



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

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

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICOS-
MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA CON
PERFORACIÓN HORIZONTAL SOMETIDO A ALTAS
TEMPERATURAS**

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

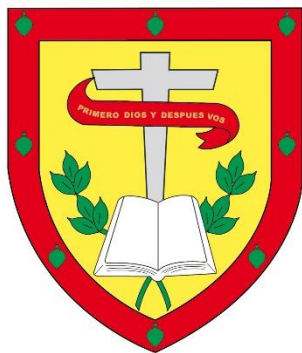
AUTOR: JEFFERSON MAURICIO ACOSTA CHILPE

DIRECTOR: CARLOS JULIO CORDERO CABRERA

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

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

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICOS- MECÁNICAS
DE LA MAMPOSTERÍA CON PERFORACIÓN
HORIZONTAL SOMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS
PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: JEFFERSON MAURICIO ACOSTA CHILPE

DIRECTOR: CARLOS JULIO CORDERO CABRERA

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Jefferson Mauricio Acosta Chilpe portador de la cédula de ciudadanía N.º 0106700107.
Declaro ser autor de la obra: **"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA CON PERFORACIÓN HORIZONTAL SOMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS"**, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas.

Declaro finalmente que mi 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 me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 18 de marzo de 2024

F: 

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo de titulación con el tema **“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICOS- MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERIA CON PERFORACIÓN HORIZONTAL SOMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS”** fue desarrollado por, **JEFFERSON MAURICIO ACOSTA CHILPE**, estudiante 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.



F:

MSC. ING. CARLOS JULIO CORDERO CABRERA

C.I. 0103382958

DIRECTOR DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis queridos padres, quienes, aunque ya no están físicamente conmigo, siguen siendo mi mayor inspiración. Su amor, apoyo y sabiduría continúan guiándome en cada paso que doy. Agradezco profundamente todo lo que hicieron por mí y por creer en mis sueños, incluso cuando yo dudaba de mí mismo. Esta tesis es un testimonio de su amor incondicional y de la importancia que han tenido en mi vida.

A mis padres y tutores, les dedico este logro con profundo amor y gratitud. Sin ustedes, este proyecto no habría sido posible. Espero que desde donde estén, sientan el orgullo y la felicidad que tengo al compartir este logro con ustedes. Siempre estarán en mi corazón y en cada paso que dé en mi carrera profesional.

Gracias por ser mis guías, mis pilares y mis mayores motivaciones. Los amo y siempre los llevaré conmigo.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres, quienes han sido mi mayor apoyo y fuente de inspiración a lo largo de mi vida. Su amor incondicional y su constante aliento han sido fundamentales para alcanzar este logro. Gracias por creer en mí y por brindarme las herramientas necesarias para enfrentar los desafíos académicos.

También quiero agradecer a mi tutor, quien me ha guiado y orientado durante todo el proceso de investigación y escritura de este proyecto. Su experiencia, conocimiento y dedicación fueron invaluable. Agradezco su paciencia y disposición para responder a mis preguntas y brindarme su apoyo en cada etapa del proyecto.

Además, quiero agradecer a mis amigos y seres queridos por su comprensión, ánimo y palabras de aliento. Su apoyo incondicional me ha dado fuerzas para superar los momentos difíciles y mantenerme enfocado en mi objetivo.

No puedo dejar de mencionar a todos aquellos profesores, compañeros y personas que de alguna manera contribuyeron a mi formación académica. Sus enseñanzas, consejos y comentarios constructivos han sido de gran valor para mi desarrollo como estudiante y como persona.

Por último, quiero agradecer a la Universidad Católica de Cuenca por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto y por proporcionarme los recursos necesarios para llevarlo a cabo.

A todas estas personas, mi más profundo agradecimiento. Sin su apoyo, este logro no habría sido posible. Espero que se sientan orgullosos de haber formado parte de este proceso y de haber contribuido a mi crecimiento académico y personal.

