



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**

**COMPORTAMIENTO FÍSICO Y MECANICO DE  
ELEMENTOS EXPUESTOS AL FUEGO: PANELES CON  
PLASTICO RECICLADO (PET)**

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

**AUTOR: MARCELO ANTONIO QUITO CHABLA – ADIXON  
JORDANO MENESES HERAS**

**DIRECTOR: CARLOS JULIO CORDERO CABRERA**

**CUENCA - ECUADOR**

**2023**

**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**

**COMPORTAMIENTO FISICO Y MECANICO DE ELEMENTOS  
EXPUESTOS AL FUEGO: PANELES CON PLASTICO RECLICLADO  
(PET)**

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

**AUTOR: MARCELO ANTONIO QUITO CHABLA – ADIXON  
JORDANO MENESES HERAS**

**DIRECTOR: CARLOS JULIO CORDERO CABRERA**

**CUENCA - ECUADOR**

**2023**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

## DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD

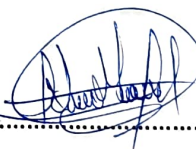
Marcelo Antonio Quito Chabla y Adixon Jordano Meneses Heras portadores de las cédulas de ciudadanía N° 0104193560 y 1400862064 Declaramos ser autores de la obra: "COMPORTAMIENTO FISICO Y MECANICO DE ELEMENTOS EXPUESTOS AL FUEGO: PANELES CON PLASTICO RECLICLADO (PET)", sobre la cual nos hacemos responsables 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, 3 de enero de 2024

F: 

**Marcelo Antonio Quito Chabla**

**0104193560**

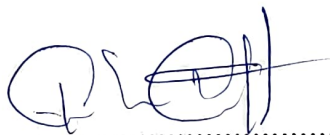
F: 

**Adixon Jordano Meneses Heras**

**1400862064**

## CERTIFICACIÓN

En la calidad de titulación denominado “**COMPORTAMIENTO FISICO Y MECANICO DE ELEMENTOS EXPUESTOS AL FUEGO: PANELES CON PLASTICO RECLICLADO (PET)**” certifico que fue realizado por **MARCELO ANTONIO QUITO CHABLA** y **ADIXON JORDANO MENESES HERAS**, estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Cuenca, bajo supervisión del suscrito; trabajo que reúne los requisitos necesarios para su presentación y sustentación ante el tribunal que se disponga.



.....  
**ING. MSC. CARLOS JULIO CORDERO CABRERA**

**C.I. 0103382958**

**DIRECTOR DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

## **RESUMEN**

La investigación tiene como objetivo analizar el comportamiento físico y mecánico de prototipos de paneles construidos con plástico PET frente al fuego. La metodología adoptada es cuantitativa, empleando un enfoque experimental y artesanal, donde los paneles son sometidos a una exposición controlada al fuego mediante métodos artesanales, teniendo en cuenta las limitaciones de recursos en la zona. Después de la exposición al fuego, se realiza el enfriamiento de las muestras en una duración de 24 horas, posterior a esto se procede a evaluar las características físico mecánicas de los paneles.

La exposición al fuego se llevó a cabo en diferentes muestras sometidas a fuego en tiempos de 5, 10 y 15 minutos, considerando los tiempos de respuesta de los bomberos de Cuenca. Estos intervalos se seleccionan para analizar específicamente el comportamiento de los paneles con plástico PET en diferentes fases de exposición al fuego, abordando la necesidad de explorar cómo reaccionan y su afección. Para esto se diseñó un horno especializado para la exposición controlada de los paneles al fuego, construido de manera experimental con materiales refractarios.

El estudio evaluó el comportamiento de paneles con plástico PET frente al fuego y durante la exposición se detectó como único gas contaminante al monóxido de carbono. Las muestras cubicas disminuyeron el 28.87% en su capacidad a compresión luego de 15 minutos de exposición. Las viguetas disminuyeron en un 54.81% su resistencia a flexión, alcanzando una resistencia de 2563.61 Kg/cm<sup>2</sup>. De igual manera los paneles mostraron descascaramiento y gran deformación de su estructura.

**Palabras claves:** Paneles, Plástico PET, Comportamiento físico y mecánico, Horno especializado, Fuego controlado.

## **ABSTRACT**

This research aims to analyze the physical and mechanical behavior of prototype panels made from PET plastic when exposed to fire. A quantitative methodology was employed, using an experimental and artisanal approach. The panels underwent controlled fire exposure through artisanal methods, considering resource limitations in the area. After fire exposure, the samples were cooled for 24 hours, and then the physical and mechanical characteristics of the panels were assessed.

The exposure to fire was conducted on different samples subjected to fire for durations of 5, 10, and 15 minutes, considering the response time of the firefighters in Cuenca. These intervals were selected to specifically analyze the behavior of PET plastic panels during different phases of fire exposure, addressing the need to explore how they react and their affection. For this purpose, a specialized furnace was experimentally designed with refractory materials for the controlled exposure of the panels to fire.

The study evaluated the behavior of PET plastic panels in the fire. During exposure, carbon monoxide was detected as the only contaminant gas. Cubic samples exhibited a 28.87% decrease in compressive strength after 15 minutes of exposure. The joists decreased 54.81% in flexural strength, reaching a resistance of 2563.61 Kg/cm<sup>2</sup>. Additionally, the panels showed peeling and great deformation of their structure.

**Keywords:** Panels, PET plastic, physical and mechanical behavior, specialized furnace, controlled fire

# ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	I
AGRADECIMIENTO.....	II
RESUMEN .....	III
ABSTRACT .....	IV
ÌNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
<b>1. CAPÍTULO I. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.2. ANTECEDENTES .....	2
1.2.1. <i>Internacionales</i> .....	2
1.2.2. <i>Nacionales</i> .....	3
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.4. JUSTIFICACIÓN .....	6
1.4.1. <i>Justificación Económica</i> .....	6
1.4.2. <i>Justificación Social</i> .....	7
1.4.3. <i>Justificación Ambiental</i> .....	7
1.5. OBJETIVOS .....	7
1.5.1. <i>Objetivo General</i> .....	7
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	8
<b>2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
2.1. ESTADO DEL ARTE .....	8
2.1.1. <i>Incendios</i> .....	8
2.2. MARCO TEÓRICO .....	9
2.2.1. <i>Clasificación del fuego en incendios</i> .....	9
<i>Clase A</i> .....	9
<i>Clase B</i> .....	9
<i>Clase C</i> .....	9
<i>Clase D</i> .....	10
<i>Clase K</i> .....	10
2.3. ETAPAS DE UN INCENDIO REAL.....	10
2.3.1. <i>Ignición</i> .....	11
2.3.2. <i>Flashover</i> .....	11

2.3.3.	<i>Enfriamiento</i> .....	11
2.4.	TEMPERATURAS MÁXIMAS ALCANZADAS EN UN INCENDIO .....	11
2.4.1.	<i>Combustibles de construcción</i> .....	12
2.4.2.	<i>Incendios forestales</i> .....	13
2.5.	COMPORTAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN INCENDIOS .....	13
2.6.	CLASIFICACIÓN DE EDIFICIOS Y ELEMENTOS ESTRUCTURALES ANTE UN INCENDIO .....	16
2.6.1.	<i>Una baja carga de fuego</i> .....	18
2.6.2.	<i>Una carga de fuego moderada</i> .....	18
2.6.3.	<i>Una alta carga de fuego</i> .....	18
2.7.	FORMAS DE EXTINCIÓN DE UN INCENDIO .....	19
2.8.	EL HUMO .....	19
2.9.	RESPUESTAS A EMERGENCIAS .....	19
2.10.	PLÁSTICOS PET .....	20
2.11.	RECICLAJE DEL PLÁSTICOS PET .....	21
2.12.	MATERIALES REFRACTARIOS.....	22
2.13.	TIPOS DE PANELES USADOS EN LA CONSTRUCCIÓN .....	22
2.13.1.	<i>Placas de Fibrocemento</i> .....	23
2.14.	UTILIZACIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO (PET) EN ELEMENTOS PREFABRICADOS DE CONCRETO.....	24
2.15.	EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO Y MECÁNICO DE LOS PROTOTIPOS DE PANELES CONSTRUIDOS CON PLÁSTICO RECICLADO PET.....	25
<b>3.</b>	<b>CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>26</b>
3.1.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	26
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	27
3.3.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL .....	27
3.3.1.	<i>Exposición al Fuego</i> .....	28
3.3.2.	<i>Post Exposición al Fuego</i> .....	28
3.3.3.	<i>Tiempo de Análisis de exposición al fuego</i> .....	28
3.3.4.	<i>Construcción del Horno Especializado</i> .....	28
3.3.5.	<i>Recolección y tratamiento del plástico PET</i> .....	30
3.3.6.	<i>Dosificación de la mezcla empleada para la elaboración de las muestras</i> .....	32
3.4.	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN .....	33
3.4.1.	<i>Cámaras Termográficas y Medidor de Gases</i> .....	33
3.4.2.	<i>Observación Visual</i> .....	33
3.4.3.	<i>Pruebas Mecánicas</i> .....	33
3.4.4.	<i>Análisis de Datos</i> .....	34
3.4.5.	<i>Normativas empleadas</i> .....	34
3.5.	CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES.....	35

3.5.1.	<i>Materiales provenientes de reciclaje PET</i> .....	35
3.5.2.	<i>Material procesado para mezcla en dosificación</i> .....	36
3.6.	PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA ELABORACIÓN DE LAS MUESTRAS .....	38
3.7.	ENSAYOS.....	40
3.7.1.	<i>Ensayo a compresión</i> .....	40
3.7.2.	<i>Ensayo de flexión</i> .....	40
<b>4.</b>	<b>CAPÍTULO V. RESULTADOS</b> .....	<b>42</b>
4.1.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	42
4.1.1.	<i>Ensayos de exposición al fuego en el horno refractario</i> .....	42
4.1.2.	<i>Ensayos a Compresión</i> .....	51
4.1.3.	<i>Ensayos a Flexión</i> .....	56
<b>5.</b>	<b>CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>60</b>
5.1.	CONCLUSIONES .....	60
5.2.	RECOMENDACIONES.....	61
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>62</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1.</b> COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO A DISTINTAS TEMPERATURAS .....	13
<b>TABLA 2.</b> COMPORTAMIENTO DE MATERIALES .....	14
<b>TABLA 3.</b> CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES. ....	16
<b>TABLA 4.</b> APLICACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES SEGÚN SU CARGA DE FUEGO.....	16
<b>TABLA 5.</b> CLASIFICACIÓN DE EDIFICIOS POR SU RESISTENCIA AL FUEGO .....	18
<b>TABLA 6.</b> MEDIDAS ESTANDARIZADAS DE LOS ESPECÍMENES .....	36
<b>TABLA 7.</b> VOLUMEN DE MORTERO NECESARIO PARA LA ELABORACIÓN DE LAS MUESTRAS .....	37
<b>TABLA 8.</b> DOSIFICACIÓN DE CADA MATERIAL PARA EL NUEVO VOLUMEN DE MORTERO OBTENIDO .....	37
<b>TABLA 9.</b> DOSIFICACIÓN CONSIDERANDO UNA SUSTITUCIÓN DEL 25% DE AGREGADO FINO POR PARTÍCULAS DE PLÁSTICO PET .....	37
<b>TABLA 10.</b> DOSIFICACIÓN CONSIDERANDO UNA SUSTITUCIÓN DEL 25% DE AGREGADO FINO POR PARTÍCULAS DE PLÁSTICO PET Y EL DESPERDICIO .....	38

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> ESTADÍSTICAS DE INCENDIOS A NIVEL MUNDIAL HASTA EL AÑO 2020, SEGÚN CORDERO (2023).....	5
<b>FIGURA 2.</b> DATOS ESTADÍSTICOS BOMBEROS CUENCA, ECUADOR - SITIO WEB OFICIAL.....	5
<b>FIGURA 3.</b> ESTADÍSTICAS DE BOMBEROS CUENCA ECUADOR-INCENDIOS POR AÑOS.....	6
<b>FIGURA 4.</b> REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS CLASES DE FUEGO EN UN INCENDIO SEGÚN NTP 350.021 (2012) Y ASTM E119 (2015).....	10
<b>FIGURA 5.</b> ETAPAS DE UN INCENDIO REAL SEGÚN LO EXPUESTO POR BRITZ, ET AL, (2020) .....	11
<b>FIGURA 6.</b> CURVAS DE CRECIMIENTO IRRADIACIÓN-TL INTEGRANDO CADA UNO DE LOS PICOS DEL CUARZO PARA LAS PROBETAS CALENTADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS: (A) PICO 110 °C, (B) PICO 200-210 °C, (C) PICO 250-400 °C. CURVAS DE TL MEDIDA EN CADA PICO DEL CUARZO PARA LAS PROBETAS CALENTADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS: (D) PICO 110 °C, (E) PICO 200-210 °C, (F) PICO 250-400 °C.....	13
<b>FIGURA 7.</b> INCLINACIÓN TÉRMICA TÍPICA DE MUROS DE CARGA (A) Y DIVISORIOS (B).....	15
<b>FIGURA 8.</b> TIPOS DE PLACAS DE FIBROCEMENTO .....	24
<b>FIGURA 9.</b> DISEÑO DE HORNO EMPLEADO PARA PROCESOS DE EXPERIMENTACIÓN Y DESARROLLO DEL TEMA .....	29
<b>FIGURA 10.</b> PLANOS Y ESPECIFICACIONES DEL HORNO .....	30
<b>FIGURA 11.</b> HORNO CONSTRUIDO PARA SOMETER PANELES A PRUEBAS DE FUEGO .....	30
<b>FIGURA 12.</b> RECOLECCIÓN DE BOTELLAS DE PLÁSTICO PET.....	31
<b>FIGURA 13.</b> CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL PET.....	31
<b>FIGURA 14.</b> TRITURACIÓN DE LAS BOTELLAS DE PLÁSTICO PET.....	31
<b>FIGURA 15.</b> LAVADO Y SECADO DE LAS PARTÍCULAS DE PLÁSTICO PET .....	32
<b>FIGURA 16.</b> TAMIZADO DE LAS PARTÍCULAS DE PLÁSTICO PET .....	32
<b>FIGURA 17.</b> MODELO DE DOSIFICACIÓN DE MORTERO. FUENTE: (YUPA & GUAMAN, 2022) .....	33
<b>FIGURA 18.</b> MEDIDOR DE GASES UTILIZADO. ....	33
<b>FIGURA 19.</b> PROCESO DE RECICLAJE PARA EL USO DE PLÁSTICO PET TRITURADO EN PANEL.....	36
<b>FIGURA 20.</b> ELABORACIÓN DE LA MEZCLA HOMOGÉNEA COMPUESTA POR MATERIALES GRANULARES Y AGUA ...	39
<b>FIGURA 21.</b> ELABORACIÓN DE LOS MOLDES DE LAS MUESTRAS .....	39
<b>FIGURA 22.</b> PLASTIFICACIÓN, DESENCOFRADO Y CURADO DE LAS MUESTRAS .....	39
<b>FIGURA 23.</b> PROBETAS CON FORMAS CÚBICAS Y CILÍNDRICAS SOMETIDAS A ENSAYOS POR FLEXIÓN .....	40
<b>FIGURA 24.</b> PROBETAS CON FORMA DE VIGUETA SOMETIDAS A ENSAYOS POR FLEXIÓN .....	41
<b>FIGURA 25.</b> ENSAYOS DE EXPOSICIÓN AL FUEGO EN EL HORNO REFRACTARIO.....	42
<b>FIGURA 26.</b> INGRESO DE LAS MUESTRAS EN EL HORNO REFRACTARIO .....	44
<b>FIGURA 27.</b> COLOCACIÓN DE MUESTRAS EN EL HORNO REFRACTARIO.....	44
<b>FIGURA 28.</b> COMPARACIÓN DE MUESTRA PATRON SIN EXPOSICIÓN AL FUEGO Y PANEL EXPUESTO AL FUEGO DURANTE 5 MINUTOS .....	46
<b>FIGURA 29.</b> COMPARACIÓN DE MUESTRA PATRON SIN EXPOSICIÓN AL FUEGO Y PANEL EXPUESTO AL FUEGO DURANTE 10 MINUTOS .....	46
<b>FIGURA 30.</b> COMPARACIÓN DE MUESTRA PATRON SIN EXPOSICIÓN AL FUEGO Y PANEL EXPUESTO AL FUEGO DURANTE 15 MINUTOS .....	47

<b>FIGURA 31.</b> COMPARACIÓN DE PANDEO DE MUESTRA PATRON SIN EXPOSICIÓN AL FUEGO Y PANEL EXPUESTO AL FUEGO DURANTE 15 MINUTOS .....	47
<b>FIGURA 32.</b> COMPARACIÓN DE PANDEO DE MUESTRA PATRON SIN EXPOSICIÓN AL FUEGO Y PANEL EXPUESTO AL FUEGO DURANTE 10 MINUTOS .....	48
<b>FIGURA 33.</b> COMPARACIÓN DE PANDEO DE MUESTRA PATRON SIN EXPOSICIÓN AL FUEGO Y PANEL EXPUESTO AL FUEGO DURANTE 15 MINUTOS .....	48
<b>FIGURA 34.</b> TRANSMISIÓN DE CALOR MUESTRAS DE PANEL A LOS 5 MINUTOS.....	50
<b>FIGURA 35.</b> TRANSMISIÓN DE CALOR MUESTRAS DE PANEL A LOS 10 MINUTOS.....	50
<b>FIGURA 36.</b> TRANSMISIÓN DE CALOR MUESTRAS DE PANEL A LOS 15 MINUTOS.....	51
<b>FIGURA 37.</b> ENSAYOS A COMPRESIÓN MUESTRA CÚBICA .....	53
<b>FIGURA 38.</b> ENSAYOS A COMPRESIÓN MUESTRA CILÍNDRICA .....	55
<b>FIGURA 39.</b> ENSAYOS DE FLEXIÓN DE VIGUETAS.....	58

# 1. CAPÍTULO I. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

## 1.1. Introducción

La interacción entre la ingeniería, la sostenibilidad y la seguridad es el centro del estudio que emprendemos en este documento. La creciente preocupación por los incendios y la gestión responsable de los recursos plásticos en nuestro entorno ha impulsado un enfoque de investigación crítica: el comportamiento físico y mecánico de elementos expuestos al fuego, con un énfasis particular en los paneles fabricados a partir de plástico reciclado (PET) (Angumba, 2016).

En las últimas décadas, el uso generalizado de plástico PET (Tereftalato de Polietileno) en envases, botellas, productos de consumo y una variedad de aplicaciones industriales ha llevado a un preocupante aumento en la cantidad de este material en circulación. Conocido por su ligereza, versatilidad y durabilidad, el plástico PET se ha convertido en una parte integral de nuestra vida diaria. Sin embargo, esta propiedad altamente duradera que lo hace muy útil también lo convierte en una amenaza importante para el medio ambiente.

