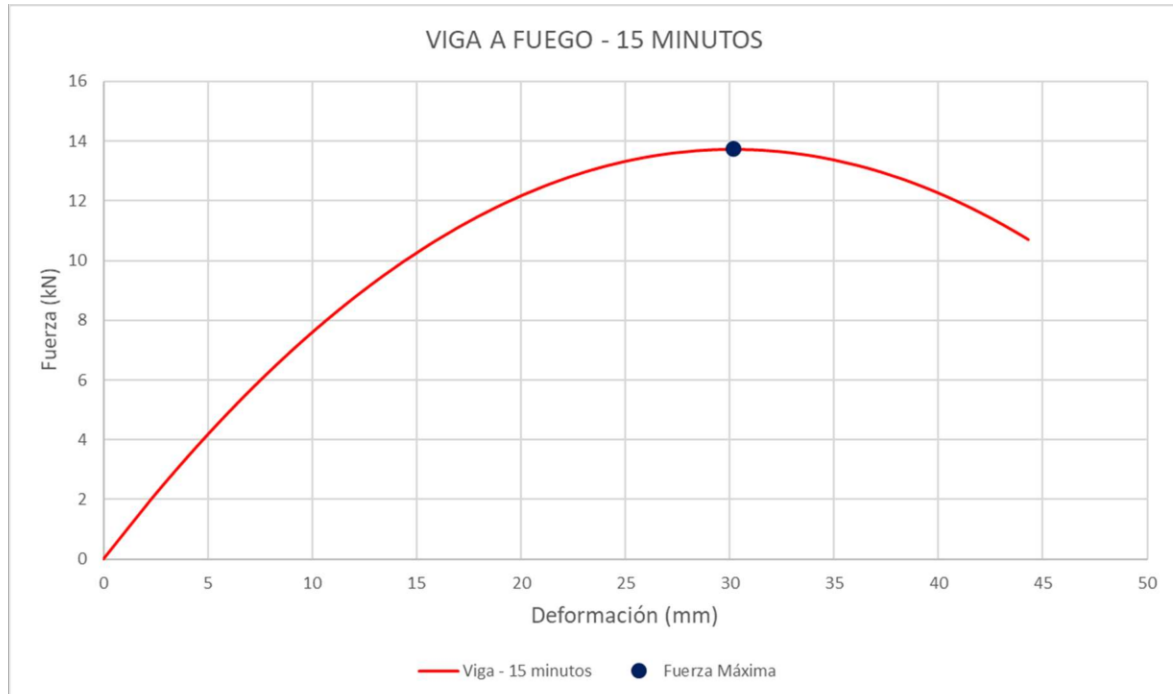
Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 32, se observa que la carga máxima que soporta la viga ensayada es de 19.59 kN con una deformación de 26.90 mm para esa carga.

4.1.4. Vigas con tiempo de exposición de 15 minutos

Figura 33.

Viga con exposición al fuego de 15 minutos.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

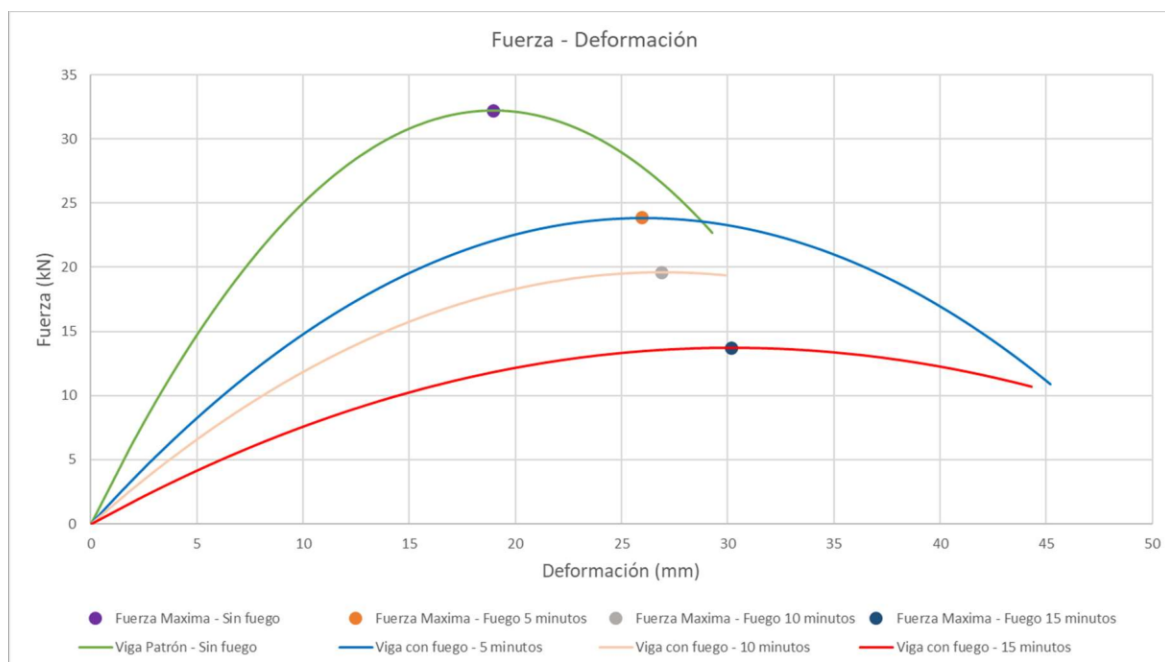
En la figura 33, se observa que la carga máxima que soporta la viga ensayada es de 13.72 kN con una deformación de 30.17 mm para esa carga.