RESUMEN

En la actualidad, la mampostería con perforación horizontal es uno de los materiales más utilizados en la construcción debido a su resistencia y durabilidad. Sin embargo, existe falta de conocimiento sobre cómo este material se comporta bajo diferentes condiciones térmicas. Por ende, es crucial analizar las propiedades físicas-mecánicas de la mampostería con perforación horizontal sometido a altas temperaturas en diferentes tiempos de exposición para evaluar el comportamiento estructural.

Para iniciar con la investigación se seleccionaron ladrillos de perforación horizontal (tochanos), se elaboraron morteros, viguetas y paneles de ladrillo, con la finalidad de exponerlos a altas temperaturas durante diferentes tiempos (5, 10 y 15 minutos), para ello, se utilizó un soplete, gas doméstico y el horno refractario.

Los ensayos de resistencia a compresión reportaron que, el panel de mampostería expuesto a 15 minutos al fuego perdió el 9% de resistencia a la fuerza en comparación con el panel base. El ladrillo expuesto a 15 minutos disminuyó el 37% de resistencia a compresión; en cuanto al mortero expuesto a 15 minutos tuvo una reducción del 58%. El modelo tipo trío perdió un 26% de fuerza de unión tangencial frente al modelo patrón. El ensayo de emisión de gases reportó que el promedio de los niveles de CO en cinco muestras fue de 561 PPM. La transmisión de calor a mayor temperatura, menor es la diferencia de °C de la parte indirecta que no estuvo expuesta al fuego. Las viguetas disminuyeron su resistencia a flexión en un 69,5% en relación al modelo patrón.

Palabras clave: mampostería horizontal, paneles, propiedades físicas y mecánicas, fuego controlado, altas temperaturas

ABSTRACT

Currently, horizontal perforated masonry is one of the most widely used materials in construction due to its strength and durability. However, there is a lack of knowledge about how this material behaves under different thermal conditions. Therefore, analyzing the physical-mechanical properties of horizontal perforated masonry subjected to high temperatures at different exposure times is crucial to assessing structural behavior.

To start this research, horizontal perforated bricks, and mortars, beams, and brick panels were made to expose them to high temperatures for different times (5, 10, and 15 minutes), using a blowtorch, domestic gas, and a refractory oven.

Compression strength tests reported that the masonry panel exposed to 15 minutes of fire lost 9% of strength compared to the base panel. The brick exposed for 15 minutes decreased by 37% in compression strength. The mortar exposed for 15 minutes showed a 58% reduction. The trio model lost 26% of tangential bond strength compared to the standard model. The gas emission test indicated that the average CO levels in five samples were 561 PPM. Heat transmission at higher temperatures resulted in a minor temperature difference in the indirect part not exposed to fire. Beams decreased their flexural strength by 69.5% compared to the standard model.

Keywords: horizontal masonry, panels, physical and mechanical properties, controlled fire, high temperatures.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD.....	I
CERTIFICACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
1. CAPÍTULO I. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. ANTECEDENTES	2
1.2.1. Internacionales	2
1.2.2. Nacionales.....	3
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.4. JUSTIFICACIÓN	5
1.5. OBJETIVOS	6
1.5.1. Objetivo General	6
1.5.2. Objetivos Específicos.....	6
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	7
2.1. DINÁMICA DEL FUEGO	7
2.1.1. Definición del fuego	7
2.1.2. Clasificación del fuego	7
2.1.3. El Humo.....	8
2.1.4. Tetraedro del fuego	8
2.1.5. Etapas principales del incendio real.....	10
2.1.6. Emisiones de monóxido de carbono.....	11
2.2. MUROS ESTRUCTURALES EN MAMPOSTERÍA	12
2.2.1. Definición de la mampostería	12
2.2.2. Clasificación de la mampostería	12
2.3. MORTERO	13
2.3.1. Definición de mortero	13
2.3.2. Propiedades del mortero	14
2.3.3. Tipos de morteros	14
2.3.4. Materiales del mortero	14
2.3.5. Clasificación del mortero según sus propiedades	15
2.3.6. Clasificación del mortero según el porcentaje de fluidez.....	16