Es por ello que se ha considerado la integración de este material para su reciclaje en diversos rubros como la industria alimentaria y envases, industria textil, arquitectura y diseño, etc. Sin embargo, centrándonos en el rubro ingenieril, podemos nombrar su reciclaje para usos como geotextiles, sistemas de infiltración, piezas de maquinarias, tuberías, materiales de aislamiento, entre otros. Es así que también se postula evaluar su aplicación en mamposterías y paneles prefabricados, para fines de fomentar la creación de una normativa y el uso de este material en futuras construcciones.

Los paneles de fibrocemento son los más empleados en Ecuador para diversas aplicaciones, como: revestimientos exteriores, cubiertas, divisores de espacios y recubrimientos de fachadas, así mismo le siguen los paneles de zinc que tienen usos como sistemas de canalización de aguas, cubiertas agrícola, residenciales e industriales. Es debido a la alta demanda, que se ha considerado mejorar sus propiedades con diversos materiales de fácil accesibilidad y viables económicamente (Vera & Valdiviezo, 2019).

La adición de plástico PET a elementos estructurales surge como una alternativa en la construcción debido a su bajo costo y alta disponibilidad del material. Estos elementos, fabricados a partir de botellas de plástico recicladas, ofrecen numerosas ventajas, como la reducción de residuos y la reutilización de materiales, sin embargo, es necesario evaluar su

comportamiento físico y mecánico cuando se exponen a altas temperaturas, como las generadas durante un incendio.

Algunos estudios como los de (Ibarra & Matute, 2021) y (Córdova, 2020) han demostrado que son más resistentes al fuego que los materiales tradicionales. Los ensayos realizados evidencian que las propiedades intrínsecas del PET tienen un punto de inflamación más alto y una mayor resistencia a la propagación del fuego. También están diseñados con aditivos retardantes de llama, lo que mejora aún más su comportamiento en caso de incendio. Esto resulta en una mayor seguridad para las estructuras construidas con estos paneles, ya que reduce las posibilidades de propagación del fuego y de colapso estructural. Además, estos paneles son más livianos que los materiales usados en la construcción, lo que facilita su transporte y montaje; y son altamente resistentes a la humedad y al proceso de envejecimiento, lo que prolonga su vida útil.

## **1.2. Antecedentes**

### ***1.2.1. Internacionales***

El rubro de la ingeniería civil debe orientarse a brindar soluciones sustentables y económicamente viables, es por ello que en los últimos años se han evaluado el uso de materiales novedosos que sean rentables y cumplan este objetivo. Es así que su trabajo se centra en analizar la ecoeficiencia de paneles de fibrocemento sin y con agregados reciclados de plástico PET. La metodología se dividió en dos partes, en la primera se analizaron muestras con parámetros de trabajabilidad, peso específico y resistencia a la compresión y para la segunda parte se compararon las muestras que cumplen los estándares de la primera. Finalmente se concluye al agregar 5% de plástico PET a los paneles de fibrocemento hubo reducciones del costo y un menor impacto ambiental (Alejandrino, Ojeda, & Mercante, 2021).

En la investigación efectuada acerca del tema se tuvo el objetivo de analizar si existe una mejora en el comportamiento térmico de viviendas rurales mediante la aplicación de paneles PET prefabricados. Tiene una metodología mixta tipo analítica, ya que tiene un enfoque cualitativo que analiza la realidad de las viviendas teniendo en cuenta las opiniones y perspectivas de sus habitantes, y también tiene un enfoque cuantitativo que realiza un análisis estadístico de las personas encuestadas y descriptivo de las viviendas y temperaturas. Se concluye que los ocupantes de estas viviendas llegan a tener 19 horas de confort térmico y se reducen las temperaturas operativas hasta los 26.45°C, a la vez que hay un descenso en los

gastos de producción de estos paneles en comparación con los ya empleados en la zona (Sánchez, 2021).

Por otro lado, también se tuvo como objetivo analizar la viabilidad de fabricar prototipos de panel utilizando PET reciclado combinado con polietileno de alta densidad (HDPE) y polipropileno (PP) proporciona datos sobre los niveles de sostenibilidad y comportamiento estructural. Se empleó una metodología mixta que se aplica con búsqueda de información, entrevistas y el respectivo análisis de ensayos de 2 muestras con proporciones de 33% PET, 33% PEAD y 33% PP, así como, 20% PET, 35% PEAD y 45% PP. Finalmente se pudo obtener que la segunda muestra tiene un aumento del 10% de la resistencia a la compresión y una reducción de costos considerable (Obeso, 2018).

Al analizar el comportamiento físico-mecánico del ladrillo artesanal con adición de plástico reciclado PET, mediante metodología cuantitativa tipo descriptiva experimental. Es así que se ensayaron tres muestras con diferentes porcentajes de incorporación de plásticos PET (0%, 3%, 5%, 6% y 10%) pudiéndose obtener como resultado que las unidades sin plástico PET tienen una resistencia a la compresión de 43.7 kg/cm<sup>2</sup> y 12.45% de absorción, las que tienen 3% tienen una resistencia a la compresión de 18 kg/cm<sup>2</sup> y absorción de 13.12%, las que tienen 6% tienen una resistencia a la compresión de 11.04 kg/cm<sup>2</sup> y absorción de 16.96% y las que tienen 10% las que tienen 3% tienen una resistencia a la compresión de 9.68 kg/cm<sup>2</sup> y absorción de 18.57%. Dando como conclusión que si bien es cierto no se logra una mejora en la resistencia a la compresión axial, si se logra una mejora en la absorción, cumpliendo así de manera parcial lo establecido por la norma E070 (Díaz & Sánchez, 2019).

### ***1.2.2. Nacionales***

El empleo de un proceso constructivo para poner a prueba la funcionalidad, sostenibilidad y rentabilidad de prototipos de paneles con plástico PET y caucho. Mediante una metodología cuantitativa, se dosifican inicialmente para realizar los especímenes de mortero con diversos porcentajes de material reciclado, posteriormente se someten a ensayos físicos y mecánicos para determinar su resistencia, y se realiza una evaluación de la viabilidad económica de estos paneles. Se concluye que la dosificación con agregado de 25% de plástico PET y 10% de caucho tiene la mejor resistencia a las pruebas realizadas y reduce los gastos de un panel de fibrocemento común (Yupa & Guaman, 2022).

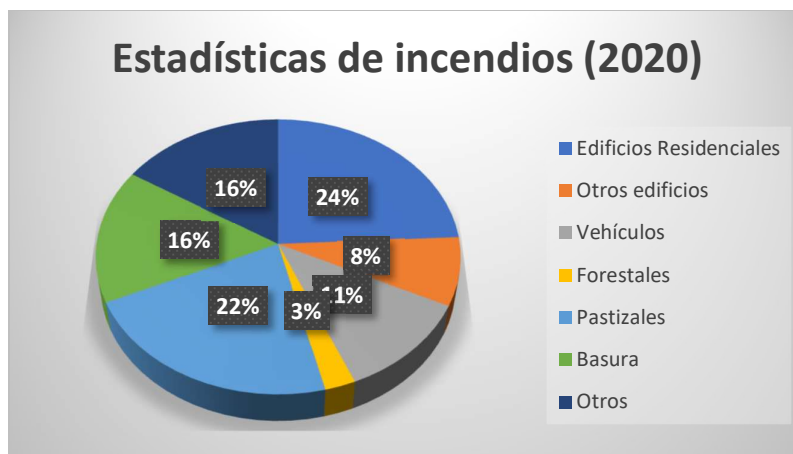
La evaluación del uso de planchas para cubierta a base de plástico PET, vidrio y papel reciclado como una alternativa sustentable a las planchas de fibrocemento y zinc, que son las más

empleadas en Ecuador. Se desarrolla con una metodología cualitativa de tipo descriptiva, exploratoria y documental para obtener resultados basados en información bibliográfica, entrevistas y ensayos de laboratorio. Pudiéndose obtener dos prototipos con diferentes proporciones de sus componentes, sin embargo, a ambos se les añade el vidrio y el plástico durante el tiempo de secado. El ensayo de estas placas permite concluir una elevada resistencia a las condiciones climáticas (Ibarra & Matute, 2021).

El uso de paneles prefabricados a base de cáscara de maní y plástico reciclado PET. Emplea una metodología mixta con una modalidad de campo y gabinete que permite reunir información mediante el uso de encuestas, entrevistas, investigación bibliográfica y pruebas de laboratorio. Se pudo evidenciar una mejora en la resistencia a la compresión y cuenta con un 10% de absorción, lo que es beneficioso para el interior del espacio. Además, la presencia de poros capilares en el centro de las placas sirve para procesos termo-acústicos, así como también, reduce los costos en un 10.09%, en comparación con el uso de mampostería tradicional García y Quiroz (2018).

### 1.3. Formulación del problema

Un incendio es un fenómeno de fuego no controlado que se puede dar en bosques, viviendas, edificaciones, etc., provocando daños leves y en algunos casos catastróficos. Tomando en cuenta la frecuencia con la que se producen incendios estructurales en el mundo, más específicamente en la ciudad de Cuenca, se ha visto la necesidad de estudiar materiales que se puedan implementar en el ámbito de la construcción para que sean factibles y aumenten el tiempo de resistencia al fuego, de esta manera dar un periodo de tiempo de respuesta más largo para que el cuerpo de bomberos más cercano pueda responder de una mejor manera la emergencia de incendio solicitada y con ello evitar daños en la estructura, pérdida de vidas humanas y pérdidas económicas (Reolid, 2019), ver Figura 1.





**Figura 3.** Estadísticas de bomberos cuenca ecuador-incendios por años

Con base a las estadísticas que se tiene sobre incendios en la ciudad de Cuenca se debe analizar la resistencia al fuego y los gases que emiten los paneles estructurales fabricados con plástico PET experimentando nuevas formas de construcción de hormigones con materiales reciclados, además de contribuir con el ambiente ya que son en su gran mayoría plásticos usados para envases de un solo uso, con esto también se pretende reducir costos de construcción (Vera T. , 2022).

La problemática radica en comprender cómo estos paneles, que pueden contener componentes de plástico altamente inflamables, reaccionan ante el fuego y cómo esta reacción afecta la seguridad de las personas, la estabilidad de las estructuras y el medio ambiente. Por ello se ha planteado responder la siguiente pregunta:

¿Cuál es el impacto de la exposición a incendios de gran envergadura en el comportamiento físico y mecánico de los paneles con plástico reciclado (PET) utilizados en la construcción, considerando aspectos como la resistencia al fuego, la propagación de llamas, la integridad estructural y la liberación de humo?

#### **1.4. Justificación**

En este caso se ha utilizado el plástico PET para la elaboración de paneles de hormigón, los cuales serán expuestos al fuego en un horno fabricado específicamente para materiales constructivos, y así, de esta manera estudiarlos para determinar si su utilización puede beneficiar o afectar la estructura de las viviendas y edificaciones como tal, determinando si su resistencia al fuego es satisfactoria. También se estudia si puede inferir en el bienestar de la salud de las personas por la emanación de gases tóxicos o diversos contaminantes. Por lo que es necesario conocer lo que sucede con los elementos constructivos después de un incendio para poder proponer soluciones que satisfagan la seguridad de las edificaciones. Es así que se clasifican estas afirmaciones en las siguientes justificaciones:

##### ***1.4.1. Justificación Económica***

- Comprender cómo los paneles con plástico reciclado PET se comportan físicamente y en situaciones de fuego permite a la industria de la construcción y la fabricación optimizar sus procesos. Puede ayudar a reducir los costos al identificar qué tipos de paneles son más resistentes al fuego y, por lo tanto, más adecuados para aplicaciones específicas.
- El estudio puede conducir al desarrollo de nuevos materiales o tecnologías que mejoren la resistencia al fuego de los paneles con plástico reciclado. Esto puede abrir oportunidades económicas para empresas que lideren la innovación en este campo.

### ***1.4.2. Justificación Social***

- La investigación en base a la resistencia al fuego de los paneles con PET garantiza la seguridad del ser humano que viven o trabajan en edificios construidos con estos materiales. Un mayor conocimiento de estos aspectos permite la construcción de edificios más seguros y protegidos contra incendios, lo que disminuye el riesgo de lesiones y muertes.
- Compartir los datos a los bomberos, constructores y al cliente en cómo reacciona este tipo de paneles en caso de ser expuestos al fuego de un incendio, permitiéndoles tener una mejor reacción y preparación ante estos siniestros.
- El estudio del comportamiento físico-mecánico de paneles con plástico reciclado PET puede respaldar la creación de regulaciones y normativas más sólidas, mejorando así la calidad y la seguridad de las edificaciones, lo que beneficia a la sociedad en general.

### ***1.4.3. Justificación Ambiental***

- Utilizar PET reciclado reduce la cantidad de plástico que termina en vertederos o en el medio ambiente, lo que ayuda a reducir la contaminación y el impacto ambiental negativo.
- La producción de plástico reciclado suele requerir menos energía y emite menos gases de efecto invernadero en comparación con la producción de plástico virgen. Esto contribuye a la mitigación del cambio climático.
- Al utilizar plástico reciclado en lugar de materiales tradicionales, se reducen las demandas de recursos naturales no renovables, como la madera y el acero.
- El uso de materiales reciclados fomenta la economía circular al dar una segunda vida a los productos de plástico. Esto encaja en un enfoque más sostenible de la producción y el consumo.

## **1.5. Objetivos**

### ***1.5.1. Objetivo General***

Analizar el comportamiento físico y mecánico frente al fuego que tiene el prototipo de paneles construidos con plástico reciclado PET mediante la aplicación de fuego controlado, que permita evaluar sus beneficios o afecciones en el ámbito constructivo.

### ***1.5.2. Objetivos Específicos***

- Construcción de un horno que permita exponer a los paneles a un fuego controlado.
- Evaluar la cantidad de gases tóxicos que pueden emanar los paneles al momento de someterlos al fuego.
- Determinar las características físico mecánicas que presentan los paneles expuestos ante el fuego a diferentes temperaturas y a los diferentes tiempos de exposición de los mismos.

## **2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Estado del arte**

#### ***2.1.1. Incendios***

El incendio se debe a la propagación del fuego (combustión) sin control, por lo que en la definición del fuego tenemos que se debe a una reacción físico-química en donde se genera calor, luz y humo la cual es provocada por la combinación de varios elementos como los combustibles con el oxígeno en presencia del calor (Albornoz, 2016).

En un incendio intervienen varios materiales combustibles de los cuales muchas edificaciones están construidas, con una amplia gama de líquidos, sólidos y gases, que se utilizan diariamente en la industria de la construcción, dichos materiales están estructurados por carbono se los denomina como sustancias combustibles (Grant, 2017).

Los combustibles tienen como orígenes orgánicos e inorgánicos, entre los orgánicos tenemos a los que contienen carbono, los cuales pueden ser madera, papel, gas natural entre otros, todos estos materiales se descomponen a una temperatura de 500 grados centígrados. Además, tenemos los inorgánicos, los que no están compuestos de carbono, como es el caso de los aluminios, metales, magnesio, fósforo. Su combustión es más difícil dado que requiere más calor (Albornoz, 2016).

Un incendio inicia de una manera constante, originado por la quema de combustible, esto produce calor suficiente que lo retroalimenta dando como resultado el incremento de la emisión de gases y vapores. Mientras que exista suficiente calor que pueda permitir gasificando el combustible y además de cantidad suficiente de combustible que pueda seguir emanando gases o vapores y comburente que lo alimente seguirá ardiendo dando como resultado a este

fenómeno llamado reacción en cadena, lo que provocara que el incendio siga vivo sin ánimos de extinguirse (Albornoz, 2016).

En Sudamérica se ha evidenciado una gran cantidad de origen de incendios relacionados con diferentes causas y muchas de ellas son de forma directa o indirectamente con la actividad humana, esto debido que se llevan a cabo actividades asociadas con el fuego en suelos que se han dado para la conservación como pastos y áreas para cultivos, relacionándolos altamente con el fuego (Armenteras, 2019).

Es importante saber la resistencia al fuego de los materiales ocupados en la construcción porque esto permite determinar si las estructuras y materiales son capaces de soportar la exposición al fuego, por cuanto tiempo y también la capacidad que poseen para transmitir calor. Es por ello que se han propuesto estudios y tesis como la de (Ladino, Ladino, & Donato, 2022), que desarrollaron su tema entorno a la capacitación del cuerpo de bomberos de Colombia respecto al módulo de comportamiento de los materiales que se usan generalmente en la infraestructura de la ciudad (acero laminado, concreto de 3000 psi y madera en flor morado).

## **2.2. Marco teórico**

### ***2.2.1. Clasificación del fuego en incendios***

Las normativas (CNB-INDECOPI, 2012) y (ASTM Internacional, 2015) clasifican el fuego según el material combustible en:

#### ***Clase A***

Este fuego se produce por la quema de materiales combustibles sólidos y que generalmente son orgánicos, como el papel, madera, tela paja, caucho, y varios tipos de plásticos. Se caracteriza por la presencia de brasas y residuos.

#### ***Clase B***

Este fuego se produce por la quema de líquidos inflamables como gasolina, petróleo, aceites, pintura, sólidos licuables y alcohol como asfalto, algunas ceras, parafina y plásticos.

#### ***Clase C***










Este fuego se produce por cortocircuitos o fallas en equipos eléctricos que presentan la característica de estar energizados, tales como generadores, motores eléctricos, transformadores, cables, etc.

### **Clase D**

Este fuego se produce por metales como el magnesio, aluminio, titanio, litio, potasio, calcio, entre otros. Al quemarse estos metales, generan oxígeno propio para su abastecimiento.

### **Clase K**

Es el fuego se produce en las cocinas, debido a la quema de aceites, mantecas, grasas vegetales y animales, para una mejor ilustración ver Figura 4.

SIMBOLOGÍA	PICTOGRAMA	CLASES DE FUEGO
		Clase A: Este fuego se produce por la quema de materiales combustibles sólidos y que generalmente son orgánicos, como el papel, madera, tela paja, caucho, y varios tipos de plásticos.
		Clase B: Este fuego se produce por la quema de líquidos inflamables como petróleo, gasolina, aceites, pintura, alcohol y sólidos licuables como asfalto, parafina, algunas ceras y plásticos.
		Clase C: Este fuego se produce por cortocircuitos o fallas en equipos eléctricos que presentan la característica de estar energizados.
		Clase D: Este fuego se produce por metales como el magnesio, aluminio, titanio, litio, potasio, calcio, entre otros.
		Clase K: Es el fuego se produce en las cocinas, debido a la quema de aceites, mantecas, grasas vegetales y animales.

**Figura 4.** Representación gráfica de las clases de fuego en un incendio según (CNB-INDECOPI, 2012) y (ASTM Internacional, 2015)

### **2.3. Etapas de un incendio real**

Según (Britez, Carvalho, & Helene, 2020) existen 3 etapas en un incendio real:

### 2.3.1. Ignición

Durante esta etapa, también conocida como pre-flashover, se produce el calentamiento de manera gradual al inicio del incendio, por lo que no llega a ser perjudicial para las personas y el entorno en el que se desarrolla (Britez, Carvalho, & Helene, 2020).