4.2. Comparación de resultados

Una vez obtenidos los valores de las cargas máximas de cada una de las vigas y deformaciones a las que se llegó para sus valores máximos de fuerza, se recopiló la información para su análisis. En la tabla 12 y la figura 34 se detallan los valores fuerza y deformaciones obtenidas para la viga patrón, las vigas con tiempo de exposición de 5 minutos, de 10 minutos y de 15 minutos.

Tabla 12.*Cargas máximas y deformaciones en vigas.*

VIGAS	Fuerza Maxima - kN	Deformación luego del fuego - mm	Deformación durante el fuego	
			En líneas	En milímetros
PATRON	32.19	18.95	0	0
5 minutos	23.84	25.95	34	0.864
10 minutos	19.60	26.90	72	1.829
15 minutos	13.73	30.17	89	2.261

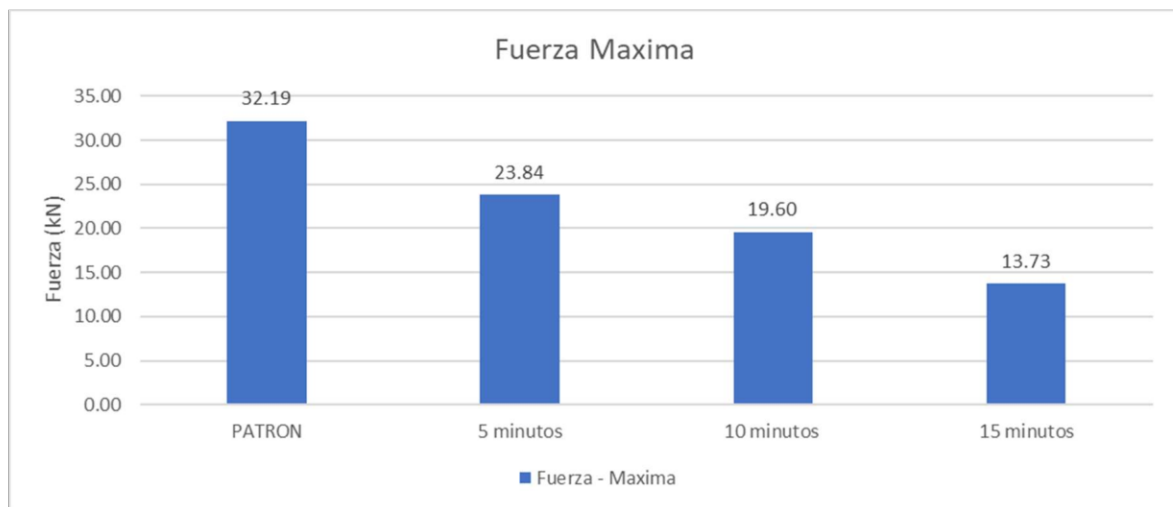
Nota. Fuente: Elaboración propia.**Figura 34.***Comparación de vigas ensayadas.**Nota.* Fuente: Elaboración propia.

Con los valores obtenidos, se presenta en las figuras 35 y 36 para la fuerza y la deformación respectivamente, en donde se observa la tendencia que se tienen en cada una. En

la figura 35 se observa que la fuerza disminuye con cada ensayo que se realiza, teniendo como menor carga la de la viga con tiempo de exposición de 15 minutos con 13.73 kN y a la viga patrón mayor carga de 32.19 kN. La fuerza aplicada en las vigas es menor a medida que se realizan los ensayos.

Figura 35.

Fuerza máxima en vigas.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

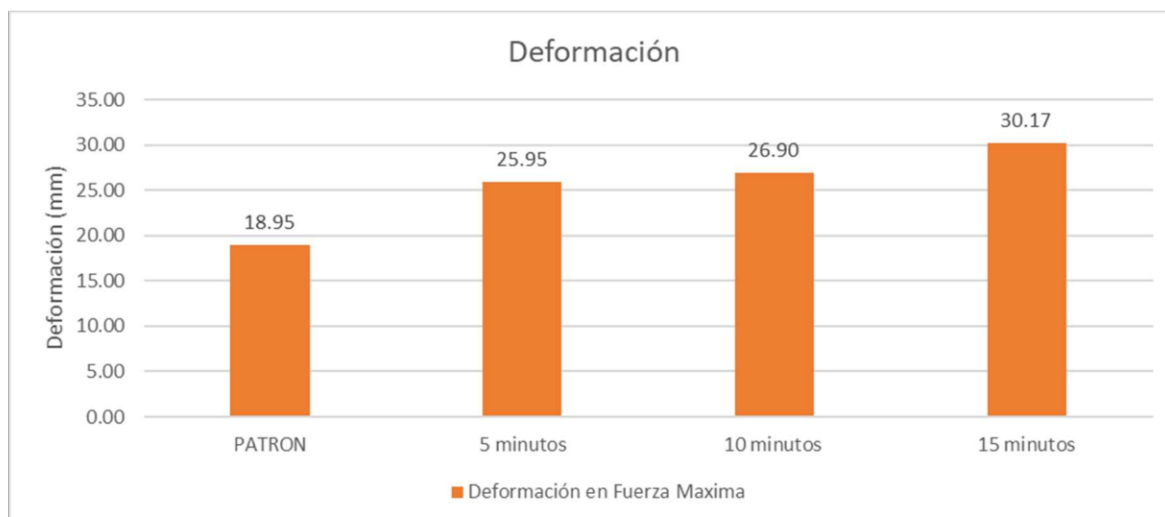
En la figura 36 se puede observar que las deformaciones aumentan a comparación de las vigas patrón. La deformación de las vigas va desde los 18.95 mm hasta llegar a los 30.17 mm, lo cual es correcto ya que las deformaciones aumentan a medida que las vigas son expuestas al fuego, debido a que estas pierden su resistencia. Además, como se observa en la tabla 12, las vigas al exponerse al fuego presentan un asentamiento antes de aplicar la carga, teniendo un asentamiento máximo de 2.261 mm para la viga expuesta a 15 minutos al fuego.