2.4.	EL LADRILLO	17
2.5.	PROCESO DE FABRICACIÓN.....	19
2.6.	TIPOS DE LADRILLOS	19
2.7.	CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL LADRILLO	20
2.7.1.	<i>Propiedades Físicas</i>	21
2.7.2.	<i>Propiedades Mecánicas</i>	21
2.7.3.	<i>Propiedades Térmicas</i>	22
2.8.	DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	22
2.9.	ENSAYOS MECÁNICOS Y FÍSICOS	24
2.9.1.	<i>Determinación de la resistencia a la Compresión</i>	24
2.9.2.	<i>Determinación de la resistencia a la Flexión</i>	25
2.9.3.	<i>Prueba de adherencia</i>	26
2.9.4.	<i>Determinación de la resistencia a la compresión axial</i>	26
2.10.	NORMATIVA	28
2.10.1.	<i>NTE INEN 293:1977</i>	28
2.10.2.	<i>Estándar de Resistencia al Fuego en Construcción (ISO 834)</i>	28
2.10.3.	<i>NTE INEN 804:2013</i>	28
2.10.4.	<i>NTE INEN 488:2009</i>	29
3.	CAPÍTULO: MARCO METODOLÓGICO.....	30
3.1.	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	30
3.1.1.	<i>Investigación Experimental</i>	30
3.1.2.	<i>Investigación Cuantitativa</i>	30
3.2.	VARIABLES	30
3.2.1.	<i>Variable Independiente</i>	30
3.2.2.	<i>Variable Dependiente</i>	30
3.3.	TÉCNICA E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	30
3.4.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	31
3.5.	PROCESOS Y PROCEDIMIENTOS PREVIO A LOS ENSAYOS	31
3.5.1.	<i>Proceso de fabricación del ladrillo de perforación horizontal (tochano)</i>	31
3.5.2.	<i>Proceso constructivo de la elaboración de las muestras</i>	37
3.6.	ENSAYOS.....	41
3.6.1.	<i>Ensayo de resistencia a compresión</i>	41
3.6.2.	<i>Ensayo de resistencia a flexión</i>	41
3.6.3.	<i>Ensayo de resistencia a la compresión axial</i>	42
3.6.4.	<i>Ensayo de adherencia</i>	44
4.	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y CONCLUSIONES	48
4.1.	RESULTADOS DE RESULTADOS.....	48
4.1.1.	<i>Resultados de ensayos de exposición a altas temperaturas en el horno refractario</i>	48