### 2.3.2. Flashover

Etapa en la se produce una aceleración en el aumento de la temperatura que genera cambios repentinos debido a que se quema el material combustible que se encuentre en el entorno donde se produce el incendio. Los gases emitidos pueden llegar a una temperatura mayor a 300°C, e incluso pueden superar los 1000°C (Britez, Carvalho, & Helene, 2020).

### 2.3.3. Enfriamiento

En esta etapa se va reduciendo progresivamente la intensidad de las llamas y la temperatura de los gases del medio, y posteriormente se llega a extinguir por completo el material combustible. Debido a ello, ya no existe una fuente que alimente las llamas, por lo que la estructura se enfría gradualmente (Britez, Carvalho, & Helene, 2020), ver Figura 5.

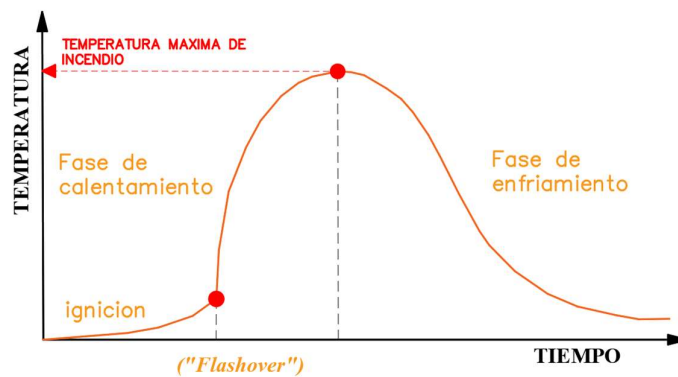


Figura 5. Etapas de un incendio real según lo expuesto por, (Britez, Carvalho, & Helene, 2020)

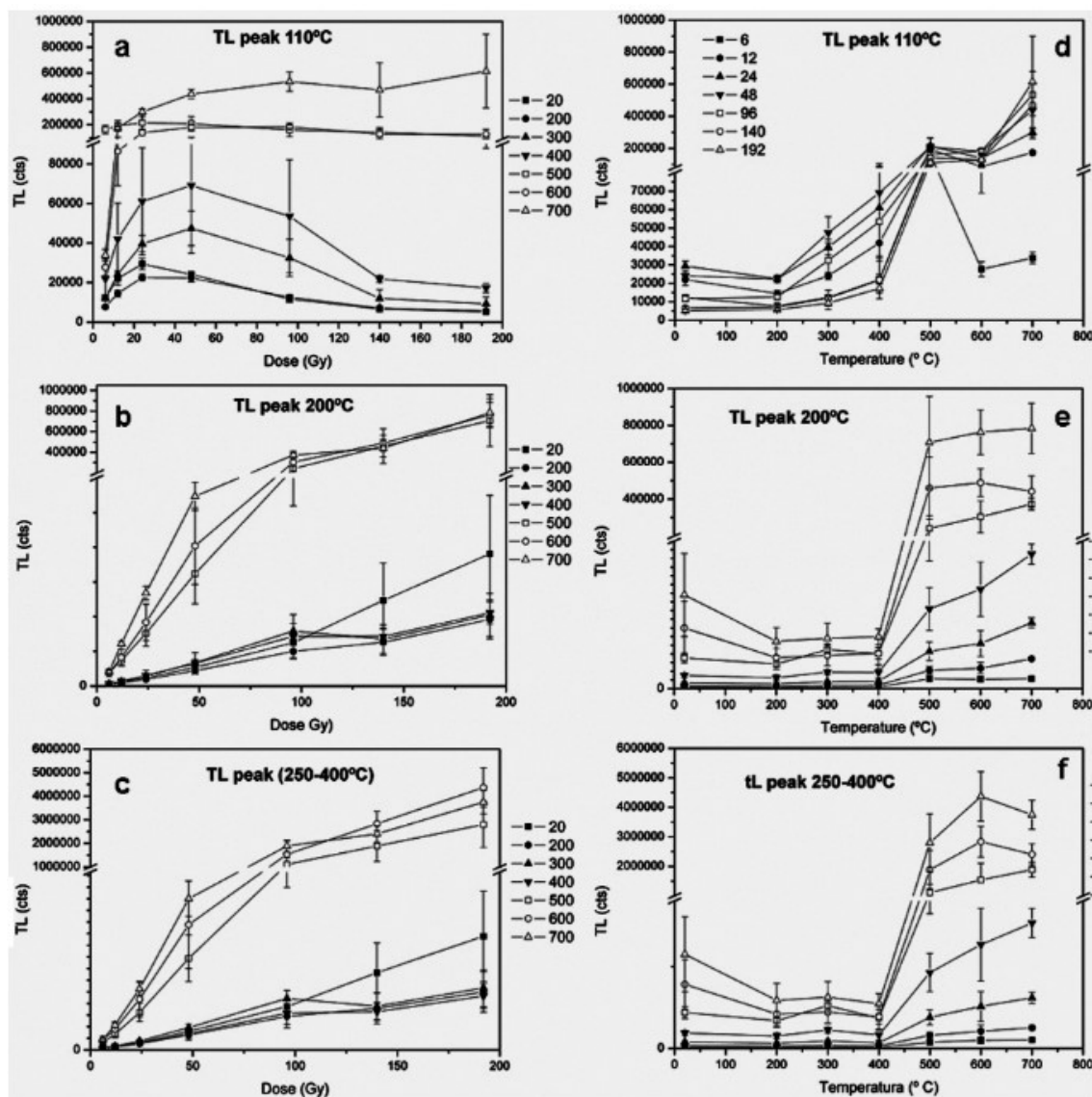
## 2.4. Temperaturas máximas alcanzadas en un incendio

Los incendios ocurridos en edificios pueden ser extremadamente perjudiciales para sus ocupantes, causando lesiones y muertes. Las temperaturas máximas que puede alcanzar un incendio dependen del proceso que se lleve a cabo en el interior del edificio y materiales que albergue la estructura, es así que se pueden realizar las siguientes estimaciones:

### 2.4.1. Combustibles de construcción

Según (Sanjurjo & Gómez, 2012), que estudiaron por termoluminiscencia los rangos de temperaturas máximas que se registraron en el incendio de edificios históricos, se pudo obtener los siguientes resultados:

Mediante pruebas se pudo determinar la sensibilidad del TL sometido a altas temperaturas a las que era la roca, lo que requirió la extracción de cuarzo del material y la aplicación de dosis de irradiación. La sensibilidad del pico de 110 °C parece admitir el restablecimiento de temperaturas de calentamiento a baja temperatura (entre 200 y 400 °C) por medio de la administración de dosis bajas. Se pueden reconstruir otros picos para temperaturas superiores a 400 °C, ver Figura 6.



**Figura 6.** Curvas de crecimiento irradiación-TL integrando cada uno de los picos del cuarzo para las probetas calentadas a diferentes temperaturas: (a) pico 110 °C, (b) pico 200-210 °C, (c) pico 250-400 °C. Curvas de TL medida en cada pico del cuarzo para las probetas calentadas a diferentes temperaturas: (d) pico 110 °C, (e) pico 200-210 °C, (f) pico 250-400 °C.

### 2.4.2. Incendios forestales

Según (Carballas, 2004) se puede clasificar los incendios en baja, intermedia y alta intensidad.

- Baja intensidad, es reconocido por la presencia de cenizas negras donde la temperatura oscila entre 100-250 °C, y a una profundidad de 1-2 cm. se reduce hasta por debajo de 100°C.
- Intermedia intensidad, es reconocido por la combustión parcial de la materia orgánica donde la temperatura oscila entre 300-400 °C, a una profundidad de 1 cm. se reduce hasta los 200- 300°C, a una profundidad de 3 cm. hasta los 60-80°C y a los 5 cm. hasta 40-50°C.
- Alta densidad, es reconocido por la presencia de cenizas blancas correspondiente a la quema total del material combustible, donde la temperatura oscila entre 500-700 °C, a una profundidad de 2 cm. se reduce hasta los 350- 450°C, a una profundidad de 3 cm. hasta los 150-300°C y a los 5 cm. hasta menos de 100°C. El incendio no llega a afectar más de los 7-10 cm. de profundidad.

### 2.5. Comportamiento de elementos estructurales en incendios

El concreto armado es uno de los materiales más empleados para la elaboración de elementos estructurales, es por ello que (Cobeñas & Janampa, 2019) realizan su tesis entorno a la reacción física y química de este material después de ser afectado por las altas temperaturas de un incendio. Entre las características del concreto tenemos que: no es combustible, por lo que no incrementa la carga del fuego; no produce gases tóxicos y las estructuras hechas de este material tienen una mejor resistencia al fuego.

Si el concreto supera 300° C sufre daños que afectan irreparablemente las resistencias, sin embargo, su bajo coeficiente de calor hace que se demore en alcanzar niveles y peligrosidad, ver Tabla 1.

**Tabla 1.** Comportamiento del concreto a distintas temperaturas

TEMPERATURA °C	COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO
200°-300°	Pérdida del agua capilar, no parecen modificaciones estructurales ni disminuye la resistencia.

300°-400°	Pérdida del agua del cemento. Aparecen fisuras superficiales y el concreto tiende a una coloración rosácea debido a los cambios que sufren los compuestos de hierro.
400°-600°	Desprendimiento de cal viva a partir del hidróxido cálcico de hidratación de silicatos. Cuando se enfría el concreto sus propiedades mecánicas pueden disminuir en función del método de extinción del incendio y de las tensiones estructurales a las que esté sometido. Color rojizo.
600°-950°	Los áridos se expanden y debido a sus diferentes coeficientes de dilatación, aparece la disgregación. El concreto adquiere tonalidades grisáceas, pierde agua intersticial y se vuelve poroso. En esas situaciones se produce una pérdida de resistencia que puede oscilar entre el 60% y el 90%, siendo necesaria su total sustitución para garantizar la estabilidad estructural del edificio.
950°-1200°	Destrucción del conglomerado, adquiriendo un tono amarillento. El concreto carece de resistencia residual alguna.

Después de un incendio, se efectúa las inspecciones visuales y realiza pruebas estandarizadas tales como: Extracción y falla del núcleo de concreto (Norma ASTM C42) para determinar la robustez del material; Determinación de la resistencia del concreto usando un probador de dureza de 6 puntos (Norma C 805) para determinar la resistencia. de la Uniformidad concreta del sitio.

Incluso han surgido estudios como los de Ibarra y Matute (2021) y Córdova (2020) sobre agregar fibras de plástico, con resultados favorables como el aumento de la resistencia y reducción de permeabilidad, pero, además, es donde posee mayor fuerza a la fractura, a la abrasión y fuerzas de impacto.

Burón y Vega (2007) también realizan un análisis del comportamiento de materiales como la madera, el acero y el concreto. Esto con el objetivo de destacar la relevancia de la conductividad del calor del material para fines de estabilidad estructural frente a un incendio, ver Tabla 2.

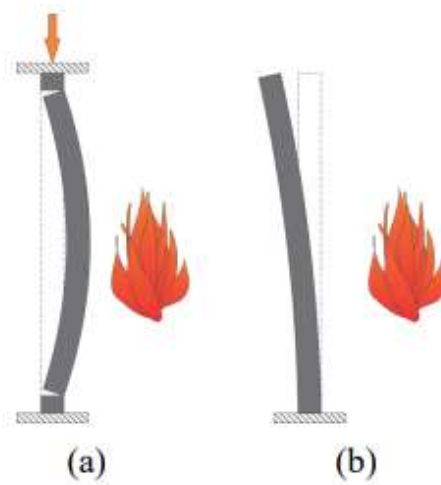
**Tabla 2.** Comportamiento de materiales

	Madera	Acero	Hormigón
Resistencia al fuego sin protección	Muy Baja	Baja	Alta
Combustibilidad	Alta	Ninguna	Ninguna

Contribución a la carga de fuego	Alta	Ninguna	Ninguna
Conductividad del calor	Baja	Muy Alta	Muy Baja
Incorpora protección frente al fuego	Muy Baja	Baja	Alta
Posibilidad de reparación después del fuego	Ninguna	Baja	Alta
Protección para los usuarios durante la evacuación y los bomberos	Baja	Baja	Alta

Así mismo, (Covarrubias & Ruvalcaba, 2015) hacen referencia a la exposición de la mampostería (de material de concreto, arcilla, silicato de calcio y celular) a altas temperaturas. A pesar de que sean hechas de un material resistente al fuego, poseen un determinado tiempo de resistencia. Además, cabe destacar que influye el proceso constructivo y la constitución del material empleado, a pesar de ello se intenta regionalizarlos según su origen y su composición.

Los muros expuestos al fuego en un solo lado presentan un fenómeno denominado inclinación térmica, que es causado por variaciones en los coeficientes de expansión térmica y gradientes de temperatura diferencial en su espesor debido a que la cara que se encuentra en contacto con el fuego tiene mayor expansión que la que no. Los materiales que poseen menores valores de conductividad térmica son más propensos a tener elevados gradientes. También las condiciones de frontera, relación de esbeltez y condiciones de carga llegan a ser determinantes de la deformación térmica que se presente en estos muros, ver Figura 7.



**Figura 7.** Inclinación térmica típica de muros de carga (a) y divisorios (b)

Cuando la temperatura interna del muro de mampostería se eleva, producto del fuego de un incendio, existe un lapso en el que se evapora el agua que alberga y funciona como un disipador de energía.

Además, puede presentarse el desconchamiento térmico como producto de la expansión de gases de agua en el interior de la pieza, lo que genera esfuerzos de poros que producen una explosiva pérdida de material que causa una disminución de la resistencia de carga.

## 2.6. Clasificación de edificios y elementos estructurales ante un incendio

(Osorio & Plua, 2017) mencionan en el Ecuador, la norma CPE INEN 5 parte 8:1986 permite clasificar los miembros estructurales según la capacidad que tienen de resistir el fuego en un determinado tiempo y temperatura. La clasificación tiempo-temperatura es realizada con los antecedentes de incendios reales. La relación entre el incendio real expresado como carga de fuego y el fuego normal se determina mediante la combustión de cantidades estimadas de material combustible correspondiente a varias cargas de fuego, con la finalidad de formar los criterios empleados para la clasificación tiempo-temperatura del fuego normal. Finalmente, inferimos las cargas de fuego que resistirán los miembros estructurales en la Tabla 3 y 4.

**Tabla 3.** Clasificación de elementos estructurales.

TIPO No.	Tiempo en horas de Resistencia mínima contra un incendio normal	Clase de incendio	
		Carga de fuego en kcal/m <sup>2</sup>	Clase de incendio
1	6	1100000 o más	Muy alto
2	4	550000 a 1100000	Alto
3	2	275000 a 550000	Medio
4	1	menos de 275000	Bajo
5	1/2	-----	Muy bajo

Nota: Kcal/m<sup>2</sup> es la transmisión térmica por unidad de área hacia una superficie en contacto con un material, aire u otro fluido.

**Tabla 4.** Aplicación de elementos estructurales según su carga de fuego

CLASE	USO	
	NORMAL	ANORMAL
Baja carga de fuego	Edificios residenciales descritos solamente como un lugar de residencia, incluyendo los pisos que forman parte de ellos.  Hoteles, casas de alojamiento, restaurantes y similares.	Fábricas y bodegas en las cuales se presentan riesgos especiales debido al uso de cantidades limitadas de uso de artículos y procesos peligrosos, los cuales de otro modo se clasificarían como "baja carga de fuego/Usos normales".

	Escuelas y edificios usados para educación y/o entrenamiento que pueden comprender los siguientes locales:	
	a) Salas de conferencias, gimnasios y oficinas adjuntas.	
	b) Bibliotecas, salas de reunión, laboratorios, museos y bodegas adjuntas.	
	c) Proyección de películas cinematográficas (solamente no inflamables)	
	Hospitales, salas de enfermeras, sanatorios, asilos y dispensarios incluyendo oficinas adjuntas, plantas y equipos.	
Baja carga de fuego	Edificios para congregaciones religiosas y ceremonias de culto, como templos, iglesias, capillas, etc.	
	Salas públicas, museos, galerías de arte, bibliotecas públicas y similares.	
	Oficinas comerciales, bancos y oficinas del gobierno.	
	Clubes sociales y culturales incluyendo Cine-clubs (con películas no inflamables).	
	Teatros y cines (sujetos a calificación de bajo riesgo personal y siempre que la proyección y almacenamiento de películas inflamables sean adecuadamente separados).	
	Fábricas y talleres en los cuales los materiales y procesos no son peligrosos, como en el caso de un taller de ingeniería.	
Carga moderada de fuego	Almacenes para venta al por menor, centros comerciales, bazares, fábricas y talleres en general.	Almacenes para venta al por menor, fábricas y talleres en los cuales se presentan riesgos especiales por el uso de grandes cantidades de materiales peligrosos o procesos peligrosos.
Alta carga de fuego	Grandes depósitos y bodegas usados para almacenamiento, en gran escala de materiales y artículos no peligrosos.	Grandes depósitos y bodegas usados para almacenamiento en gran escala de materiales y artículos peligrosos.

---

En la tabla 4 notamos la aplicación de elementos estructurales según:

### 2.6.1. Una baja carga de fuego

La carga de fuego no sobrepasa los 275000 Kcal/m<sup>2</sup> de área neta de piso de cualquier espacio, ni los 550000 Kcal/m<sup>2</sup> en áreas aisladas limitadas; siempre y cuando se tenga almacenado el material combustible debidamente aislado en un ambiente resistente al fuego.

### 2.6.2. Una carga de fuego moderada

La carga de fuego supera los 275000 Kcal/m<sup>2</sup> de área neta de piso de cualquier espacio, pero no los 550000 Kcal/m<sup>2</sup>, mucho menos los 1100000 Kcal/m<sup>2</sup>, en áreas aisladas limitadas; siempre y cuando se tenga almacenado el material combustible debidamente aislado en un ambiente resistente al fuego.

### 2.6.3. Una alta carga de fuego

La carga de fuego supera los 550000 Kcal/m<sup>2</sup> de área neta de piso de cualquier espacio, pero no los 1100000 Kcal/m<sup>2</sup> de área neta de piso, ni el valor de 2200000 Kcal/m<sup>2</sup>, en áreas aisladas limitadas.

Además, se pueden clasificar la resistencia al fuego de los edificios en 5 tipos como los mostrados en la tabla 5, siendo el tipo 5 el de menos resistencia a la carga de fuego. Se debe asegurar una ventilación adecuada y fácil acceso a las salidas de emergencia para las edificaciones que se encuentran en la clase 1, dado que estas estructuras almacenan materiales inflamables y deberán tener una elevada resistencia a la carga de fuego.

**Tabla 5.** Clasificación de edificios por su resistencia al fuego

TIPOS DE CONSTRUCCIÓN	RESISTENCIA MÍNIMA AL FUEGO DE LOS COMPONENTES ESTRUCTURALES DEL EDIFICIO EN HORAS DE FUEGO								
	EXTERIORES	MUROS			OTROS RESISTENTES O SOPORTANTES ANTES	COLUMNAS Y VIGAS QUE SOPORTAN			ESCALERAS, PISOS Y TECHOS PLANOS
	DIVISORIOS	SECUNDARIOS		MUROS EXTERIORES		MUROS SECUNDARIOS	OTROS MUROS RESISTENTES O SOPORTANTES	PISOS	
1	6	6	6	6	6	6	6	6	6
2	4	6	4	4	4	4	4	4	4
3	2	6	2	2	2	2	2	2	2
4	1 □ 2 ○	6	2	1	1 □ 2 ○	2	1	1	1
5	1/2	6	2	1	1/2	1	1/2	1/2	1/2

\* Las palabras muros divisorios se usan de preferencia a particiones perfectas, por cuanto están más de acuerdo con la práctica reciente.