Luego de haber aplicado fuego en la sección reducida durante un período de 10 a 15 minutos, y posteriormente haber sometido la pieza a carga mediante la prensa, se observó un

ligero pandeo en las secciones. Este fenómeno se debe a que el acero, al calentarse, pierde resistencia y se vuelve más maleable, especialmente en el punto de la sección reducida.

Figura 36.

Deformaciones en vigas ensayadas.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 13 se observa que, en las vigas ensayadas la carga que soportan es menor cuando son expuestas al fuego en comparación con la viga patrón. Tomando en consideración que la viga patrón trabajan al 100% de su capacidad se evidencia que las vigas sometidas al fuego trabajan a un menor porcentaje debido a la pérdida de la resistencia. Con el acero calentado, el material se vuelve más maleable por lo que las vigas pueden deformarse mucho más y trabajar a una menor capacidad de carga. Por lo que en este ensayo se aprecia que las vigas con tiempo de calentado de 15 minutos trabajan al 43% perdiendo hasta el 57% de su capacidad de carga con respecto a la viga patrón.

Tabla 13.

Porcentaje de trabajo en vigas ensayadas.

VIGAS	Fuerza Maxima - kN	Porcentaje de trabajo
-------	--------------------	-----------------------

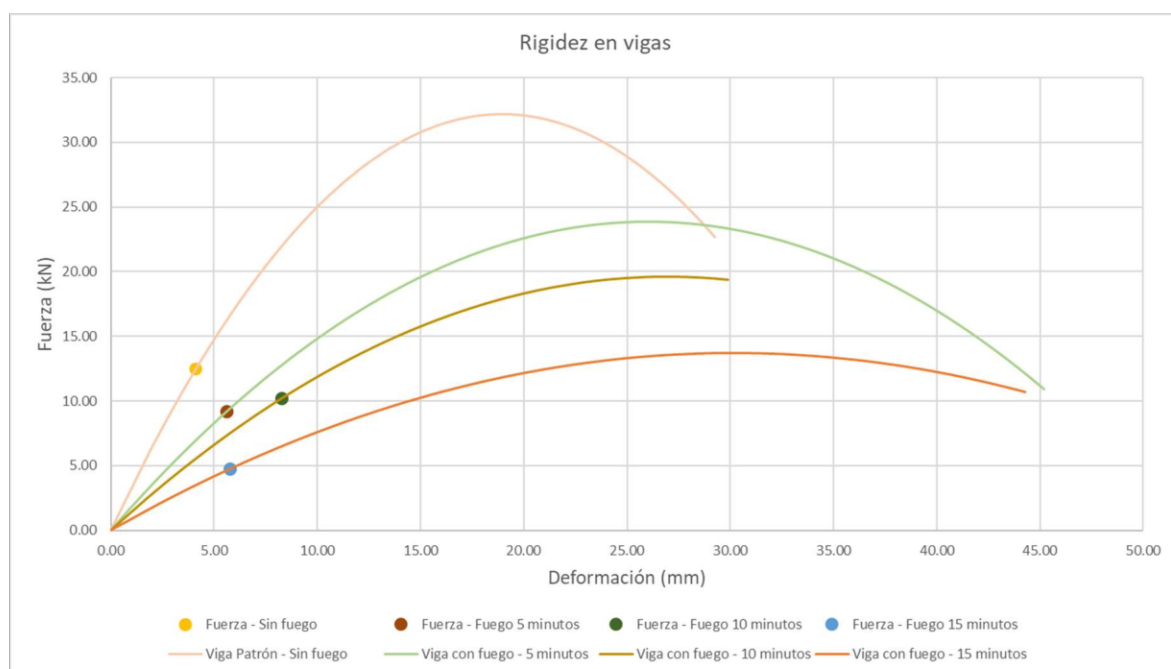
PATRON	32.19	100%
5 minutos	23.84	74%
10 minutos	19.60	61%
15 minutos	13.73	43%

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Una de las propiedades más importantes del material es la determinación de la rigidez. La rigidez permite comprender como el fuego aplicado durante este ensayo en la viga, provocó que la capacidad de esta para resistir deformaciones bajo cargas disminuya. Como se puede observar en la figura 37, se seleccionan puntos en cada una de las curvas de fuerza – deformación para poder determinar la rigidez de cada viga ensayada. En la tabla 14 se presentan los datos obtenidos, en N/mm y se aprecia una diferencia de 2504.78 n/mm que equivaldría al 27.19% de la pérdida de la rigidez de la viga expuesta a 15 minutos en el fuego con respecto a la viga patrón.