4.1.2.	<i>Resultados de ensayos de resistencia a compresión a paneles</i>	<i>52</i>
4.1.3.	<i>Resultados de ensayos a compresión a ladrillos</i>	<i>56</i>
4.1.4.	<i>Resultados de ensayos a compresión a cubos morteros.....</i>	<i>61</i>
4.1.5.	<i>Resultados de ensayos de adherencia</i>	<i>66</i>
4.1.6.	<i>Resultados de gases emitidos por los paneles sometidos al fuego.....</i>	<i>68</i>
4.1.7.	<i>Resultados del ensayo de transmisión de calor</i>	<i>70</i>
4.1.8.	<i>Resultados de ensayo a Flexión</i>	<i>73</i>
4.2.	CONCLUSIONES	76
4.3.	RECOMENDACIONES.....	77
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 <i>TETRAEDRO DEL FUEGO</i>	9
TABLA 2 <i>CONCENTRACIONES DE CO Y EFECTO EN EL SER HUMANO</i>	12
TABLA 3 <i>CLASIFICACIÓN DE MORTEROS SEGÚN SUS PROPIEDADES, USADOS PARA PRUEBAS DE LABORATORIO</i>	15
TABLA 4 <i>FLUIDEZ RECOMENDADA DEL MORTERO PARA DIVERSOS TIPOS DE ESTRUCTURA Y CONDICIONES DE COLOCACIÓN</i>	17
TABLA 5 <i>DIMENSIONES DE PANELES</i>	42
TABLA 6 <i>ESFUERZO – DEFORMACIÓN UNITARIA DEL LADRILLO BASE</i>	56
TABLA 7 <i>ESFUERZO – DEFORMACIÓN UNITARIA DEL LADRILLO EXPUESTO AL FUEGO A 5 MINUTOS</i>	57
TABLA 8 <i>ESFUERZO – DEFORMACIÓN UNITARIA DEL LADRILLO EXPUESTO AL FUEGO A 10 MINUTOS</i>	58
TABLA 9 <i>ESFUERZO – DEFORMACIÓN UNITARIA DEL LADRILLO EXPUESTO AL FUEGO A 15 MINUTOS</i>	59
TABLA 10 <i>ESFUERZO – DEFORMACIÓN UNITARIA DEL LADRILLO EXPUESTO AL FUEGO A 0, 5, 10 Y 15 MINUTOS</i>	60
TABLA 11 <i>ESFUERZO-DEFORMACIÓN UNITARIA DE CUBO MORTERO BASE</i>	62
TABLA 12 <i>ESFUERZO-DEFORMACIÓN UNITARIA A CUBO MORTERO EXPUESTO AL FUEGO A 5 MINUTOS</i>	62
TABLA 13 <i>ESFUERZO-DEFORMACIÓN UNITARIA A CUBO MORTERO EXPUESTO AL FUEGO A 10 MINUTOS</i>	63
TABLA 14 <i>ESFUERZO-DEFORMACIÓN UNITARIA A CUBO MORTERO EXPUESTO AL FUEGO A 15 MINUTOS</i>	64
TABLA 15 <i>ESFUERZO-DEFORMACIÓN UNITARIA A CUBO MORTERO EXPUESTO AL FUEGO A 0, 5, 10 Y 15 MINUTOS</i>	65
TABLA 16 <i>ESFUERZO-DEFORMACIÓN UNITARIA AL MODELO TIPO TRÍO BASE</i>	67
TABLA 17 <i>ESFUERZO-DEFORMACIÓN UNITARIA AL MODELO TIPO TRÍO EXPUESTO AL FUEGO A 5 MINUTOS</i>	68
TABLA 18 <i>GASES EMITIDOS POR LOS PANELES</i>	69
TABLA 19 <i>TRASMISIÓN DE CALOR EN EL PANEL DE MANERA DIRECTA E INDIRECTA</i>	70
TABLA 20 <i>ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGUETAS</i>	74