□ En edificios de construcción entramada cuando la altura no excede 15 m.

○ Mínimo para muros soportantes y otros muros que exceden 15 m.

## 2.7. Formas de extinción de un incendio

Según (Callirgos & Contreras, 2022) encontramos las siguientes formas de extinción de incendios:

**Por enfriamiento**, se da al actuar de un agente como el agua la cual succiona energía calórica dando como resultado la reducción de la combustión.

**Por segregación**, cuando se corta el paso del combustible tras la combustión o dejar que se consuma hasta que no exista más combustible que pueda mantener la combustión.

**Por sofocación**, cuando se baja la concentración del comburente en el lugar de la combustión mediante gases más pesados que el aire, lo cual provoca que sofoque instantáneamente la combustión dejando sin efecto al fuego.

**Por inhibición**, quitarle energía para que no continúe el fuego propagándose por el material, usando inhibidores tales como el polvo seco (Callirgos & Contreras, 2022).

El humo está formado por partículas sólidas y/o líquidas visibles suspendidas en el aire. Donde, es el resultado de una combustión incompleta y/o pirólisis. Lo más común es que el humo de los incendios contenga partículas de carbón no quemadas transportadas por las corrientes circulantes. Llegando a comportarse como un fluido (Albornoz, 2016).

## 2.8. El humo

El humo es compuesto por varias partículas que son visibles, entre las cuales pueden ser sólidas o líquidas en el aire. Es básicamente la consecuencia del proceso de combustión. Su principal composición es de varios elementos como el vapor de agua, Dióxido de carbono, hollín, Monóxido de carbono, y varios otros gases que dependen principalmente de la composición del material que este en quema (Albornoz, 2016).

## 2.9. Respuestas a emergencias

Con el objetivo de desarrollar acciones de rescate y salvamiento preparados para la acción nacional e incluso internacional que pudiere solicitarse, pero enfocados en la comunidad local se realiza la labor permanente del personal operativo de las 8 estaciones permitiendo dar respuesta de manera inmediata a las emergencias solicitadas, entre las principales acciones están las emergencias despachadas por los operadores del ECU 911, sistema integrado de seguridad. Entre los resultados más relevantes son:

Resultados del año 2019:

Más del 70% de las emergencias pre hospitalarias que ocurren en la ciudad son atendidas por el BCBVC.

6.561 emergencias atendidas según el siguiente detalle:

- 3.474 emergencias Médicas.
- 1.475 accidentes de tránsito.
- **676 incendios.**
- 384 rescates.
- 228 fugas de gas.
- 66 inundaciones.
- 258 otras emergencias.

Es importante mencionar que mediante el dialogo establecido con servidores del BCBVC se logró estimar un tiempo aproximado de respuesta ante una emergencia de un lapso de 4 a 7 minutos y hasta 10 minutos en casos donde el tráfico u otros factores no permiten la libre movilidad del Cuerpo de Bomberos hasta el lugar de la emergencia.

## **2.10. Plásticos PET**

El polietileno de tereftalato (PET) se integra como producto por primera vez en el año 1941 tras la segunda guerra mundial buscando ser un reemplazante para la fabricación de algodón que provenía desde Egipto. A partir de ese entonces en el año de 1976 se lo comienza a fabricar específicamente para envases principalmente de bebidas carbonatadas (Gonzalez, 2022).

Su uso en la fabricación de envases es debido a que es un material muy resistente, flexible y también sirve como aislante eléctrico y de calor. Este material también es muy resistente a ácidos y disolventes, también es un material que es muy liviano en peso y puede ser combinado con otros tipos de materiales para poder mejorar sus propiedades físicas. Además, al ser un material con bajos costos de producción se ha vuelto uno de los materiales más cotizados a nivel mundial.

Sus características principales son (Elias, 2012):

- Alta resistencia al desgaste y corrosión.
- Muy buen coeficiente de deslizamiento.
- Buena resistencia química y térmica.
- Muy buena barrera a CO<sub>2</sub>, aceptable barrera a O<sub>2</sub> y humedad.

- Compatible con otros materiales barrera que mejoran en su conjunto la calidad barrera de los envases y por lo tanto permiten su uso en mercados específicos.
- Reciclable, aunque tiende a disminuir su viscosidad con la “historia térmica.
- Aprobado para su uso en productos que deban estar en contacto con productos Alimentarios.

### **2.11. Reciclaje del Plásticos PET**

El PET (tereftalato de polietileno) es uno de los productos de desecho más abundantes en el mundo. Son elementos no reciclables y tardan entre 100 y 1.000 años en degradarse. Mediante el proceso de reciclaje se puede reusarse para formar elementos arquitectónicamente adecuados, aplicándolo en la construcción de muros o mampostería, reduciendo así significativamente las cargas permanentes o muertas de un edificio o casa.

Hoy en día, los materiales de construcción sostenibles y relevantes son materiales fabricados con base en el respeto a las normas ambientales, que implican el uso de insumos reutilizables, ya sean orgánicos o inorgánicos, biodegradables o no degradables, y que se caracterizan por mantener condiciones de temperatura interna adecuadas para proteger la temperatura interna de la temperatura exterior. A menudo son muy duraderos, incluso adaptables a tecnologías que reducen contaminantes como el dióxido de carbono, y aun así cuestan menos. La mayoría de ellos proceden del ecosistema del entorno en el que se ubica el edificio (Aguilar, 2018).

Hoy en día los materiales de construcción sostenibles son elaborados respetando las normas de construcción y ambientales vigentes, lo que implica el correcto uso de los materiales reciclados siendo estos orgánicos u inorgánicos, biodegradables y no biodegradables. Generalmente tienen mucha durabilidad adaptándose a la disminución de contaminantes y emisión de gases como el CO<sub>2</sub> y además siendo de bajo costo (Sornoza, 2022).

Se utiliza una técnica innovadora para crear eco ladrillos cuyo principal componente es el plástico pet, botellas de plástico recicladas con su tapa, esto dando como resultado un reciclaje de grandes cantidades de plástico que no se va a los rellenos sanitarios lo cual reduce el transporte de los desechos disminuyendo la emisión de gases CO<sub>2</sub>, así como también el volumen que estos residuos sólidos ocuparían en el relleno sanitario, también ahorra en la compra de materiales tradicionales en la construcción (Sornoza, 2022).

## **2.12. Materiales refractarios**

Los materiales refractarios tienen importancia en los procesos industriales como la industria del acero, la industria del vidrio, la industria del cemento, tratamiento de residuos, chimeneas, entre otros; dado que se destacan por su efectividad para resistir elevadas temperaturas sin alterarse sus propiedades físicas y químicas.

Según (Inoriza, 2003) menciona que: “cualquier material cerámico o no, es capaz de resistir altas temperaturas y condiciones ambientales, todo ello en un plazo de tiempo económicamente viable y sin deterioro de sus propiedades físicas y químicas”, se analizaron los siguientes puntos:

- Tipo de material: Para ser un material refractario no es necesario ser cerámico, como es el caso del acero 25/20 (acero refractario).
- Altas temperaturas: No se especifica una temperatura mínima con la que un material se categorice como refractario.
- Condiciones del medio: además de soportar altas temperaturas, un material refractario debe soportar el ataque físico-químico del entorno en el que se encuentra, por ejemplo, el vidrio líquido que está fundido en el interior del horno.
- Factor tiempo: El material debe resistir lo apartados anteriores durante un determinado tiempo y permitir una total amortización.
- Deterioro de propiedades: Si el material responde adecuadamente a los principios anteriores y no se alteran sus propiedades, al menos como conjunto, ya que si o si se presentará un desgaste.

En una investigación previa realizada por (Pérez, 1955) se evaluó el uso de ladrillos de sílice, mortero y concreto para la elaboración de hornos de Coque, pudiéndose concluir que estos materiales refractarios son los más rentables, los mejores para soportar la abrasión del desgaste mecánico y por su eficacia térmica. Es por ello que se considera emplearlos para fines de este estudio, y así poder encapsular y adaptar el calor necesario para realizar el ensayo de los paneles pre fabricados con plástico PET en un horno refractario con más de 1500°C de resistencia (Pérez, 1955).

## **2.13. Tipos de paneles usados en la construcción**

Los paneles prefabricados más empleados son los que usan yeso y fibrocemento. Sin embargo, ha surgido el interés por agregar materiales sostenibles, como es el caso del estudio

desarrollado Quinchía y otros (2007) que evalúa añadir lodos provenientes de la industria papelera, ya que presentan una reducción del 24% en su peso, en comparación con paneles de yeso; y del 64.7%, en comparación con paneles de fibrocemento; lo que permite movilizar y armar con mayor facilidad las estructuras (Quinchía, Valencia, & Giraldo, 2007).

### ***2.13.1. Placas de Fibrocemento***

Según Patiño (2021) el fibrocemento consiste en un aglutinante inorgánico soluble en agua (cemento o silicato de calcio reforzado con fibra) y se utiliza en revestimientos arquitectónicos, aislamiento térmico e impermeabilización de estructuras (Patiño, 2021).

El proceso de fabricación incluye cemento, fibras sintéticas de PVA, pulpa de celulosa y agua; los productos están sujetos a estándares de fabricación y calidad para garantizar su resistencia a la humedad, heladas, corrosión, nieve y rayos UV. Las proporciones medias a altas de cemento-sílice mejoran las propiedades mecánicas como el módulo elástico y el módulo de rotura, y el uso de fibras de celulosa aumenta la resistencia a la flexión del material.

Entre las características de los paneles de fibrocemento se encuentran la impermeabilidad, la facilidad de manipulación y la viabilidad económica, pudiendo utilizarse para la construcción de componentes como chimeneas, paneles de cubierta ondulados, lamas de revestimiento, paneles sándwich, paneles de fachada ventilada, tuberías para aguas a presión o aguas de drenaje, pequeños tanques de almacenamiento de agua y piscinas.

Las medidas estandarizadas de las placas de fibrocemento son 1.20 x2.40 m., sin embargo, en el mercado encontramos diversos espesores según su uso: para paredes y tabiques interiores (entre 6 y 8 mm.), para revestimientos exteriores (10 mm.) y para el enchapado de pisos interiores o exteriores (15 mm.).

Superboard® proporciona distintos tipos de placas según sus aplicaciones:

- Superboard® ST: Son empleadas para fachadas, cielorrasos exteriores y paredes, y revestimientos e interiores. Se permite un marco de error entre sus lados, por lo que es necesario realizar una junta superior a los 8 mm.
- Entrepiso: Son empleadas para entrepisos en nuevas estructuras, ampliaciones de estructuras y remodelaciones. Se realizan con mayor precisión en sus dimensiones, permitiendo un espesor continuo y parejo, por lo que no es necesario nivelar con morteros.
- Borde rebajado: Son placas con bordes reducidos, que permiten realizar superficies continuas con juntas casi imperceptibles a la vista.

- Superboard® texturado: Su textura es parecido a la madera, por lo que brinda calidez y una estética a nivel de acabados, ver Figura 8.



Figura 8. Tipos de placas de fibrocemento

#### 2.14. Utilización de plástico reciclado (PET) en elementos prefabricados de concreto

Según (Ibarra & Matute, 2021), en Ecuador es común emplear planchas de fibrocemento por ser las más económicas y su belleza estética, sin embargo, no es aconsejable usarlas ya que concentra el calor emitido por los rayos solares, generando así el incremento de temperatura en el interior de las estructuras. Además, encontramos entre las planchas más usadas tenemos las de zinc, sin embargo, a pesar de su funcionalidad no tienen una buena estética, lo que solo la hace atractiva su bajo costo.

En la tesis desarrollada por (Córdova, 2020), se postula la incorporación del plástico pet para aligerar elementos prefabricados de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , concluyendo que existen mejoras en la resistencia a la compresión (de  $288.40 \text{ g/cm}^2$  a  $303.91 \text{ kg/cm}^2$ ) y en la resistencia a la flexión (de  $45.33 \text{ kg/cm}^2$  a  $49.80 \text{ kg/cm}^2$ ), sin alterar el presupuesto. También se destaca su resistencia al fuego, lo que lo clasifica como “Clase RE2”, en otras palabras, material de baja propagación de llama.

Como menciona (Angumba, 2016), se debe someter a estándares de calidad este proceso de añadir plástico pet a elementos estructurales. Sin embargo, en Cuenca no hay una norma para materiales de construcción de plástico, es por ello que emplea a la normativa argentina (IRAM), mexicana y española (UNE); debido a que cuentan con una certificación y fundamentos prácticos de ensayos anteriores.

(Gaggino, 2003) empleó la Norma Argentina IRAM 11588 para el ensayo de resistencia a la compresión, la Norma Argentina IRAM 11555 para el ensayo a la resistencia a la flexión y la Norma Argentina IRAM 11559 para el ensayo de conductividad térmica de la placa PET.

### **2.15. El análisis del comportamiento físico y mecánico de los prototipos de paneles construidos con plástico reciclado PET**

El análisis del comportamiento físico y mecánico de los prototipos de paneles construidos con plástico reciclado PET bajo la influencia de fuego controlado es esencial para comprender la viabilidad y seguridad de estos materiales en aplicaciones constructivas. Este proceso implica una evaluación exhaustiva de cómo estos paneles responden a las condiciones térmicas extremas, considerando tanto aspectos visuales como propiedades estructurales (Fernández, 2022).

En primer lugar, la construcción de un horno especializado proporciona el entorno controlado necesario para llevar a cabo este análisis. Los materiales refractarios utilizados en la construcción del horno aseguran que las condiciones de calor generadas sean representativas de situaciones prácticas a las que podrían estar expuestos los paneles en aplicaciones reales. La capacidad del horno para mantener condiciones controladas, registrando temperaturas específicas y tiempos de exposición, es crucial para simular escenarios realistas y obtener resultados confiables (Vega, 2019).

El uso de cámaras termográficas durante la exposición al fuego ofrece una visión detallada de cómo la temperatura varía en la superficie de los paneles. Este análisis no solo permite detectar puntos calientes o áreas de concentración de calor, sino que también proporciona información valiosa sobre la distribución del calor en todo el panel. Observar visualmente los cambios en la apariencia física de los paneles durante y después de la exposición es igualmente importante, ya que puede revelar deformaciones, descoloraciones u otros signos de degradación que podrían afectar su integridad estructural (Vera & Valdiviezo, 2019).

En términos de propiedades mecánicas, las pruebas antes y después de la exposición al fuego son esenciales para evaluar cómo el calor afecta la resistencia y la durabilidad de los paneles. La resistencia a la tracción, flexión y compresión son indicadores clave de la integridad estructural de los materiales. La variación en estas propiedades mecánicas proporciona información valiosa sobre la capacidad de los paneles para soportar cargas y mantener su integridad estructural en condiciones de alta temperatura. Es importante considerar la relación

entre la exposición al fuego, las propiedades mecánicas y la posible degradación química para obtener una comprensión integral del comportamiento de los paneles (Vera T. , 2022).

En resumen, el análisis del comportamiento físico y mecánico de los paneles de plástico reciclado PET bajo fuego controlado implica un enfoque integral que combina observación visual, técnicas termográficas avanzadas y pruebas mecánicas detalladas. Esta metodología proporciona una base sólida para evaluar la idoneidad de estos materiales en aplicaciones constructivas y contribuye al desarrollo sostenible al explorar opciones de reciclaje para su uso en la construcción.

### **3. CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO**

La investigación se centra en analizar el comportamiento físico y mecánico de prototipos de paneles construidos con plástico reciclado PET mediante la aplicación de fuego controlado, con el fin de evaluar sus beneficios o afecciones en el ámbito constructivo.

Es por ello que se ha optado por una metodología cuantitativa, es un enfoque de investigación que se basa en la recopilación sistemática de datos numéricos y la aplicación de técnicas estadísticas y matemáticas para analizar y entender fenómenos específicos (Hernández & Mendoza, 2018).

En el contexto del estudio del comportamiento físico y mecánico de elementos expuestos al fuego, como los paneles con plástico reciclado (PET), la metodología cuantitativa implica usar ensayos con estándares controlados, medición de variables objetivas, registro de los datos obtenidos y análisis de resultados (Mamani, 2022).

#### **3.1. Diseño de la Investigación**

Esta investigación adopta un enfoque experimental y artesanal debido a la falta de laboratorios en la zona para llevar a cabo ensayos de manera convencional. Se propone un diseño experimental que implica la construcción de horno para altas temperaturas en el cual se llevara a cabo la exposición controlada de paneles con plástico reciclado al fuego en tiempos de 5, 10 y 15 minutos respectivamente, tiempos estimados de respuesta del cuerpo de bomberos de la ciudad de Cuenca dependiendo de la estación y de la ubicación del incendio, seguido de la

exposición a fuego se realiza una evaluación de diversas características físicas y mecánicas de los elementos.

Esta investigación se clasifica como experimental debido a la implementación de un diseño controlado para la exposición al fuego de los paneles. Se busca manipular las condiciones de exposición y medir el impacto en las características físicas y el comportamiento de los paneles. El enfoque experimental permite establecer relaciones de causa y efecto entre la exposición al fuego y las variables evaluadas, proporcionando una base sólida para las conclusiones de la investigación. La naturaleza práctica y artesanal de la propuesta experimental se justifica por la falta de laboratorios especializados en la zona, haciendo uso de recursos disponibles para obtener datos significativos.

### **3.2. Población y Muestra**

La población es una colección de elementos finitos o infinitos con características comunes y las conclusiones de la investigación serán amplias. Está queda delimitada por el problema y los objetivos del estudio (Hernández, 2014). La población de estudio consiste en paneles con plástico reciclado. Dado que la investigación se lleva a cabo en un contexto donde no existen laboratorios especializados, se opta por una muestra que permita realizar ensayos de manera artesanal y práctica. En esta investigación, la población corresponde a los 16 especímenes elaborados con una mezcla de cemento, agua, agregado fino y plástico triturado PET (que sustituye el 25% del agregado fino).

Por otra parte, la muestra es la parte o subconjunto de la población, en el que se realiza el estudio. (Atauje, 2014). Se seleccionaron muestras representativas de estos paneles para la exposición al fuego y la posterior evaluación, por tanto, son las 12 muestras que son ensayadas por compresión (4 con forma cúbica y 4 con forma cilíndrica) y flexión (4 con forma de vigueta).

### **3.3. Procedimiento Experimental**

Para el análisis del comportamiento físico y mecánico de paneles de plástico reciclado PET con fuego controlado implica una combinación de técnicas y procedimientos. A continuación, se detallan los mismos:

### ***3.3.1. Exposición al Fuego***

Los paneles con plástico reciclado serán sometidos a una exposición controlada al fuego. Esta exposición se llevará a cabo de manera artesanal, utilizando métodos experimentales propios y considerando las limitaciones de recursos en la zona.