Figura 37

Pendiente para rigidez.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14

Cálculo de rigidez.

VIGAS	Fuerza - kN	Deformación - mm	Rigidez - kN/mm	Rigidez - N/mm
PATRON	12.45	4.11	3.03	3028.33
5 minutos	9.19	5.63	1.63	1633.96
10 minutos	10.21	8.30	1.23	1230.89
15 minutos	4.74	5.76	0.82	823.55

Nota. Fuente: Elaboración propia.

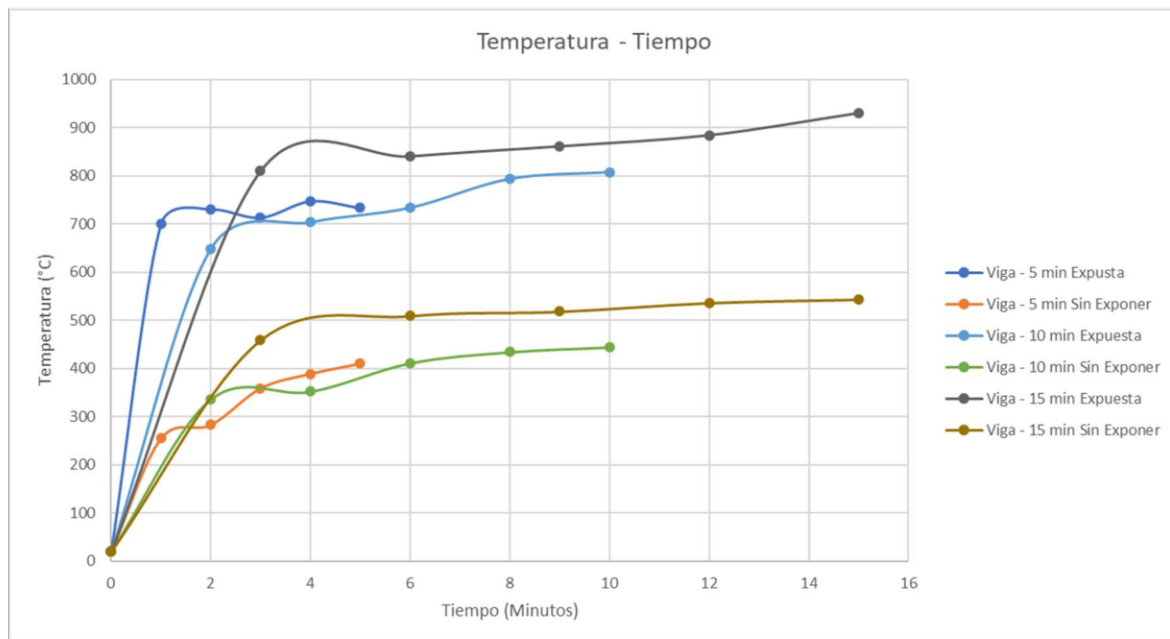
4.3. Temperaturas del fuego durante el quemado

Antes de realizar los ensayos de flexión de las distintas vigas, se realizó el quemado de las mismas. Se quemaron un total de 3 vigas (5 minutos, 10 minutos y 15 minutos respectivamente) y se tomó las temperaturas en los tiempos en la cara de la viga que se encontraba expuesta al fuego y la cara no expuesta. Este registro de tomo mediante una termocupla (En la cara expuesta) y con la pistola de temperatura láser (En la cara no expuesta) para poder determinar la retención térmica de la cara de las vigas.

A continuación, en la figura 37 se puede apreciar el comportamiento térmico en las 2 caras de la viga. Se logra observar que la temperatura en ciertos momentos crece y disminuye levemente; esto se logra apreciar en las vigas de mayor exposición que son las de 15 minutos.

Figura 38.

Comportamiento de la temperatura en las vigas.



Nota. Fuente: Elaboración propia

El registro de las temperaturas, se tomó de la siguiente manera: Para la viga de 5 minutos, se tomó la temperatura cada minuto, mientras que para la viga de 10 y 15 minutos se registró cada 2 y 3 minutos respectivamente. La temperatura se tomó en ambas caras al mismo tiempo y se obtuvo un registro de las distintas temperaturas.

En todos los ensayos se tuvo 5 registro de las temperaturas alcanzadas, teniendo como temperatura máxima en la cara expuesta de las vigas de 747 °C, 807 °C y 930 °C en las vigas 5, 10 y 15 minutos respectivamente. Mientras que en la cara que no se expuso al fuego se registraron temperaturas máximas de 410 °C, 444 °C y 543 °C, en las vigas de 5, 10 y 15 minutos respectivamente.