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 PROPIEDADES FÍSICAS Y MATERIALES. TRANSMISIÓN DEL CALOR - MAMPOSTERÍA CON PERFORACIÓN HORIZONTAL.....	4
FIGURA 2 TETRAEDRO DE FUEGO	9
FIGURA 3 ETAPAS PRINCIPALES DEL INCENDIO REAL	10
FIGURA 4. EQUIPO DE MEDIDOR DE GASES	11
FIGURA 5 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LA MAMPOSTERÍA CON PERFORACIÓN HORIZONTAL.....	18
FIGURA 6 TIPO DE LADRILLOS	20
FIGURA 7 DETALLE TÉCNICO DE LA MAMPOSTERÍA CON PERFORACIÓN HORIZONTAL	20
FIGURA 8 DISPOSITIVO EXPERIMENTAL DE LA PLACA TÉRMICA PARA MEDIR CONDUCTIVIDAD.....	23
FIGURA 9 PRENSA JAPONESA SHIMADZU CONCRETO 2000X	25
FIGURA 10 PRENSA DE COMPRESIÓN DE BAJA CAPACIDAD	25
FIGURA 11 TIPOS DE FALLA DE MAMPOSTERÍA.....	27
FIGURA 12 PRENSA DE COMPRESIÓN DE MURETES	27
FIGURA 13 SELECCIÓN DE MATERIA PRIMA	31
FIGURA 14 TRANSPORTACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	32
FIGURA 15 MEZCLA DE MATERIAL EN TOLVA.....	32
FIGURA 16 BARRA TRANSPORTADORA Y MOLINO	33
FIGURA 17 PREPARACIÓN DE LA MEZCLA.....	33
FIGURA 18 MOLDEADO.....	34
FIGURA 19 CORTADORA	34
FIGURA 20 SECADO DEL LADRILLO	35
FIGURA 21 HORNO INTERNO Y LA LEÑA	35
FIGURA 22 HORNEADO DE LADRILLO	36
FIGURA 23 LADRILLOS EN MAL ESTADO.....	36
FIGURA 24 ALMACENADO.....	37
FIGURA 25 MEZCLA DE MATERIALES GRANULARES CON AGUA	37
FIGURA 26 MOLDES DE COBRE SIN ARMAR	38
FIGURA 27 PREPARACIÓN DE LOS MOLDES.....	38
FIGURA 28 MOLDES DE COBRE.....	39
FIGURA 29 MOLDES DE COBRE.....	39
FIGURA 30 SECADO DE LAS MUESTRAS.....	40
FIGURA 31 DESENCOFRADAS Y CURADAS.....	40
FIGURA 32 PROBETAS SOMETIDAS A ENSAYOS POR COMPRESIÓN	41
FIGURA 33 PROBETAS CON FORMA DE VIGUETA SOMETIDAS A ENSAYOS POR FLEXIÓN	42
FIGURA 34 ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL	43
FIGURA 35 PANELES DESPUÉS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL	43
FIGURA 36 SELECCIÓN DE LADRILLOS PARA PRUEBA DE ADHERENCIA	44