### ***3.3.2. Post Exposición al Fuego***

Después de la exposición al fuego, se llevará a cabo un análisis post exposición después de 24 horas. Se evaluarán las características físicas de los paneles, incluyendo pandeo y flacidez visual.

### ***3.3.3. Tiempo de Análisis de exposición al fuego***

En el diseño experimental, se contempla una duración de exposición al fuego en intervalos estratégicos de 5, 10 y 15 minutos, considerando los tiempos de respuesta y llegada de los bomberos de Cuenca, Ecuador, a los escenarios de exposición al fuego (Acuerdo No. 01257, 2009). Estos lapsos se han seleccionado para analizar de manera específica el comportamiento de los paneles con plástico reciclado PET en distintas fases de exposición al fuego.

La elección de estos tiempos responde a la necesidad de explorar cómo los paneles reaccionan y se ven afectados por el calor en periodos cortos y prolongados. Este enfoque experimental permitirá obtener datos detallados sobre la resistencia, deformación y otras propiedades físicas de los paneles en condiciones de incendio, brindando información valiosa para evaluar su viabilidad y seguridad en aplicaciones constructivas.

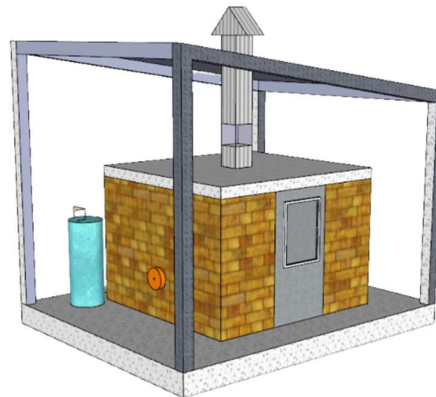
### ***3.3.4. Construcción del Horno Especializado***

Para poder someter al fuego los paneles con medidas pre-establecidas, se ha optado por la construcción de un horno con materiales refractarios que puedan resistir al calor. Cabe destacar que esta es una propuesta experimental y artesanal, que surge por la necesidad de estudios con fuego controlado justificado porque en la zona no existen laboratorios para realizar esta investigación. Es así que después de una respectiva aprobación, se inicia la instalación del horno en un terreno de 9 m<sup>2</sup>, perteneciente a la Universidad Católica de Cuenca - Campus CIITT.

Se comienzan la construcción del horno con las respectivas actividades de desbroce, limpieza del terreno y desecho del material sobrante, para realizar la nivelación y mejoramiento del terreno con una capa de grava de 5 cm, lo que permite comenzar con la colocación de una losa de contrapiso con espesor de 10 cm. Luego, se procede a realizar la fundición de la losa con

una malla electrosoldada de espacios de 15 cm, para poder controlar las grietas por contracción y temperatura. El cemento refractario empleado para la construcción de la losa del horno es Mortero Alta Alumina #2, que es capaz de soportar temperaturas de 1650 °C y consta de una mezcla de arcillas altamente refractarias, alúminas calcinadas pulverizadas, su fragua o endurecimiento es hidráulico, tipo Harwaco Bond, Penseal. Posteriormente, se levantan los muros con ladrillo refractario con dimensiones similares al ladrillo panelon, que es capaz de soportar temperaturas de 1650 °C, y se procede a encofrar y vaciar la losa de techo con espesor de 10 cm con concreto reforzado con varillas corrugadas de 10 mm cada 12 cm en ambas direcciones y mortero refractario marca CONRAX. Finalmente, se instala una puerta de hierro fundido con una ventana de vidrio templado, la cual ha sido aislada térmicamente con pintura y un doble fondo para soportar altas temperaturas.

Cabe mencionar que en el horno se coloca una chimenea con un medidor de gases para evacuar los gases a la vez que se estima la cantidad de emisión y tipo de gases que son expulsados al medio ambiente, esto permite recolectar la mayor cantidad de datos posibles que determinen la factibilidad de la fabricación de estos prototipos y de su uso en la industria de la construcción. También se implementa una termocupla tipo K de hasta 1200 grados centígrados conectada a un controlador de temperatura camscó 48x48 1200°C 110v TI, ya que los ensayos se realizan a una temperatura promedio de 600 grados centígrados, ver Figuras 9, 10 y 11.



**Figura 9.** Diseño de horno empleado para procesos de experimentación y desarrollo del tema

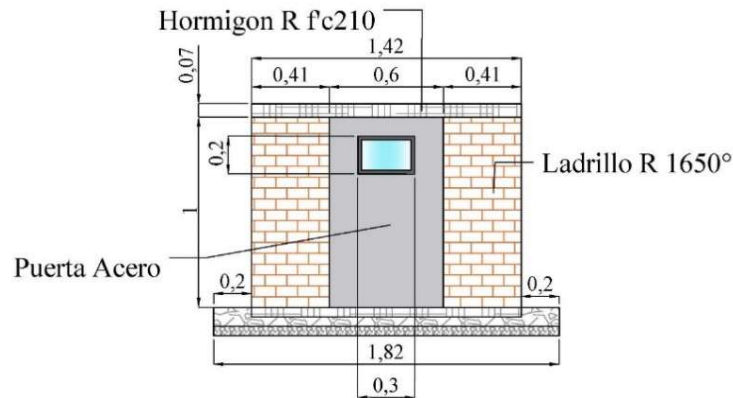


Figura 10. Planos y especificaciones del horno



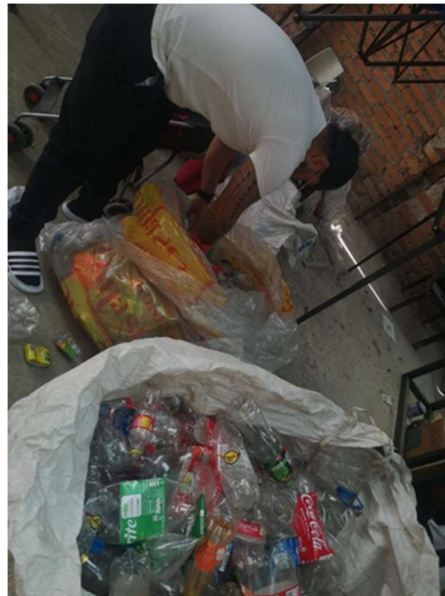
Figura 11. Horno construido para someter paneles a pruebas de fuego

### 3.3.5. *Recolección y tratamiento del plástico PET*

Para la obtención del agregado de plástico PET se recolectan botellas en diferentes lugares, tales como: tiendas, centros de acopio de plásticos y domicilios. Después se realiza una clasificación del plástico PET separando todas las partículas orgánicas e inorgánicas que no sean del mismo material es decir basuras, impurezas, etiquetas, tapas y demás materiales que no estén dentro del grupo de materiales PET. Posterior a ello, las botellas se trituran en un molino de cuchillas giratorias de construcción artesanal y se reducen hasta que el tamaño de las partículas tenga la medida requerida. Finalmente, se lavan las partículas trituradas de PET para eliminar cualquier resto, residuo orgánico o impureza que haya quedado, y se secan para pasar por un proceso de tamizado empleando un tamiz #4, conservando así las partículas más finas para la mezcla con la que se constituyen los paneles, ver Figuras 12 a la 16.



**Figura 12.** Recolección de botellas de plástico PET



**Figura 13.** Clasificación del material PET



**Figura 14.** Trituración de las botellas de plástico PET



Figura 15. Lavado y secado de las partículas de plástico PET



Figura 16. Tamizado de las partículas de plástico PET

### 3.3.6. Dosificación de la mezcla empleada para la elaboración de las muestras

Basados en el modelo de (Yupa & Guaman, 2022), se estima una dosificación de cemento, agua y agregado fino para el mortero que se usará para la conformación de las muestras, sin embargo, para fines de este estudio, se considera una sustitución del 25% del agregado fino por las partículas obtenidas del tamizado del plástico PET, ver Figura 17.

<b>Contenido de Materiales por m<sup>3</sup> de Mortero</b>		
Materiales	Peso seco (kg)	Peso Especifico (gr/cm <sup>3</sup> )
Cemento	393.69	3.08
Arena	1456.67	2.52
Agua	295.27	1
<b>Total</b>	<b>2145.63</b>	

### 3.4. Instrumentos de Medición

#### 3.4.1. Cámaras Termográficas y Medidor de Gases

Se implementaron cámaras termográficas como una herramienta esencial para el monitoreo continuo de las variaciones de temperatura en la superficie de los paneles durante la exposición al fuego. Estas cámaras ofrecieron representaciones visuales detalladas, permitiendo un análisis preciso de la distribución del calor en los paneles en tiempo real.

Además, se incorporó un medidor de gases para evaluar la emisión de monóxido de carbono durante las pruebas de fuego. Este dispositivo desempeñó un papel crucial al proporcionar mediciones cuantitativas de gases tóxicos liberados durante la exposición, contribuyendo así a una evaluación exhaustiva de los impactos ambientales y de seguridad asociados con el uso de paneles de plástico reciclado en situaciones de incendio, ver Figura 18.



Figura 18. Medidor de gases utilizado.

#### 3.4.2. Observación Visual

Se llevó a cabo una observación visual minuciosa de los paneles tanto durante como después de la exposición al fuego. Este enfoque permitió registrar y analizar cambios en la apariencia física de los paneles, como el pandeo y la flacidez de los paneles. La observación visual directa ofreció insights sobre el impacto visual y estructural que el fuego tuvo en los paneles, contribuyendo a una evaluación integral de su desempeño.

#### 3.4.3. Pruebas Mecánicas

Se realizaron pruebas mecánicas antes y después de la exposición al fuego para evaluar las propiedades estructurales de los paneles. Estas pruebas incluyeron mediciones de resistencia a la flexión y compresión, proporcionando datos cuantitativos sobre la integridad mecánica de

los paneles. La ejecución de estas pruebas mecánicas fue esencial para comprender cómo las propiedades mecánicas de los paneles se ven afectadas por la exposición al fuego.

#### ***3.4.4. Análisis de Datos***

Se llevará a cabo un análisis descriptivo de los resultados obtenidos, considerando las características físicas de los paneles antes y después de la exposición al fuego, así como los tiempos de respuesta de los bomberos.

El análisis y evaluación de los resultados derivados de la exposición de los prototipos de paneles construidos con plástico reciclado PET al fuego controlado constituyen una etapa fundamental en esta investigación. Inicialmente, se procederá a la interpretación detallada de los datos termográficos capturados durante la exposición, buscando patrones de temperatura, áreas de concentración de calor y cualquier indicación de puntos críticos que puedan afectar la integridad estructural de los paneles. Seguidamente, se llevará a cabo una comparación exhaustiva de las propiedades mecánicas antes y después de la exposición al fuego, evaluando cualquier cambio significativo en la resistencia a la tracción, flexión y compresión para comprender el impacto del fuego en la estructura de los paneles.

El análisis visual realizado durante y después de la exposición proporcionará información adicional sobre posibles deformaciones, descoloraciones u otros signos visibles de degradación. Se prestará especial atención a las alteraciones observadas en la apariencia física de los paneles, que pueden ofrecer insights valiosos sobre su comportamiento frente a condiciones térmicas extremas. Además, se llevará a cabo una comparación rigurosa de los resultados con estándares de seguridad y normativas relevantes para materiales de construcción, evaluando el cumplimiento de los paneles con los requisitos establecidos para su implementación en aplicaciones constructivas.

Esta metodología integral combina la construcción especializada del horno, técnicas avanzadas como la termografía y pruebas mecánicas detalladas, junto con análisis químicos, para obtener una comprensión completa del comportamiento de los paneles frente al fuego controlado. Estos métodos que se describen a continuación proporcionan información crucial para la evaluación de la idoneidad de los paneles de plástico reciclado PET en aplicaciones constructivas.

#### ***3.4.5. Normativas empleadas***

##### **Normas para ensayo de materiales resistentes al fuego**

Se menciona algunas normas para estimar la resistencia al fuego en elementos estructurales (Osorio & Plua, 2017) como lo son:

### **Norma E 119, métodos de prueba al fuego en la construcción y materiales edificios de la ASTM**

Este método estadounidense permite ensayar el elemento estructural por un lado del muro con la finalidad de probar su resistencia a altas temperaturas. El miembro estructural debe cumplir con estos parámetros medidos en la prueba: integridad, estabilidad estructural y elevación de la temperatura en la cara no expuesta. En Ecuador, se tiene su homólogo CPE INEN 5 parte 8:1986.

## **3.5. Caracterización de materiales**

### ***3.5.1. Materiales provenientes de reciclaje PET***

El reciclaje PET en Cuenca relaciona la cantidad de botellas plásticas PET que se recolectan (351 Toneladas anuales=12636000 unidades) con el uso en paneles para cubiertas (1 m<sup>2</sup> = 62 unidades), lo cual lo hace viable a largo plazo (Zambrano, 2015).

La clasificación de botellas plásticas en las recicladoras locales es reciente, y se realiza mediante colores blancas/transparentes, azules y verdes. Encontrándose las segundas 3 veces más que las primeras. Esta clasificación se hace como requisito para las empresas que compran las botellas a las recicladoras locales. No se les da un tratamiento adecuado a estas botellas, solamente las recogen, las prensan y comercializan a Quito y Guayaquil que tienen plantas de procesamiento para usarlas como materia prima para elaborar textiles, mangueras y tuberías PVC (Zambrano, 2015).

Sin embargo, para la confección de paneles con plástico reciclado PET, a las botellas se le somete a un proceso de limpieza para retirarles las etiquetas, pegantes y tapas para posteriormente ser aplastadas e introducirlas a una máquina trituradora donde se cortan en pequeñas piezas que serán usadas para reemplazar parcialmente el agregado fino que es usado para hacer el panel, ver Figura 19.

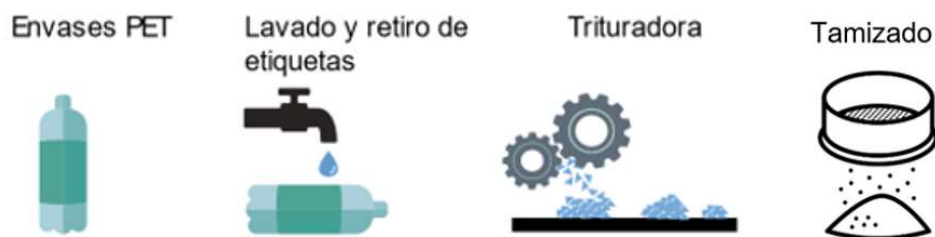


Figura 19. Proceso de reciclaje para el uso de plástico PET triturado en Panel

### 3.5.2. Material procesado para mezcla en dosificación

Los especímenes están compuestos con cemento, agua, agregado fino y partículas trituradas de plástico PET (como sustitución del 25% de agregado fino), es por ello que siguiendo el modelo de (Yupa & Guaman, 2022) mostrado en la Figura 20, se estima la cantidad que le corresponde a cada material según el volumen que ocupan las muestras a ser ensayadas.

Estas muestras tienen medidas estandarizadas (Tabla 6) y son de forma cúbica, cilíndrica, viguetas y paneles, para lograr ser sometidas a los ensayos de compresión y flexión que nos permiten observar las características físico – mecánicas que tienen después de ser expuestas al fuego o altas temperaturas.

Luego de obtener el volumen de mortero que se necesita para la elaboración de las muestras (Tabla 7) se procede a estimar la cantidad de cada de material en relación al m<sup>3</sup> de mortero ya determinado. Con esto se obtiene la dosificación de cada material para el nuevo volumen de mortero obtenido (Tabla 8), tomando en cuenta que un 25% del agregado fino será sustituido por plástico PET triturado (Tabla 9), además, se le multiplica por un factor de desperdicio de 1.2 para evitar que falte el mortero (Tabla 10).

Tabla 6. Medidas estandarizadas de los especímenes

<b>MEDIDAS DE PANELES</b>
60*60*1.2 cm
<b>MEDIDA DE CILINDROS</b>
5 cm Radio
20 cm alto
<b>CUBOS</b>
5*5*5 cm
<b>VIGUETAS</b>
16*4*4 cm

**Tabla 7.** Volumen de mortero necesario para la elaboración de las muestras

Paneles		
Volumen	# de muestras	V. total
0.00432	4	0.01728
Cilindros		
Volumen	# de muestras	V. total
0.001570796	4	0.006283184
Cubos		
Volumen	# de muestras	V. total
0.000125	4	0.0005
Viguetas		
Volumen	# de muestras	V. total
0.000256	4	0.001024
V. total de material m3	0.025087184	

**Tabla 8.** Dosificación de cada material para el nuevo volumen de mortero obtenido

Relación de 1m3 de mortero y 0,025087184 m3 de mortero			
Arena			
1	m3	0.025087184	m3
1456.67	kg	36.54371827	kg arena
Cemento			
1	m3	0.025087184	m3
393.69	kg	9.876695376	kg cemento
Agua			
1	m3	0.025087184	m3
295.27	kg	7.407521532	kg agua

**Tabla 9.** Dosificación considerando una sustitución del 25% de agregado fino por partículas de plástico PET

Dosificación para 0.025087184 m3 de mortero		
Materiales	Peso seco (kg)	Peso específico (gr/cm3)
Cantidad de plástico	9.135929568	1.37
Cantidad de arena	27.40778871	3.08
Cantidad de cemento	9.876695376	2.52
Cantidad de Agua	7.407521532	1.00

**Tabla 10.** Dosificación considerando una sustitución del 25% de agregado fino por partículas de plástico PET y el desperdicio

<b>Dosificación para 0.025087184 m3 de mortero *1.2 de desperdicio</b>		
<b>Materiales</b>	<b>Peso seco (kg)</b>	<b>Peso específico (gr/cm3)</b>
Cantidad de plástico	9.592726047	1.37
Cantidad de arena	28.77817814	3.08
Cantidad de cemento	10.37053014	2.52
Cantidad de Agua	7.777897608	1.00

### **3.6. Proceso constructivo de la elaboración de las muestras**

Se inicia con la mezcla de materiales granulares con agua hasta conseguir una muestra homogénea y sin grumos (figura 20). Luego se preparan los moldes de cobre y se vierte en ellos aceite o cualquier tipo de desencofrante que evite que la mezcla se pegue en las paredes de los moldes, se rompan y pierdan sección. Seguido de esto, se vierte la mezcla en los moldes con la ayuda de un bailejo, una espátula, una varilla o barra de acero para llenar espacios huecos y un martillo neumático que ayude a vibrar y evitar la porosidad (figura 21).

De la misma manera los prototipos de panel de pared fueron elaborados con la misma dosificación de mortero, los cuales tienen una medida de 60\*60 cm y 12mm de espesor. El proceso constructivo es el mismo que el de los cilindros, cubos y viguetas, con la variante de que a estos se les añade una malla plástica en su interior para evitar fisuras y rupturas de las muestras.

Luego de unas 2 horas de fundidas las muestras se les cubre con plástico adherente para evitar que se escape humedad y las muestras se deshidraten o se fisuren. Y pasadas las 24 horas las muestras son desencofradas y son curadas en un tanque con agua (figura 22).