Tabla 15.*Valores de temperatura - Viga de 5 minutos.*

VIGA 5 MINUTOS					
Tiempo (Minutos)	Lado Expuesto (°C) - Termocupla	Otro Lado (°C) - Pistola	Diferencia De Temperatura	Porcentaje	Temperatura Promedio
0	20	20	0		
1	700	255	445	64%	
2	730	283	447	61%	
3	713	359	354	50%	53%
4	747	389	358	48%	
5	733	410	323	44%	

Nota. Fuente: Elaboración propia.**Tabla 16.***Valores de temperatura - Viga de 10 minutos.*

VIGAS 10 MINUTOS					
Tiempo (Minutos)	Lado Expuesto (°C) - Termocupla	Otro Lado (°C) - Pistola	Diferencia De Temperatura	Porcentaje	Temperatura Promedio
0	20	20	0		
2	648	336	312	48%	
4	703	352	351	50%	
6	733	411	322	44%	46%
8	793	434	359	45%	
10	807	444	363	45%	

Nota. Fuente: Elaboración propia.**Tabla 17.***Valores de temperatura - Viga de 15 minutos.*

VIGAS 15 MINUTOS					
-------------------------	--	--	--	--	--

Tiempo (Minutos)	Lado Expuesto (°C) - Termocupla	Otro Lado (°C) - Pistola	Diferencia De Temperatura	Porcentaje	Temperatura Promedio
0	20	20	0		
3	810	459	351	43%	
6	840	509	331	39%	
9	861	518	343	40%	41%
12	884	536	348	39%	
15	930	543	387	42%	

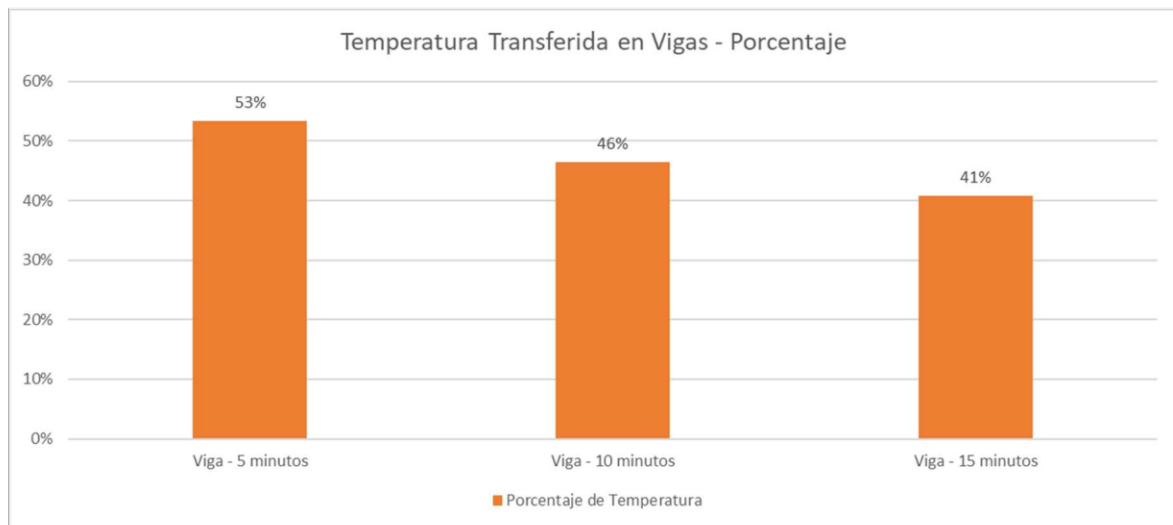
Nota. Fuente: Elaboración propia.

Una vez registrados todos los datos de la quema de las vigas antes del ensayo, se obtuvo el porcentaje promedio de calor retenido en las vigas. En este caso, la exposición del fuego se lo realizó directamente en el alma de las vigas y la variación de la temperatura en cada viga se debe a factores como la exposición del quemador, brisas, etc.

En la figura 39 se observa los porcentajes de calor que son retenidos en las distintas vigas. El mayor porcentaje de retención de calor se presenta en la viga expuesta a 5 minutos con el 53% mientras que las vigas de 10 y 15 minutos presentan una retención de calor del 46% y 41% respectivamente. Estos datos son importantes, ya que permiten conocer la retención térmica que tiene el alma de la viga con 5mm de espesor.

Figura 39.

Porcentaje promedio de transmisión térmica en las vigas.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