FIGURA 37 LADRILLOS SUMERGIDOS AL AGUA	44
FIGURA 38 LADRILLOS ADHERIDOS CON MORTERO	45
FIGURA 39 CODIFICACIÓN DE LOS LADRILLOS	45
FIGURA 40 RESULTADO DE ENSAYO DE ADHERENCIA SOMETIDO AL FUEGO DURANTE 5 MINUTOS.....	46
FIGURA 41 RESULTADO DE ENSAYO DE ADHERENCIA SOMETIDO AL FUEGO DURANTE 10 MINUTOS.....	46
FIGURA 42 RESULTADO DE ENSAYO DE ADHERENCIA SOMETIDO AL FUEGO DURANTE 15 MINUTOS.....	47
FIGURA 43 TIEMPO-TEMPERATURA 5MIN	48
FIGURA 44 TIEMPO-TEMPERATURA 10MIN	49
FIGURA 45 TIEMPO-TEMPERATURA 15MIN	50
FIGURA 46 TIEMPO-TEMPERATURA 5, 10 Y 15MIN	51
FIGURA 47 FUERZA (kN)-DEFORMACIÓN (MIN) A PANEL BASE	53
FIGURA 48 FUERZA (kN)-DEFORMACIÓN (MIN) A PANEL EXPUESTO AL FUEGO A 5 MINUTOS	54
FIGURA 49 FUERZA (kN)-DEFORMACIÓN (MIN) A PANEL EXPUESTO AL FUEGO A 10 MINUTOS	55
FIGURA 50 FUERZA (kN)-DEFORMACIÓN (MIN) A PANEL EXPUESTO AL FUEGO A 15 MINUTOS	56
FIGURA 51 ESFUERZO – DEFORMACIÓN UNITARIA DEL LADRILLO BASE.....	57
FIGURA 52 ESFUERZO – DEFORMACIÓN UNITARIA DEL LADRILLO EXPUESTO AL FUEGO A 5 MINUTOS	58
FIGURA 53 ESFUERZO – DEFORMACIÓN UNITARIA DEL LADRILLO EXPUESTO AL FUEGO A 10 MINUTOS	59
FIGURA 54 ESFUERZO – DEFORMACIÓN UNITARIA DEL LADRILLO EXPUESTO AL FUEGO A 15 MINUTOS	60
FIGURA 55 ESFUERZO – DEFORMACIÓN UNITARIA DEL LADRILLO EXPUESTO AL FUEGO A 0, 5, 10 Y 15 MINUTOS.....	61
FIGURA 56 ESFUERZO-DEFORMACIÓN UNITARIA DE CUBO MORTERO BASE	62
FIGURA 57 ESFUERZO-DEFORMACIÓN UNITARIA A CUBO MORTERO EXPUESTO AL FUEGO A 5 MINUTOS	63
FIGURA 58 ESFUERZO-DEFORMACIÓN UNITARIA A CUBO MORTERO EXPUESTO AL FUEGO A 10 MINUTOS	64
FIGURA 59 ESFUERZO-DEFORMACIÓN UNITARIA A CUBO MORTERO EXPUESTO AL FUEGO A 15 MINUTOS	65
FIGURA 60 ESFUERZO-DEFORMACIÓN UNITARIA A CUBO MORTERO EXPUESTO AL FUEGO A 0, 5, 10 Y 15 MINUTOS.....	66
FIGURA 61 ESFUERZO-DEFORMACIÓN UNITARIA AL MODELO TIPO TRÍO BASE.....	67
FIGURA 62 ESFUERZO-DEFORMACIÓN UNITARIA AL MODELO TIPO TRÍO EXPUESTO AL FUEGO A 5 MINUTOS	68
FIGURA 63 TRASMISIÓN DE CALOR.....	70
FIGURA 64 TRANSMISIÓN DE CALOR DEL PANEL EXPUESTO AL FUEGO DURANTE 5 MINUTOS	71
FIGURA 65 TRANSMISIÓN DE CALOR DEL PANEL EXPUESTO AL FUEGO DURANTE 10 MINUTOS	71
FIGURA 66 TRANSMISIÓN DE CALOR DEL PANEL EXPUESTO AL FUEGO DURANTE 15 MINUTOS	72
FIGURA 67 ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGUETAS.....	75

1. CAPÍTULO I. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

En la actualidad, la mampostería con perforación horizontal es uno de los materiales usados a gran escala en la construcción debido a su resistencia y durabilidad. Sin embargo, existe una falta de conocimiento sobre cómo este material se comporta bajo diferentes condiciones térmicas específicamente a altas temperaturas. Es crucial entender cómo las variaciones de calor pueden afectar la mecánica de la mampostería y propiedades físicas con perforación horizontal, con el fin de garantizar la calidad en la construcción de muros seguros y duraderos.

Rara vez se tiene en cuenta la seguridad contra incendios en la construcción de edificios. Sin embargo, de acuerdo con la Cámara Industrial de Cerámica Roja según Tamayo (2020), representa un aspecto muy importante de la industria de la construcción.

La presente investigación tiene como objetivo analizar de manera general las propiedades físicas y mecánicas de la integridad Estructural de un Muro construido con Mampostería con perforación horizontal cuando se somete a diferentes temperaturas. Para lograrlo, se llevará a cabo un estudio experimental utilizando muestras de la mampostería con perforación horizontal sometidas a altas temperaturas controladas a diferentes tiempos.

Esto se logrará mediante la revisión bibliográfica detallada para conocer el estado actual de conocimiento sobre el comportamiento de muros construidos con mampostería con perforación horizontal a temperaturas extremas. Esto permitirá establecer una base sólida para desarrollar el estudio experimental, donde se diseñará y ejecutará una serie de ensayos de laboratorio, sometiendo las muestras de la mampostería con perforación horizontal a temperaturas variables.