**Figura 20.** Elaboración de la mezcla homogénea compuesta por materiales granulares y agua



**Figura 21.** Elaboración de los moldes de las muestras



**Figura 22.** Plastificación, desencofrado y curado de las muestras

### 3.7. Ensayos

#### 3.7.1. Ensayo a compresión

Los ensayos a compresión permiten determinar la resistencia máxima a compresión que tienen los elementos por unidad de área, las muestras que serán utilizadas para este ensayo son los cubos y los cilindros. Para este ensayo se utiliza una prensa japonesa hidráulica, la cual va aplicando una fuerza de compresión constante que va aumentando hasta que el elemento falla, ver Figura 23.



**Figura 23.** Probetas con formas cúbicas y cilíndricas sometidas a ensayos por flexión

#### 3.7.2. Ensayo de flexión

Esta prueba se la realiza en la prensa de ensayos de CBR donde se determina la carga máxima que soporta un elemento a flexión. Para esta prueba se ensayan las viguetas, las mismas que deben tener marcadas su centro y 2.5 cm hacia adentro en cada extremo, donde se apoyarán 2 barras metálicas en los extremos y otra barra en la parte media por la parte superior como se observa en la ilustración.

Esta máquina cuenta con un medidor de presión ubicado en el centro de sus anillos que va marcando cada lectura de carga y podemos medir mediante su ecuación la carga máxima soportada por el elemento, ver figura 24.



**Figura 24.** Probetas con forma de vigueta sometidas a ensayos por flexión

## 4. CAPÍTULO V. RESULTADOS

### 4.1. Análisis de resultados

#### 4.1.1. Ensayos de exposición al fuego en el horno refractario

Se utilizó un horno refractario diseñado y construido con el propósito de simular situaciones realistas de fuego. Este dispositivo permitió someter los prototipos de paneles, elaborados con plástico reciclado PET, a diferentes niveles de temperatura y tiempos de exposición.

Durante los ensayos en el horno refractario, se registraron sistemáticamente datos relevantes, como la temperatura alcanzada por los paneles, la presencia de deformaciones, el tiempo de exposición y otros parámetros significativos. Cabe resaltar que las muestras se insertan en el horno para ser expuestas al fuego considerando intervalos de 5, 10 y 15 minutos cada muestra considerando que este es el tiempo promedio de respuesta del BCBC. Luego de esto las muestras son sacadas del horno e introducidas en agua simulando la reacción que tendrían al momento de un incendio, seguido de esto las muestras de paneles se les dejó reposar fuera de agua un tiempo estimado de 24 horas para posterior realizar los ensayos a compresión.

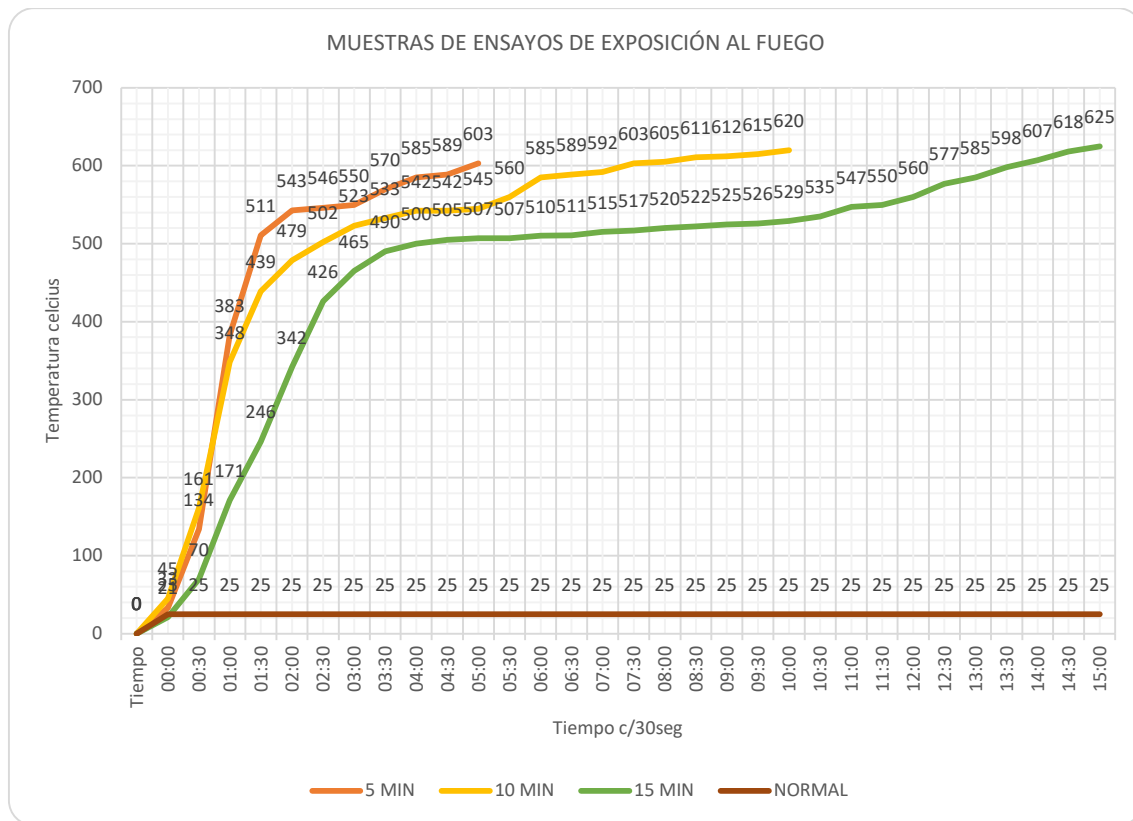


Figura 25. Ensayos de exposición al fuego en el horno refractario

Se controla una muestra expuesta al fuego por los primeros 5 minutos, notándose una pendiente positiva pronunciada (crece unos  $478^{\circ}\text{C}$ ) los primeros 90 segundos, llegando a los  $511^{\circ}\text{C}$ . En los siguientes 90 segundos, el aumento de temperatura se da de manera casi estacionaria, llegando a incrementar unos 39 grados en este intervalo de tiempo, alcanzando los  $550^{\circ}\text{C}$ . Finalmente, después de los 2 minutos siguientes, la pendiente de la curva temperatura vs tiempo es mucho más pronunciada que su anterior intervalo de 1 minuto y medio, llegando a incrementarse la temperatura  $53^{\circ}$ , alcanzando una temperatura de  $603^{\circ}\text{C}$ . Comparando estos resultados con la temperatura ambiente inicial que en el estado normal (antes de la exposición al fuego), las muestras generalmente se encuentra alrededor de los  $25^{\circ}\text{C}$ , se puede apreciar el significativo aumento de temperatura provocado por la exposición al fuego y analizar cómo afecta el comportamiento de las muestras

En el caso de la muestra por 10 minutos, notándose un comportamiento similar al de la muestra anterior hasta los 4 minutos en que se mantiene la temperatura por 1 minuto, por lo que para el quinto minuto se registra una temperatura de  $545^{\circ}\text{C}$ . Después de transcurrido este tiempo, la muestra eleva nuevamente su temperatura de manera casi constante (aproximadamente  $10^{\circ}$  por minuto), por lo que al llegar a los 10 minutos llega a los  $620^{\circ}\text{C}$ .

La última muestra sometida a una prueba de fuego, se controla para registrar su comportamiento durante 15 minutos, sin embargo, se observa una pendiente positiva pronunciada por alrededor de 3 minutos y medio (crece unos  $469^{\circ}\text{C}$  en ese lapso), llegando a los  $490^{\circ}\text{C}$ . Otro cambio que se puede notar es que, el aumento de temperatura se da de manera casi estacionaria, en los siguientes 7 minutos, llegando a incrementar solamente 45 grados en este intervalo, alcanzando así los  $535^{\circ}\text{C}$ . Por último, en los 4 minutos y medio restantes, la pendiente de la curva temperatura vs tiempo es mucho más pronunciada que su anterior intervalo de 7 minutos, llegando a incrementarse la temperatura  $90^{\circ}$ , alcanzando una temperatura de  $625^{\circ}\text{C}$ .

Después de analizar las 3 curvas de temperatura vs tiempo se puede concluir que existe una notable subida de temperatura al exponerse al fuego en los primeros 3 minutos y medio. Además, existe una etapa en la que se reduce la velocidad con la que se aumenta la temperatura debido a que se produce la evaporación del agua que compone la muestra, dicho fenómeno llega a ocurrir en los siguientes 7 minutos y se registra un aumento de entre  $40$  y  $50^{\circ}\text{C}$ . Y en los últimos minutos se produce un incremento a más velocidad que la etapa anterior, pero menos que la primera etapa, pudiéndose registrar un incremento de aproximadamente  $90^{\circ}\text{C}$ . En cualquiera de las tres muestras, se llega como máximo a un valor alrededor de  $600^{\circ}\text{C}$ .

Finalmente, tras los ensayos de exposición al fuego, se evidencia un aumento notable en la temperatura de las muestras. Como después de 5 minutos de exposición, la temperatura alcanza los 511 °C; para 10 minutos, asciende a 620 °C, y tras 15 minutos, alcanza los 625 °C. Estos valores, considerablemente superiores a la temperatura ambiente de aproximadamente 25 °C, indican claramente el incremento de temperatura debido a la exposición al fuego. La comparación con el estado normal resalta la magnitud del cambio y la respuesta de las muestras al calor. En resumen, las muestras, inicialmente a temperatura ambiente, experimentan aumentos significativos durante los ensayos, llegando a temperaturas que varían entre 511 °C y 625 °C, según el tiempo de exposición.

#### 4.1.1.1 Deformación y Pandeo de los paneles expuestos al fuego

Dependiendo del tiempo de exposición al fuego, se quemaron todas las muestras al mismo tiempo, es decir, cubo, cilindro, panel y vigueta, ver figura 26-33.



**Figura 26.** Ingreso de las muestras en el horno refractario



**Figura 27.** Colocación de muestras en el horno refractario

La evaluación de las características físicas de los paneles expuestos al fuego se realizó mediante la comparación visual de las muestras con el patrón original, sin exposición al fuego. A través de las figuras 28, 29 y 30, se puede observar que, con un tiempo de exposición al fuego de 5, 10 y 15 minutos respectivamente, los paneles experimentan deformaciones notables. En comparación con la muestra patrón, se evidencian cambios en la forma y estructura de los paneles expuestos, indicando claramente el impacto del fuego en su integridad física.

Adicionalmente, se analizó el pandeo de los paneles expuestos al fuego durante 5, 10 y 15 minutos, en comparación con la muestra patrón. Las figuras 31, 32 y 33 ilustran la diferencia en el grado de pandeo, revelando que a medida que aumenta el tiempo de exposición al fuego, se produce un incremento significativo en el pandeo de los paneles. Este fenómeno sugiere una disminución en la capacidad estructural de los paneles bajo la influencia del calor, manifestándose de manera más pronunciada con el tiempo.



Muestra patrón sin exposición al fuego

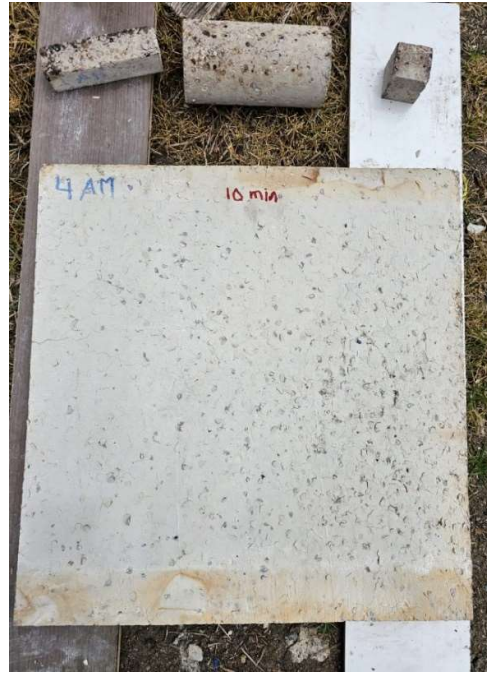


Panel expuesto al fuego durante 5 minutos

**Figura 28.** Comparación de Muestra patron sin exposición al fuego y Panel expuesto al fuego durante 5 minutos



Muestra patron sin exposición al fuego



Panel expuesto al fuego durante 10 minutos

**Figura 29.** Comparación de Muestra patron sin exposición al fuego y Panel expuesto al fuego durante 10 minutos



Muestra patron sin exposición al fuego



Panel expuesto al fuego durante 15 minutos

**Figura 30.** Comparación de Muestra patron sin exposición al fuego y Panel expuesto al fuego durante 15 minutos



Muestra patron sin exposición al fuego



Pandeo del Panel expuesto al fuego durante 5 minutos

**Figura 31.** Comparación de Pandeo de Muestra patron sin exposición al fuego y Panel expuesto al fuego durante 15 minutos



Muestra patron sin exposición al fuego



Pandeo del Panel expuesto al fuego durante 10 minutos

**Figura 32.** Comparación de Pandeo de Muestra patron sin exposición al fuego y Panel expuesto al fuego durante 10 minutos



Muestra patron sin exposición al fuego



Pandeo del Panel expuesto al fuego durante 15 minutos

**Figura 33.** Comparación de Pandeo de Muestra patron sin exposición al fuego y Panel expuesto al fuego durante 15 minutos

#### **4.1.1.2 Gases emitidos por los paneles sometidos al fuego**

La medición de gases emitidos durante la exposición al fuego proporciona información esencial sobre la descomposición de los materiales y sus posibles impactos en la seguridad ambiental. En este contexto, se realizó un análisis exhaustivo de los gases emitidos por los paneles de plástico reciclado (PET) sometidos a diferentes tiempos de exposición al fuego (5, 10 y 15 minutos). Es importante destacar que los plásticos, en este estudio, no generaron emisiones de gases tóxicos derivados de la combustión, ya que no se produjo un proceso de combustión, sino más bien la descomposición de los materiales a temperaturas elevadas.

La medición de los gases emitidos por los paneles sometidos al fuego se llevó a cabo mediante un proceso sistemático, establecida en 3 etapas de quema que se presentan a continuación:

Durante la primera quema, con una duración de 5 minutos, se registró la emisión de gases, específicamente 320 PPM (Partes por millón) de monóxido de carbono. La concentración de monóxido de carbono es significativa, es fundamental señalar que no se produjo combustión en los paneles. La emisión de monóxido de carbono puede atribuirse a la descomposición de los materiales plásticos bajo el calor, liberando gases no inflamables.

En la segunda quema, que se extendió a 10 minutos, se midieron los gases emitidos, revelando una cifra de 190 PPM de monóxido de carbono. Aunque la concentración de monóxido de carbono disminuyó en comparación con la prueba de 5 minutos, sigue siendo sustancial. Este descenso podría indicar una disminución en la liberación de gases tóxicos a medida que avanza el tiempo de exposición, siendo relevante considerar la seguridad ambiental.

Posteriormente, en la tercera quema con una exposición de 15 minutos, se registró una emisión de 225 PPM de monóxido de carbono. La concentración de monóxido de carbono aumentó en comparación con la prueba de 10 minutos. Este aumento podría indicar una mayor descomposición de los materiales a medida que se prolonga la exposición al fuego. La cantidad significativa de monóxido de carbono plantea preocupaciones ambientales y de seguridad.

Los resultados de la medición de gases sugieren que, aunque los paneles no generaron emisiones de gases tóxicos derivados de la combustión, la exposición al fuego provocó la liberación de monóxido de carbono debido a la descomposición de los materiales plásticos. La concentración de monóxido de carbono aumentó con el tiempo de exposición. Este hallazgo positivo subraya la seguridad ambiental de estos paneles en términos de emisión de gases perjudiciales.

#### 4.1.1.3 Transmisión de calor

Para la medición de la transmisión de calor, se tomaron muestras de los paneles a intervalos de tiempo específicos durante la exposición al fuego. A los 5 minutos, la temperatura de las muestras de panel alcanzó los 112 °C, mientras que, a los 10 minutos, se registró una temperatura de 101 °C y a los 15 minutos 140 °C.

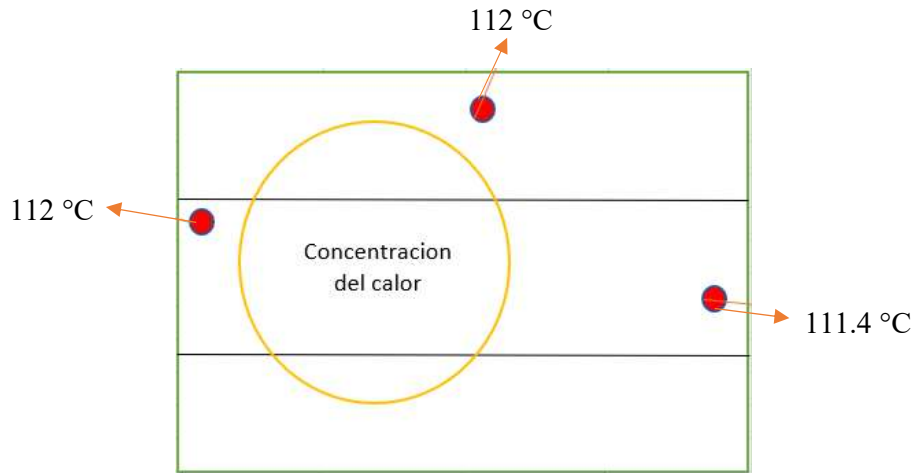


Figura 34. Transmisión de calor muestras de Panel a los 5 minutos

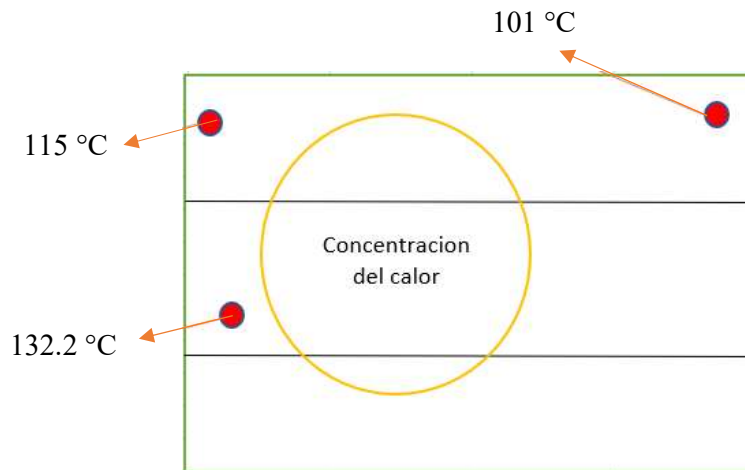


Figura 35. Transmisión de calor muestras de Panel a los 10 minutos

140 °C

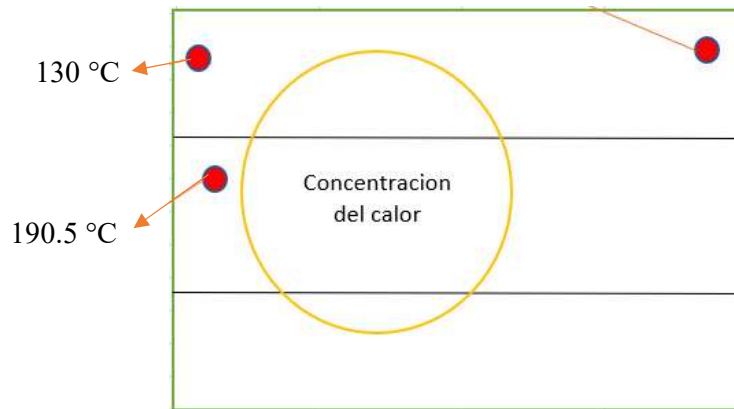


Figura 36. Transmisión de calor muestras de Panel a los 15 minutos

La medición de la transmisión de calor proporciona información valiosa sobre la respuesta de los paneles al fuego a intervalos específicos. Después de 5 minutos de exposición, la temperatura de las muestras de panel alcanzó los 112 °C, indicando una absorción significativa de energía y una respuesta al calor. A los 10 minutos, se registró una disminución en la temperatura a 101 °C, lo que podría atribuirse a factores como la evaporación del agua o cambios en las propiedades térmicas de los paneles. A los 15 minutos, la temperatura aumentó a 140 °C. Los datos destacan la variabilidad en la transmisión de calor de los paneles.