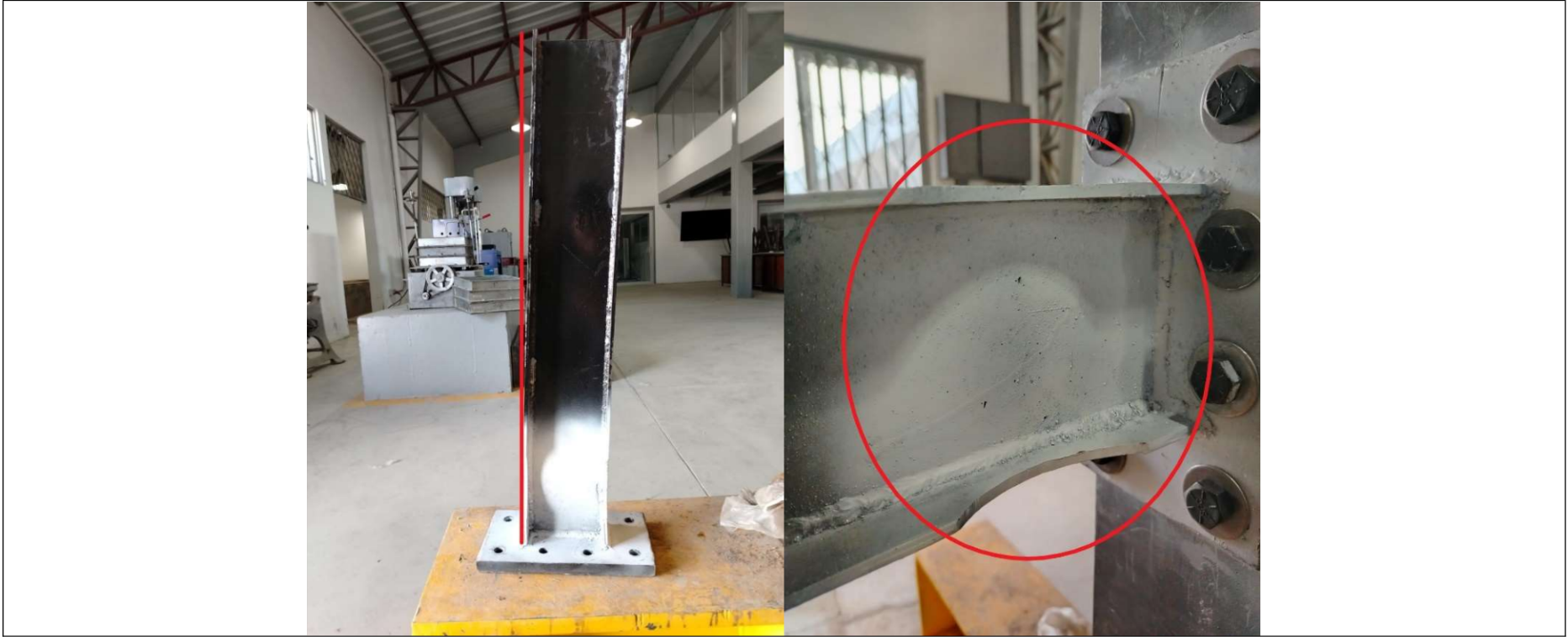
4.4.Muestras ensayadas

Durante el proceso de calentado de las distintas muestras ensayadas, se observó algunos cambios visuales como la tonalidad al momento en que estas eran expuestas a fuego prolongadamente. El color que se observó fue de tonalidad marrón, además de que también presentaron asentamientos durante el quemado. Sin embargo, lo más notorio durante el ensayo fue que la viga expuesta al fuego durante 15 minutos, presentando una deformación en la sección reducida.

Tabla 18.

Daños en vigas sin fuego.

Daños en vigas sin exposición al fuego





Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19.

Daños en viga al fuego - 5 minutos.

Daños en vigas expuestas 5 minutos al fuego





Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20.

Daños en viga al fuego - 10 minutos.

Daños en vigas expuestas 10 minutos al fuego



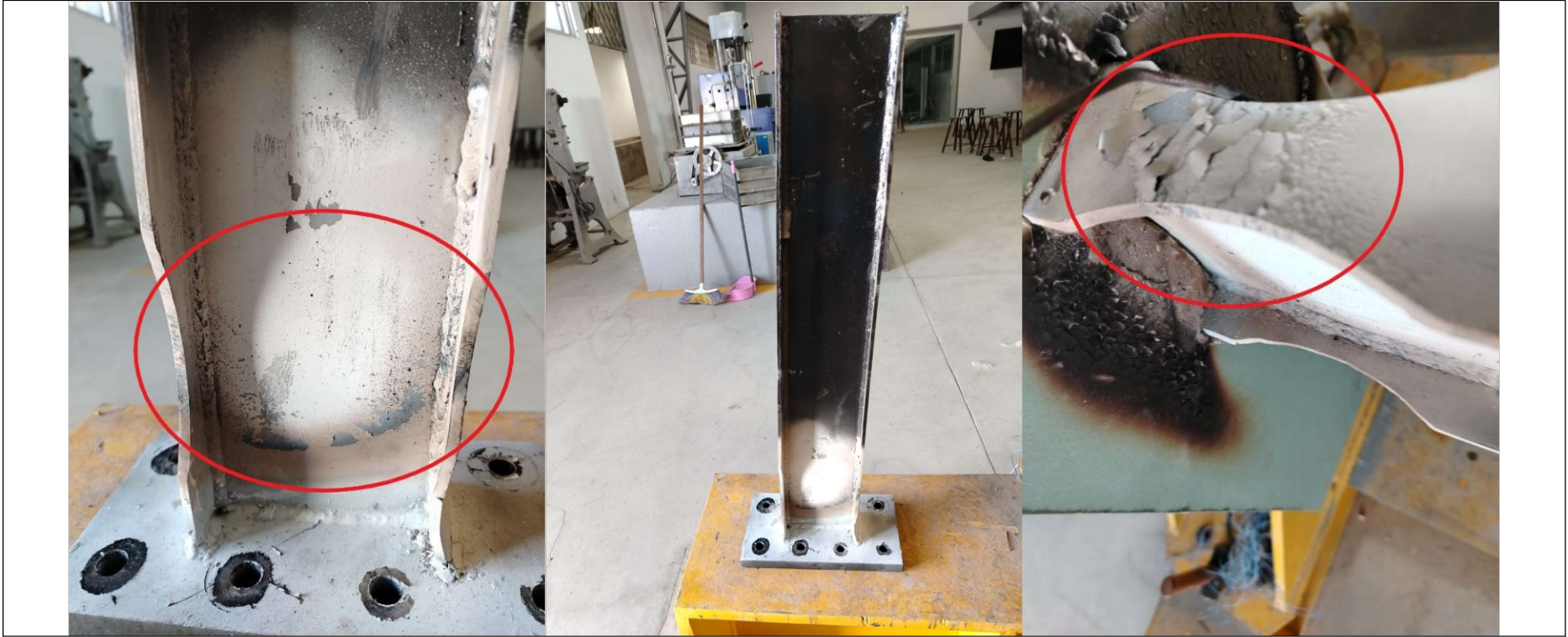


Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21.

Daños en viga al fuego - 15 minutos.

Daños en vigas expuestas 15 minutos al fuego





Nota. Fuente: Elaboración propia.

5 CAPITULO V: CONCLUSIONES

5.1. Conclusiones

- Las normativas AISC 341-16, 358-16 y 360-16 establecieron parámetros y guías fundamentales para el diseño de las vigas con sección reducida que se utilizaron en este estudio. Es crucial considerar cada uno de estos parámetros para garantizar que el diseño de la conexión sea adecuado y que su capacidad de carga sea la esperada. En cuanto al software Idea StatiCa, es una herramienta altamente eficiente y completa para el diseño de conexiones. Mediante la utilización de este software se pudo diseñar y verificar los elementos de la conexión, así como prever el tipo de deformación que presentaría el elemento y las posibles zonas de falla del mismo.
- Se evidenció que la retención de calor en las vigas disminuye conforme el tiempo que estas estén sometida a fuego, para la viga 5min la retención de calor fue del 53%, mientras que las vigas de 10 minutos y 15 minutos fue de 46% y 41% respectivamente. Con esto se puede determinar que a mayor tiempo que una estructura de acero se encuentre sometida a condiciones de fuego menor va a hacer la capacidad de que estas retengan el calor y este se trasmite hacia los demás elementos estructurales de acero. Además, se tener en cuenta el espesor de los elementos de acero, debido a que este determinara cuanto sea la capacidad de retención de calor.
- A partir de los 10 minutos y 15 minutos que las vigas fueron sometidas a fuego, se observó que, además de presentar una deformación vertical, también presentaban deformaciones mínimas con pandeo lateral. Esto significa que las vigas se deformaban en dos planos. Este comportamiento se debió a que el fuego se aplicó directamente en la sección reducida, lo que provocó una pérdida sucesiva de resistencia en dicha sección haciendo que la viga comenzara a presentar un pandeo mínimo.

- La evaluación del comportamiento de las vigas con sección reducida expuestas a fuego, ha sido un proceso de análisis experimental. Este análisis permitió observar cómo se daba el comportamiento de la deformación al momento en el que se aplicaron cargas en el extremo de la viga.
- Los resultados obtenidos muestran que las vigas que fueron sometidas al fuego presentaron una mayor deformación con una menor capacidad de carga en comparación con las vigas patrón. Se evidenció que la fuerza máxima de la viga patrón (32.19 kN) es mayor a la de la viga de 15 minutos al fuego (13.72 kN) teniendo una diferencia de 18.47 kN, equivalente a una disminución de carga del 57.37%. Este comportamiento es el esperado, ya que a medida que se calienta el acero pierde la capacidad de soportar carga por lo que el material pierde su resistencia. En las deformaciones obtenidas, se observó que estas aumentan con cada ensayo llegando hasta deformaciones de 30.17 mm como máximo en la viga sometida a fuego durante 15 minutos; esto debido a que el acero frente al fuego se vuelve más maleable.
- Las vigas con sección reducidas al ser sometidas al calor presentan una deformación inclusive antes de someterlas a carga. Esto debido a que mientras más tiempo se encuentre sometido a fuego un elemento de acero su capacidad de resistencia se reduce tal es el caso que en la viga de 15 minutos antes de aplicar la carga la viga ya presentaba una deformación de 2.261mm.

5.2.Recomendaciones

- Se recomienda realizar investigaciones futuras que ayuden a tener una mayor comprensión acerca del tema; analizando el comportamiento que podrían tener las vigas cuando estas se exponen a tiempos mucho más prolongados a los de este estudio.

- Para realizar los ensayos se sugiere que se empleen vigas de fabrica para así poder reducir los errores que se presentaron en las vigas armadas que se utilizaron en este ensayo.
- La Universidad adquiera los equipos necesarios para la correcta realización de este tipo de ensayos, mismos que permitirán obtener mejores resultados y por ende reducir los errores que se presentaron a la hora de realizar esta investigación. De igual manera que se realice en periodos adecuados el correcto mantenimiento de los equipos del laboratorio,

6 BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre Sosapanta, C. E., & Figueroa Bernal, A. J. (2008). *Análisis técnico-económico entre proyectos de construcción de estructuras metálicas y hormigón armado para edificios*. [Tesis, Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/607>
- AISC. (2016). *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, including Supplements No. 1 and No. 2*. www.aisc.org
- AISC. (2016a). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. www.aisc.org
- AISC. (2016b). *Specification for Structural Steel Buildings*. www.aisc.org
- ASTM. (2017). *Standard specification for quenched and tempered alloy steel bolts, studs, and other externally threaded fasteners*. www.astm.org
- Aranda Pazmiño, D. O., & Dután Amay, V. P. (2009). *Estudio de aceros estructurales para la construcción de carrocerías para buses*. [Tesis, Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1634>
- Ayala Bizarro, R. G. (2022). Evaluación de rótulas plásticas de elementos Hell en el software Etabs. In *Pontificia Universidad Católica de Chile - Escuela de Ingeniería*. <https://masterieg.uc.cl/evaluacion-de-rotulas-plasticas-de-elementos-shell-en-el-software-etabs/>
- Beltran, F., & Herrera, R. (2008). Innovaciones en el diseño sísmico de estructuras de acero. *Revista Acero Latinoamericano*.
- BCBVC. (2023). *Informe rendición de cuentas año 2022*. <https://bomberos.gob.ec/>

BCBVC. (2024, May 14). *Incendios*.