#### 4.1.2. Ensayos a Compresión

Primero se ensayan las muestras con forma de cubo 5x5x5, para los tiempos de exposición al fuego de 0, 5, 10 y 15 minutos. Obteniéndose los siguientes resultados:

##### - Cubo-Patrón-Final (tiempo de exposición: 0 minutos)

	MAX. FUERZA CALC. AT ENTIRE AREAS (Kgf)	DESPLAZAMIENTO (mm)	TIEMPO EN QUE ALCANZÓ EL MÁXIMO VALOR DE FUERZA (seg)	MAX. TENSION CALC. AT ENTIRE AREAS (Kgf/cm2)
t=0 min	2580	0.7315	71.00	105

##### - Cubo-5 min (tiempo de exposición: 5 minutos)

	MAX. FUERZA CALC. AT ENTIRE AREAS (Kgf)	DESPLAZAMIENTO (mm)	TIEMPO EN QUE ALCANZÓ EL MÁXIMO VALOR DE FUERZA (seg)	MAX. TENSION CALC. AT ENTIRE AREAS (Kgf/cm2)

t=5 min	2390	1.358500	58.00	92
---------	------	----------	-------	----

- **Cubo-10 min (tiempo de exposición: 10 minutos)**

	MAX. FUERZA CALC. AT ENTIRE AREAS (Kgf)	DESPLAZAMIENTO (mm)	TIEMPO EN QUE ALCANZÓ EL MÁXIMO VALOR DE FUERZA (seg)	MAX. TENSION CALC. AT ENTIRE AREAS (Kgf/cm2)
t=10 min	2220	1.5365000	58.30	85.5

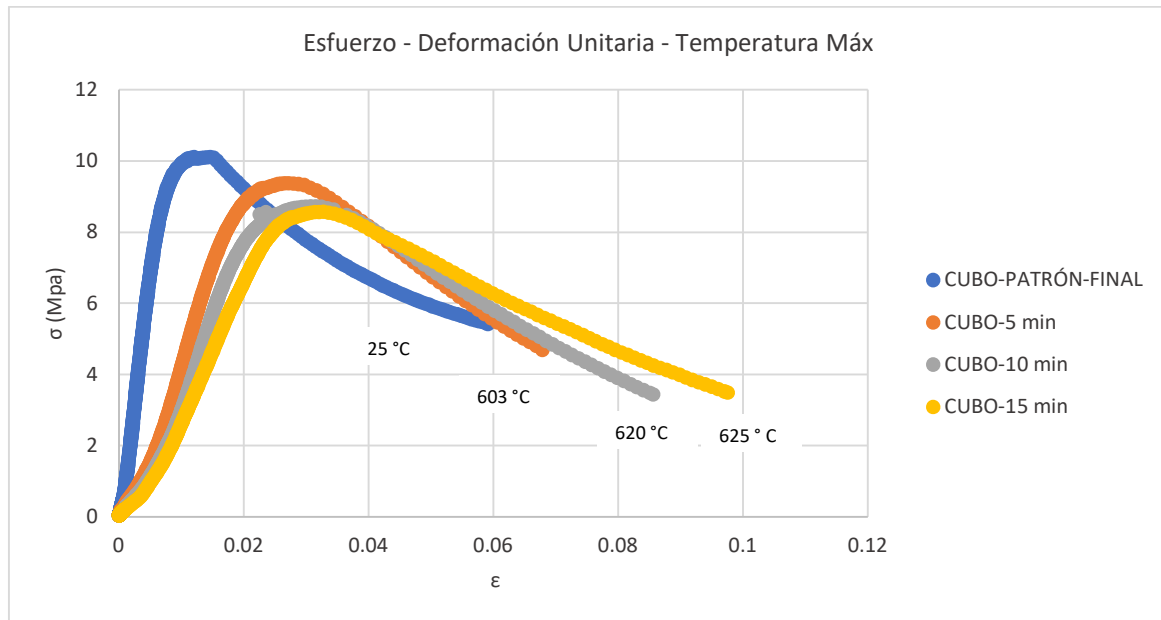
- **Cubo-15 min (tiempo de exposición: 15 minutos)**

	MAX. FUERZA CALC. AT ENTIRE AREAS (Kgf)	DESPLAZAMIENTO (mm)	TIEMPO EN QUE ALCANZÓ EL MÁXIMO VALOR DE FUERZA (seg)	MAX. TENSION CALC. AT ENTIRE AREAS (Kgf/cm2)
t=15 min	2180	1.6386250	61.80	84

**4.1.2.1 Interpretación de resultados para la muestra cúbica 5x5x5 cm.**

	MAX. FUERZA CALC. AT ENTIRE AREAS (Kgf)	DESPLAZAMIENTO (mm)	TIEMPO EN QUE ALCANZÓ EL MÁXIMO VALOR DE FUERZA (seg)	MAX. TENSION CALC. AT ENTIRE AREAS (Kgf/cm2)
t=0 min	2580	0.7315	71.00	105
t=5 min	2390	1.358500	58.00	92
t=10 min	2220	1.5365000	58.30	85.5
t=15 min	2180	1.6386250	61.80	84

En este sentido, una vez obtenido los resultados de los ensayos de compresión realizados a cada una de las muestras cúbicas expuestas al fuego durante 0, 5, 10 y 15 minutos, se puede evidenciar que todas siguen la misma tendencia, es decir no varían drásticamente, esto ocurre ya que los especímenes son hechos del mismo material y las mismas características, su variación es causada por el tiempo de exposición al fuego y propiedades propias de cada una de ellas como es porosidad, humedad, velocidad de aplicación de fuerza..



**Figura 37.** Ensayos a Compresión Muestra Cúbica

Como se puede observar en la gráfica, el ensayo 1 ( $t=0$  min), alcanza rápidamente la máxima Fuerza de 2580 kgf, en un tiempo de 71 segundos, generando un desplazamiento de 0.7315 mm, a una temperatura ambiente de aproximadamente 25 °C. Posterior a alcanzar el valor máximo de la fuerza, se continúa deformando más lentamente con menores fuerzas hasta que el elemento colapsa.

En la gráfica, el ensayo 2 ( $t=5$  min), alcanza más rápido, que el ensayo 1, su máxima Fuerza (2390 kgf) y lo hace en un tiempo de 58 segundos, generando un desplazamiento de 1.3585 mm a una temperatura de 603 °C. Luego de alcanzar el valor máximo de la fuerza, el elemento sigue deformándose con menores fuerzas hasta que el elemento colapsa, sin embargo, esta muestra permite una mayor deformación que la muestra de  $t=0$  min.

Al analizar el ensayo 3 ( $t=10$  min), en la gráfica, se nota que alcanza su máxima Fuerza (2220 kgf) en un tiempo similar al ensayo 2 (58.3 segundos), generando un desplazamiento de 1.5365 mm. Después de alcanzar el valor máximo de la fuerza, el elemento sigue deformándose con menores fuerzas hasta que el elemento colapsa, sin embargo, esta muestra permite una mayor deformación que la muestra de  $t=5$  min.

Por último, en el ensayo 4 ( $t=15$  min), se evidencia que logra su máxima Fuerza (2180 kgf) en un tiempo de 61.8 segundos, generando un desplazamiento de 1.6386250 mm a una temperatura de 625 °C. Luego de alcanzar el valor máximo de la fuerza, el elemento sigue

deformándose con menores fuerzas hasta que el elemento colapsa, sin embargo, esta muestra permite una mayor deformación que la muestra de  $t=10$  min.

Finalmente, al evaluar en conjunto todos los ensayos, se reconoce que, a mayor tiempo de exposición al fuego de la muestra, se reduce la máxima fuerza a compresión que puede soportar y el tiempo en que se alcanza. Sin embargo, a pesar de ello, permite un mayor tiempo de reacción, ya que soportan mayores deformaciones.

De igual manera, se ensayan las muestras con forma de cilíndrica con 5 cm de radio y 20 cm de alto, para los tiempos de exposición al fuego de 0, 5, 10 y 15 minutos. Obteniéndose los siguientes resultados:

- **C1-Patrón (tiempo de exposición: 0 minutos)**

	MAX. FUERZA CALC. AT ENTIRE AREAS (Kgf)	DESPLAZAMIENTO (mm)	TIEMPO EN QUE ALCANZÓ EL MÁXIMO VALOR DE FUERZA (seg)	MAX. TENSION CALC. AT ENTIRE AREAS (Kgf/cm <sup>2</sup> )
t=0 min	6200	1.548875	49.60	84.8

- **C1- 5 min (tiempo de exposición: 5 minutos)**

	MAX. FUERZA CALC. AT ENTIRE AREAS (Kgf)	DESPLAZAMIENTO (mm)	TIEMPO EN QUE ALCANZÓ EL MÁXIMO VALOR DE FUERZA (seg)	MAX. TENSION CALC. AT ENTIRE AREAS (Kgf/cm <sup>2</sup> )
t=5 min	5170	1.462000	46.30	72.9

- **C1-10 min (tiempo de exposición: 10 minutos)**

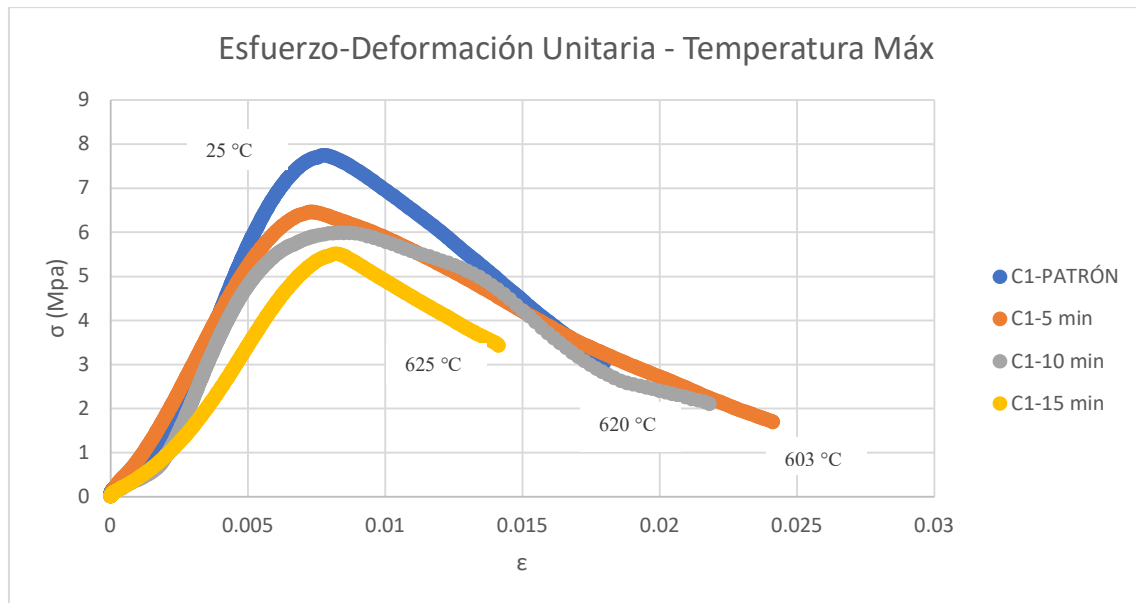
	MAX. FUERZA CALC. AT ENTIRE AREAS (Kgf)	DESPLAZAMIENTO (mm)	TIEMPO EN QUE ALCANZÓ EL MÁXIMO VALOR DE FUERZA (seg)	MAX. TENSION CALC. AT ENTIRE AREAS (Kgf/cm <sup>2</sup> )
t=10 min	4800	1.6970000	42.80	65

- **C1-15 min (tiempo de exposición: 15 minutos)**

	MAX. FUERZA CALC. AT ENTIRE AREAS (Kgf)	DESPLAZAMIENTO (mm)	TIEMPO EN QUE ALCANZÓ EL MÁXIMO VALOR DE FUERZA (seg)	MAX. TENSION CALC. AT ENTIRE AREAS (Kgf/cm <sup>2</sup> )
t=15 min	4410	1.6350000	43.30	59.7

#### 4.4.2.2 Interpretación de resultados para la muestra cilíndrica de radio de 5 cm y altura 20 cm

	MAX. FUERZA CALC. AT ENTIRE AREAS (Kgf)	DESPLAZAMIENTO (mm)	TIEMPO EN QUE ALCANZÓ EL MÁXIMO VALOR DE FUERZA (seg)	MAX. TENSION CALC. AT ENTIRE AREAS (Kgf/cm <sup>2</sup> )
t=0 min	6200	1.548875	49.60	84.8
t=5 min	5170	1.462000	46.30	72.9
t=10 min	4800	1.6970000	42.80	65
t=15 min	4410	1.6350000	43.30	59.7



**Figura 38.** Ensayos a Compresión Muestra Cilíndrica

Después de examinar los resultados de los ensayos de compresión en las muestras cilíndricas expuestas al fuego durante 5 minutos, se observan variaciones notables. En el ensayo 2 a los 5 minutos, la muestra alcanza su máxima fuerza de 5170 kgf en 46.3 segundos, generando un desplazamiento de 1.462 mm. Este resultado indica una respuesta más rápida a la temperatura en comparación con el ensayo 1 (t=0 min), mostrando cierta adaptación inicial a la exposición al fuego. Cabe destacar que, durante este intervalo, la temperatura máxima registrada fue de 603 °C en el ensayo 2 (t=5 min).

En el ensayo 3 ensayo 3 (t=10 min), representado por los 10 minutos, la muestra alcanza su máxima fuerza de 4800 kgf en 42.8 segundos, generando un desplazamiento de 1.697 mm. Aunque llega más rápido a la máxima fuerza que en el ensayo previo permite una menor deformación. Esta respuesta indica una adaptación de los paneles a una exposición más prolongada al fuego, mostrando una disminución en la deformación pero manteniendo cierta resistencia. En este periodo, la temperatura máxima registrada fue de 620 °C.

En el ensayo 4 (t=15 min), correspondiente a los 15 minutos, la muestra alcanza su máxima fuerza de 2180 kgf en 43.3 segundos, generando un desplazamiento de 1.635 mm. Se evidencia que, después de un tiempo estimado de 5 minutos (ensayo 2), las deformaciones se reducen considerablemente y a una rápida velocidad en los ensayos 3 y 4. En este caso, la temperatura máxima registrada fue de 625 °C. Estos resultados sugieren que la capacidad de resistir altas temperaturas mejora solo durante un tiempo limitado, ya que posterior a ello, las propiedades se degradan y los paneles colapsan más rápidamente.

Incluyendo las temperaturas a 5 minutos (603 °C), 10 minutos (620 °C) y 15 minutos (625 °C), se puede relacionar que, a medida que aumenta el tiempo de exposición al fuego, se observa una disminución en la máxima fuerza a compresión que puede soportar cada muestra. El ensayo 2, que muestra una mayor deformación a 5 minutos, presenta una respuesta más rápida a la temperatura, alcanzando su máxima fuerza antes que el ensayo 3. Sin embargo, después de este tiempo, las deformaciones se reducen considerablemente y a una rápida velocidad en los ensayos 3 y 4. En resumen, estos ensayos demuestran una mejora en la capacidad de resistir altas temperaturas solo durante un tiempo estimado de 5 minutos.

#### ***4.1.3. Ensayos a Flexión***

Para evaluar el comportamiento de las viguetas con dimensiones de 16x4x4 se somete a cada una de las 4 muestras expuestas al fuego durante 0, 5, 10 y 15 minutos respectivamente. Obteniéndose los siguientes resultados:

**- Vigueta Patrón (tiempo de exposición: 0 minutos)**

<b>L=</b>	15.9	cm	<b>Volumen=</b>	260.76	cm <sup>3</sup>
<b>h1=</b>	4	cm			
<b>h2=</b>	4.1	cm			

**Ecuación de carga de anillo**

$$Carga\ Max(lbs) = 5.7069 * x + 20.29$$

$$x = 23$$

Carga Max=	151.549	lbs
Carga Max=	68.741	Kg

- **Vigueta 5 min (tiempo de exposición: 5 minutos)**

L= 16.1 cm    **Volumen=** 270.48 cm<sup>3</sup>  
h1= 4 cm  
h2= 4.2 cm

**Ecuación de carga de anillo**

$$Carga\ Max(lbs) = 5.7069 * x + 20.29$$

$$x = 18$$

Carga Max=	123.014	lbs
Carga Max=	55.798	Kg

- **Vigueta 10 min (tiempo de exposición: 10 minutos)**

L= 16.1 cm    **Volumen=** 271 cm<sup>3</sup>  
h1= 4.1 cm  
h2= 4.1 cm

**Ecuación de carga de anillo**

$$Carga\ Max(lbs) = 5.7069 * x + 20.29$$

$$x = 12$$

Carga Max=	88.773	lbs
Carga Max=	40.267	Kg

- **Vigueta 15 min (tiempo de exposición: 15 minutos)**

L= 16.2 cm    **Volumen=** 278.96 cm<sup>3</sup>  
h1= 4.2 cm  
h2= 4.1 cm

### Ecuación de carga de anillo

$$\text{Carga Max}(lbs) = 5.7069 * x + 20.29$$

$$x = 11$$

Carga Max=	83.066	lbs
Carga Max=	37.678	Kg

#### 4.1.3.1 Interpretación de las muestras en forma de viguetas de 16 x 4 x 4 cm

	Dimensiones (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la flexión (Kgf/cm <sup>2</sup> )
t=0 min	15.9x4x4.1	63,6	4371,93
t=5 min	16.1x4x4.2	64,4	3593,39
t=10 min	16.1x4.1x4.1	66,01	2658,02
t=15 min	16.2x4.2x4.1	68,04	2563,61

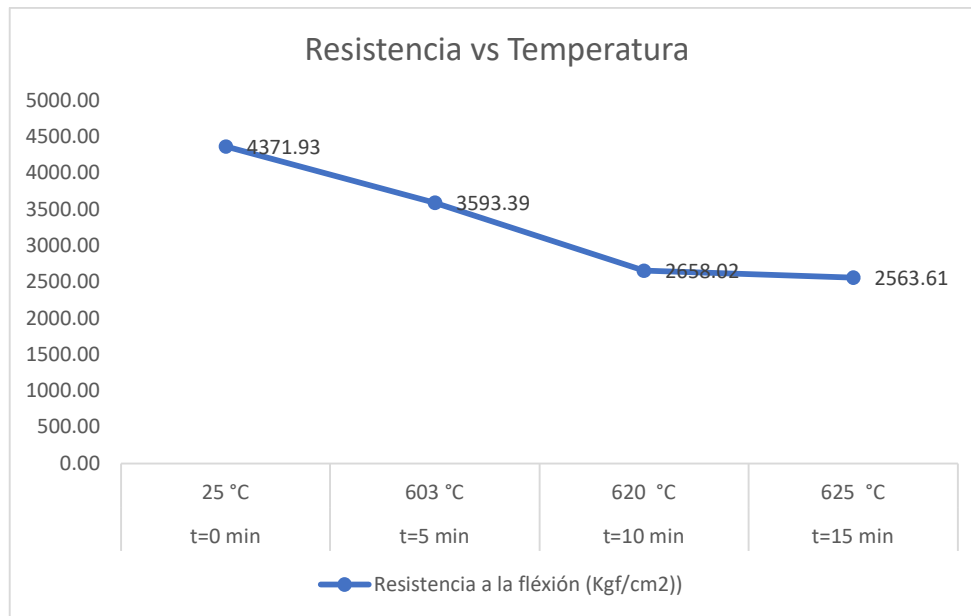


Figura 39. Ensayos de Flexión de viguetas

Los datos revelan una clara variación en la resistencia a la flexión de las viguetas en función del tiempo de exposición al fuego y la temperatura a la que fueron sometidas. La muestra sin exposición inicial presenta la mayor resistencia, con 4371.93 Kgf/cm<sup>2</sup> a una temperatura de 25

°C, mientras que las muestras expuestas durante 5, 10 y 15 minutos experimentan reducciones progresivas en su resistencia, alcanzando valores de 3593.39, 2658.02 y 2563.61 Kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente, a temperaturas de 603 °C, 620 °C y 625 °C. Este descenso en la resistencia sugiere que la exposición al fuego afecta negativamente la capacidad de las viguetas para soportar cargas bajo flexión, y la relación con las temperaturas proporciona una comprensión más detallada de este impacto. La disminución progresiva en la resistencia con el tiempo y el aumento de la temperatura indica una degradación estructural gradual, siendo este análisis crucial para comprender el impacto del fuego en la integridad de los elementos de plástico reciclado (PET) y su posible aplicación en contextos constructivos.