<https://incidentes2.bomberos.gob.ec/busquedaentrefechas?eventos=incendios&fechaD=2024-01-01T00%3A00&fechaH=2024-05-14T18%3A08&token=ibfzvXDMeO7g7mH2RCHwGAjb7VMsdHAW8YJK7E6R&EnviarIncidente=Enviar>

CORTAFUEGOS. (2020, June 15). *Acero & Fuego - Parte 1*.

<https://cortafuegos.cl/2020/06/15/acero-fuego-parte-1/>

Escobar, K. (2019). *Estudio del comportamiento a fuego de pilares de acero inoxidable en edificios residenciales e industriales*.

FERROStexar. (2023). *Ventajas y desventajas del acero como material de*

construcción. <https://ferrostexar.com/ventajas-y-desventajas-del-acero-como-material-de-construccion/>

García, M. (2018). *Estudio sobre la efectividad del factor de sobrerresistencia del criterio columna fuerte-viga débil en el diseño sísmico de pórticos de hormigón mediante el análisis dinámico no lineal*.

Iñiguez Jiménez, G., Barragán Aroca, G., Mas Camacho, M. R., & Vallejo Ilijama,

M. (2017). Estudio de amenazas, vulnerabilidad y riesgos estructurales en las instituciones de la parroquia urbana del Cantón Chimbo. *Revista Publicando*, 4(12(2)).

<https://www.revistapublicando.org/revista/index.php/crv/article/view/712>

INEC. (2021). *Programa Nacional de Estadísticas 2021-2025*.

Instituto Técnico de la Estructura en Acero. (2001). *Construcción en acero -*

Factores económicos y comerciales. In *ITEA* (Tomo 1). ITEA.

https://www.webaero.net/ingenieria/estructuras/metallica/bibliografia_documentacion/itea/previsualizacion/inf_TOMO%2001.htm

CTIF. (2023). World Fire Statistics Estadísticas Mundiales de Bomberos Die Feuerwehrstatistik der Welt. *CTIF*.

https://www.ctif.org/sites/default/files/2023-06/CTIF_Report28-ESG.pdf

Jiménez, A. (2017). *Estudio de resistencia al fuego en sistema estructural mixto*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación.

Lou, G., Wang, C., Jiang, J., Jiang, Y., Wang, L., & Li, G. Q. (2018). Fire tests on full-scale steel portal frames against progressive collapse. *Journal of Constructional Steel Research*, 145, 137–152.

<https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2018.02.024>

Ñauta Uzhca, P. A., & Riera Morocho, C. X. (2015). *Caracterización de propiedades mecánicas de los aceros para construcción de maquinaria que se comercializa en el Ecuador*. [Universidad Politécnica Salesiana - Sede Cuenca]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7585>

NEC. (2015). Estructuras de Acero. *CAMICON*.

<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/9.-NEC-SE-AC-Estructuras-de-Acero.pdf>

Oscar de Buen. (2001, October 26). *Satisfactoria, La respuesta de las torres gemelas al impacto de las aeronaves*. Banco de Boletines.

Pannillo, G., Chacón, M., & Riera, H. (2018). Desarrollo y programación de conexiones sismorresistentes tipo BFP y RBS conforme a la normativa ANSI/AISC 358-16. *Revista Gaceta Técnica*, 19(2).

- Quiroga Briñez, C. (2021). *El acero en la ingeniería civil, usos ventajas y limitaciones: Revisión Literaria* [Tesis, Universidad Cooperativa de Colombia]. <https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/1d0606db-55cd-4b46-88e2-2c427da9ce2e>
- Sfintesco D. (1965). Fuego y acero. *Informes de La Construcción*, 17. <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/4420>
- Ureña, E., & Alvarado, G. (2018). *Efecto del tiempo de exposición al fuego en la resistencia a flexión de vigas de hormigón armado*. 19(1856–9560), 2–13.
- Van der velde, H., & Oviedo, E. (2003). *Diseño de conexiones viga-columna para estructuras de acero ante efectos sísmicos*. Universidad Central de Venezuela .
- Zaforteza, I., Moya, J., & Hospitaler, A. (2020). “Valencia bridge fire test”, analisis experimental de la respuesta de puentes frente al fuego. *HORMIGÓN Y ACERO*.

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

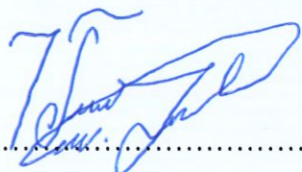
Nosotros, **Ronny Damián Cabrera Pesantez** y **Carlos Iván Tenezaca Ortiz** portadores de las cédulas de ciudadanía N° **0106927999** y **0302658182**. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Análisis del comportamiento al fuego de vigas tipo I con sección reducida: Evaluación de la resistencia estructural frente a condiciones de incendio”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 8 de agosto de 2024

F: 

Ronny Damián Cabrera Pesantez

C.I. 0106927999

F: 

Carlos Iván Tenezaca Ortiz

C.I. 0302658182