## 5. CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- El diseño y construcción del horno refractario demostró ser eficiente para la exposición controlada de los paneles al fuego, ya que los datos recopilados durante los ensayos en el horno proporcionaron información clave para la evaluación del comportamiento de los paneles bajo condiciones realistas de incendio.
- Los resultados de las mediciones de gases emitidos revelan concentraciones específicas de monóxido de carbono (320 PPM a los 5 minutos, 190 PPM a los 10 minutos y 225 PPM a los 15 minutos). Es importante destacar que no se registró la liberación de más gases tóxicos durante la exposición al fuego en este estudio, estos datos indican que el único gas que libera es monóxido de carbono es cual se genera por la combustión del gas doméstico mas no por la combustión de las partículas de PET.
- Las características físico mecánicas que presentan los paneles expuestos ante el fuego a diferentes temperaturas y a los diferentes tiempos de exposición, presentó que a medida que se incrementa el tiempo de exposición, se observa un deterioro progresivo en la resistencia y estructura de los paneles. La temperatura alcanzada por los paneles, especialmente después de 15 minutos, muestra signos evidentes de descascaramiento y deformación, indicando una afectación directa del plástico reciclado PET ante altas temperaturas. Es así que para un tiempo de exposición al fuego de 15 minutos se reduce la capacidad de soportar cargas en un 15.5 % y se duplica su capacidad de deformación. Este aumento en la capacidad de deformación podría estar relacionado con los cambios en las propiedades físicas y mecánicas de los paneles, como se evidenció en los ensayos de pandeo y flacidez.

Cabe recalcar que las partículas de PET no tuvieron combustión en ninguna de las pruebas de fuego realizadas a 5, 10 y 15 minutos respectivamente, teniendo un punto fundamental a favor ya que no emana ningún tipo de gas toxico.

En cuanto a los ensayos de compresión, se registró una la fuerza a compresión en los paneles cúbicos de 2580 Kgf (tiempo 0 min) a 2180 Kgf (tiempo 15 min), resaltando la importancia de comprender la durabilidad de estos paneles en situaciones de incendio prolongadas. Observándose una disminución de 28.87% en la capacidad de soportar cargas después de 15 minutos de exposición al fuego, indicando una pérdida de resistencia mecánica a altas temperaturas.

- Por otra parte, en los ensayos de flexión de las viguetas revelan una reducción del 54.81% en la capacidad de resistencia a la flexión (37,678 kg) después de 15 minutos, con pequeñas variaciones dimensionales, sugiriendo una disminución significativa en la capacidad estructural de los paneles con el tiempo de exposición. La muestra sin exposición inicial presenta la mayor resistencia, registrando 4371.93 Kgf/cm<sup>2</sup> a una temperatura de 25 °C. En contraste, las muestras expuestas durante 5, 10 y 15 minutos experimentan reducciones progresivas en su resistencia, alcanzando valores de 3593.39, 2658.02 y 2563.61 Kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente, a temperaturas de 603 °C, 620 °C y 625 °C. Este descenso progresivo en la resistencia sugiere que la exposición al fuego afecta negativamente la capacidad de las viguetas para soportar cargas bajo flexión, lo que subraya la necesidad de considerar la durabilidad y resistencia a largo plazo de los paneles en aplicaciones constructivas.

## **5.2. Recomendaciones**

- Se recomienda realizar estudios adicionales para optimizar la formulación de paneles con plástico reciclado (PET), buscando mantener la resistencia al fuego sin comprometer la sostenibilidad. Explorando nuevas combinaciones de materiales, proporciones específicas y métodos de fabricación más avanzados puede ser clave.
- Considerar el uso de tratamientos ignífugos o aditivos para mejorar la resistencia al fuego sin perder los beneficios sostenibles. A través, de estudios específicos que puedan evaluar la eficacia de estos tratamientos, asegurando estándares de seguridad contra incendios.
- Se recomienda realizar los ensayos de laboratorio respectivos con la misma dosificación usada en campo, para poder comprobar que responda tal como se espera según lo requerido del elemento estructural.
- Se recomienda usar estos paneles ya que permiten tener un mayor tiempo de respuesta ante incendios y reducen considerablemente los costos de producción de un panel común de fibrocemento o yeso, que son los más usados en Ecuador.
- Promover la creación de normas y estudios sobre el uso y comportamiento de elementos estructurales compuestos por concreto con fibras orgánicas, de plásticos, madera, caucho, entre otros. Esto con el fin de asentar una guía a seguir para emplear adecuadamente estos elementos según los requisitos que se soliciten en el proyecto.

- Para estudio futuros, se podría evaluar si se pueden reducir las deformaciones y pandeo de los paneles expuestos al fuego con mallas de fierro y si es rentable para elementos de grandes magnitudes.
- Se recomienda estudiar y analizar especímenes con otro tipo de materiales reciclados para encontrar nuevas características mecánicas que contribuyan a la economía y al ambiente.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Acuerdo No. 01257. (2009, abril 2). ACUERDO No. 01257. MINISTERIO DE INCLUSIÓN ECONÓMICA Y SOCIAL. *ACUERDO No. 01257 REGLAMENTO DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS DEL MINISTERIO DE INCLUSIÓN ECONÓMICA Y SOCIAL*. Quito, Ecuador: Edición Especial No.114.

Albornoz, S. (2016, Mayo). El fuego y los incendios. Santiago, Providencia, Chile.

Alejandro, C., Ojeda, J., & Mercante, I. (2021). Evaluación de ecoeficiencia del uso de plástico reciclado en paneles constructivos. *IX Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos: "Por un mundo limpio, libre de residuos"*. Panamá: Universidad Tecnológica de Panamá. From <https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/177855/libro-de-actas-IX%20SIIR-2021%20%283%29%20%282%29%20%281%29.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Angumba, P. (2016). *Ladrillos elaborados con plástico reciclado (PET), para mampostería no portante*. Tesis doctoral, Cuenca. From <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/25297/1/tesis.pdf>

Armenteras, D. (2019). Incendios en ecosistemas del norte de Suramérica: avances en la ecología del fuego tropical en Colombia, Ecuador y Perú. *Caldasia*, 16.

ASTM Internacional. (2015). ASTM E119: Standard Test Methods for Fire Test of Building Construction and Materials. From <https://es.scribd.com/document/589545763/ASTM-E119-Standard-Test-Methods-For>

Aviles, E. d. (1840). *La socienda de seguros contra incendios de edificios y los origenes del servicio de extincion de fuegos en Malaga*. Malaga: Sociedad Contra Incendios.

- Bomberos, C. (2020). *BENEMÉRITO CUERPO DE BOMBEROS VOLUNTARIOS CUENCA*. Cuenca: Benemerito cuerpo de bomberos de Cuenca.
- Bomberos, Cuenca. (2023, marzo 1). *Bomberos Cuenca*. From Bomberos Cuenca: <https://bomberos.gob.ec/elementor-22537/>
- Britez, C., Carvalho, M., & Helene, P. (2020). Acciones y efectos nocivos del fuego sobre estructuras de concreto. Una breve reseña. *Revista ALCONPAT*, 10(1), 1-21. doi:<http://dx.doi.org/10.21041/ra.v10i1.421>
- Britez, C., Carvalho, M., & Helene, P. (2020). Acciones y efectos nocivos del fuego sobre estructuras de concreto. Una breve reseña. *Revista ALCONPAT*, 10(1), 1-21. doi:<http://dx.doi.org/10.21041/ra.v10i1.421>
- Burón, M., & Vega, L. (2007). Seguridad frente al fuego de las. *Hormigón*(899. ISSN: 0008-8919), 44-51. From [https://www.andece.org/images/BIBLIOTECA/fuego\\_buron\\_ieca.pdf](https://www.andece.org/images/BIBLIOTECA/fuego_buron_ieca.pdf)
- Caivinagua, D. (2018). *Mampostería en seco, tipo lego con ladrillo de plástico reciclado aplicado para fines de construcción emergente*. Tesis de Pregrado, Universidad Técnica Particular de Loja, Loja. From <https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/20.500.11962/21900/1/Caivinagua%20Samaniego%2c%20Danny%20Israel.pdf>
- Callirgos, C., & Contreras, E. (2022). *Investigación experimental de la sensibilidad del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> ante los procedimientos de extinción de incendios con agua y/o polvo químico*. Tesis de pregrado. From <https://hdl.handle.net/20.500.12893/10480>
- Carballas, F. (2004). *Los incendios forestales*. Galicia: Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia.
- CNB-INDECOPI. (2012). Norma Técnica Peruana NTP 350-021. From <https://www.servilex.pe/documents/seguridad/350.021.pdf>
- Cobeñas, J., & Janampa, C. (2019). *Influencia del proceso de rehidratación de la resistencia del concreto reforzado con fibra de polipropileno por exposición al fuego directo*. Tesis de pregrado, Universidad de San Martín de Porres, Lima. From <https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/5202/cobe%3%blas-janampa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Cordero, C. (2023). *Análisis de la transmisión térmica, emisión de gases y comportamiento mecánico de elementos constructivos locales al estar expuestos al fuego*. Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Cuenca.
- Córdova, S. (2020). *Utilización de plástico reciclado (PET), en elementos prefabricados de concreto de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2019*. Universidad César Vallejo, Lima. From [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/59813/Cordova\\_PS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/59813/Cordova_PS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Covarrubias, M., & Ruvalcaba, F. (2015). Degradación de Materiales de la Construcción Ante la Acción de Altas Temperaturas. *2DO CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA*. Sinaloa. From [https://www.researchgate.net/publication/303785438\\_Degradacion\\_de\\_Materiales\\_de\\_la\\_Construccion\\_Ante\\_la\\_Accion\\_de\\_Altas\\_Temperaturas](https://www.researchgate.net/publication/303785438_Degradacion_de_Materiales_de_la_Construccion_Ante_la_Accion_de_Altas_Temperaturas)
- Díaz, A., & Sánchez, L. (2019). *Incorporación del plástico PET en la fabricación de ladrillos artesanales en Jaén*. Universidad Nacional de Jaén. Jaén: Universidad Nacional de Jaén. Retrieved from <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/258>
- Elias, X. (2012). *RECICLAJE DE RESIDUOS INDUSTRIALES residuos solidos urbanos y fangos de depuradora*. Madrid: Ediciones Diaz Santos S.A.
- Escobar, D., Agudelo, Y., Carlos, J., Botero, Z., Valencia, J., Garzón, H., & Patiño, J. (2018). *DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN DE UN HORNO MUFLA*. 4ta EDICIÓN, 68. From [https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/5111/iv\\_encuentro\\_%20sennova\\_orientado\\_2018.pdf?sequence=1#page=68](https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/5111/iv_encuentro_%20sennova_orientado_2018.pdf?sequence=1#page=68)
- Fernández, A. (2022). *Estudio del bambú y su uso en la construcción. Caracterización mecánica*.
- Gaggino, R. (2003). Elementos constructivos con PET reciclado. *Tecnología y Construcción*, 19(2). From [http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev\\_tc/article/view/3546](http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_tc/article/view/3546)
- García, A., & Quiroz, R. (2018). *Arquitectura y tecnología constructiva: Análisis de caso, Elaboración de paneles prefabricados a base de cascara de maní y polietileno reciclado PET, para la aplicación en los procesos constructivos de proyectos arquitectónicos*. Universidad San Gregorio de Portoviejo. Portoviejo: Universidad San

- Gregorio. From <http://repositorio.sangregorio.edu.ec/bitstream/123456789/899/1/ARQ-C2018-10.pdf>
- Gonzalez, P. (2022). *Edificio mixto de oficinas y comercio localizado en el estado de Toluca, Edo. México con tecnología Panel*. Mexico: Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior De Ingeniería y Arquitectura.
- Grant, C. C. (2017). Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. In C. C. Grant, *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo* (p. 34). Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: Mc Graw Hill Education.
- Ibarra, D., & Matute, C. (2021). *Prototipo de plancha para cubierta a base de plástico PET, vidrio y papel reciclado*. Tesis de Pregrado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Guayaquil. From <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/4554>
- Inoriza, R. (2003). Introducción a los materiales refractarios. *Técnica Industrial*, 248, 54-57. From <https://www.tecnicaindustrial.es/wp-content/uploads/Numeros/6/43/a43.pdf>
- Ladino, R., Ladino, J., & Donato, D. (2022). *Propuesta de reforma al bloque de incendios del programa de formación para bomberos de Colombia adicionando el módulo de comportamiento de los principales materiales de construcción al ser sometidos al fuego*. Tesis Doctoral, Universidad Piloto de Colombia. From <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/12324/Proyecto%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mamani, J. (2022). *Estructuras ligeros de alta resistencia a compresión y flexión en base a concreto, acero y polietileno para ambientes interiores*.
- Muñoz, D., & Narváez, J. (2019). *Construcción sostenible a partir de paneles prefabricados utilizando yeso y celulosa reciclada*. Tesis de Pregrado, Universidad Central del Ecuador, Quito. From <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19052>
- Obeso, I. (2018). *Evaluación de viabilidad para la fabricación, análisis de sustentabilidad*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente. México: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente. From <https://rei.iteso.mx/bitstream/handle/11117/5400/TOG%20Isabel%20de%20Obeso%200Partida.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

- Osorio, A., & Plua, A. (2017). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para evaluar resistencia de materiales durante incendios*. Tesis de Pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil. From <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/99222/D-CD88506.pdf>
- Patiño, L. (2021). *Evaluación comparativa de las propiedades físico - mecánicas y de conductividad térmica entre placas de fibrocemento y placas de fibrocemento adicionado con fibras de envases tetrabrik, fibras de aluminio y fibras de polietileno en la ciudad del Cusco*. Tesis de Pregrado, Universidad Andina del Cusco, Cusco. From [https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/4211/Luis\\_Tesis\\_bachiller\\_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/4211/Luis_Tesis_bachiller_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Pérez, E. (1955). Materiales Refractarios para Hornos de Coque. *Boletín Informativo del Instituto Nacional del Carbón*(23), 231-250. From [https://digital.csic.es/bitstream/10261/107770/1/Materiales\\_refractarios\\_Perez.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/107770/1/Materiales_refractarios_Perez.pdf)
- Quinchía, A., Valencia, M., & Giraldo, J. (2007). Uso de lodos provenientes de la Industria Papelera en la elaboración de Paneles Prefabricados para la Construcción. *Revista EIA*, 4(8), 9-19. From <https://revistabme.eia.edu.co/index.php/reveia/article/view/182>
- Reolid, R. (2019). *Los incendios forestales desde la perspectiva criminológica*. Tesis de Pregrado, Universitat Jaume-I. From [https://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/179764/TFG\\_2018\\_Reolid\\_Lorenzo\\_Raul.pdf?sequence=1](https://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/179764/TFG_2018_Reolid_Lorenzo_Raul.pdf?sequence=1)
- Sánchez, J. (2021). *Vivienda rural: comportamiento térmico de la envolvente, con sistemas convencionales y panel prefabricado en PET*. Tesis de maestría, Universidad Católica de Colombia, Bogotá. From <https://hdl.handle.net/10983/26288>
- Sanjurjo, J., & Gómez, M. (2012). Establecimiento de las temperaturas máximas alcanzadas en el incendio de edificios históricos por termoluminiscencia. *Estudios Arqueológicos De Oeiras*, 19, 299-302. From <https://eao.oeiras.pt/index.php/DOC/article/view/236>
- Sornoza, J. (2022). Materiales alternativos empleados en la construcción de viviendas en Ecuador: una revisión. *Polo de conocimiento*, 26.
- Vega, E. (2019). *Diseño y construcción de horno basculante a gas, para fundición de metales blandos*. (Doctoral dissertation, Universidad Santo Tomás).

- Vera, K., & Valdiviezo, S. (2019). *Elaboración de paneles de revestimiento para paredes a base de fibra de vidrio y estopa de coco para viviendas de interés social en la ciudad de Guayaquil*. (Bachelor's thesis, Guayaquil: ULVR, 2019).
- Vera, T. (2022). Diseño y fabricación experimental de placas cemento-PET. *Revista Ciencia y Tecnología de la*, 16.
- Yupa, A., & Guaman, E. (2022). *PROTOTIPO DE PANELES CON MATERIALES RECICLADOS*. Cuenca: Universidad Católica de Cuenca, unidad de Ingeniería Industria y Construcción.
- Zambrano, E. (2015). *Diseño de elementos constructivos para el espacio interior mediante el reciclaje de plástico PET*. Tesis de Pregrado, Universidad de Azuay. From <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4717>