Durante estos ensayos, se medirán y registrarán diversas propiedades mecánicas y físicas, como la resistencia a la compresión, ensayos para determinar la resistencia a flexión, para determinar la adherencia, para determinar la transmisión de calor, además de la evaluación de la generación de gases tóxicos al momento de la exposición al fuego.

Dado que se trata de un análisis estadístico de comportamiento sometido a altas temperaturas, se evaluarán los resultados obtenidos en los muros construidos con mampostería con perforación horizontal para determinar cómo varían estas propiedades en función de la temperatura, considerando su aplicación en situaciones reales de construcción. Teniendo como perspectiva, la intención de esta investigación es aportar al conocimiento sobre el

comportamiento de los materiales de construcción sometidos al calor, de manera que proporcione pautas prácticas para su uso adecuado en condiciones de temperatura variables.

1.2. Antecedentes

1.2.1. Internacionales

Menegon et al. (2020) publicaron un artículo en México sobre “Paredes de albañilería estructural expuestas a altas temperaturas con medidas de control de dilatación”, cuyo objetivo fue evaluar el comportamiento de paredes de bloques estructurales cerámicos a altas temperaturas. La metodología que se empleó en este estudio fue un diseño experimental en donde utilizaron bloques de 14 y 19 cm de ancho, además con resistencias de 7 y 10 MPa, a fin de evaluar los espesores de las juntas, el mortero y el revestimiento del bloque al exponerlo en altas temperaturas. Los resultados mostraron que las muestras de los bloques presentaron una buena resistencia mecánica, un buen aislamiento y estanquidad; sin embargo, la restricción lateral no generó descascaramiento de los bloques. Se concluye que, la mampostería de 19 cm de ancho con revestimiento mostró un mayor desempeño térmico.

Torres et al. (2018) realizaron un estudio en Venezuela titulado: “Estudio de propiedades mecánicas del concreto sometido a los efectos de altas temperaturas”, el cual pretende evaluar las propiedades del concreto al ser sometidos a altas temperaturas. La metodología empleada está basada en la elaboración de mezclas de concreto con resistencia a compresión de 180, 210, 250 y 300 kg/cm² alcanzadas a los 28 días. Los resultados reportaron que el concreto al ser sometido a altas temperaturas (100, 200 y 300° C) muestra un buen comportamiento; asimismo, al alcanzar temperaturas de 400 y 500° C el concreto con reparaciones puede ser reutilizado; no obstante, al llegar a temperaturas de 600 y 700° C la estructura es inestable, por tanto, es necesario una demolición.

Asimismo, Covarruvias (2017) publicó una investigación titulada: “Comportamiento estructural analítico de muros de mampostería sometidos a altas temperaturas”, cuyo objetivo fue identificar el comportamiento estructural y térmico de la mampostería al ser sometidos a altas temperaturas. La metodología que se utilizó para observar los resultados deseados fue a través del Método del Elemento Finito (MEF), el cual permite determinar las deformaciones que se generan en el muro de mampostería. Se puede concluir que según el modelo analítico térmico se observaron deformaciones térmicas y degradación de los materiales por altas temperaturas. Por otro lado, en el modelo estructural se apreció un comportamiento no lineal y

alta plasticidad. Y de acuerdo con el desempeño del modelo acoplado se visualizó resistencia de compresión, eventos de plasticidad y patrones de deformación.

1.2.2. Nacionales

Un estudio realizado por Barreiro (2023) en Portoviejo, cuyo título es “Puesta en valor del ladrillo artesanal fabricado en la ciudad de Santa Ana de vuelta larga, provincia de Manabí”, tiene como objetivo principal determinar las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo artesanal mediante ensayos de resistencia a la compresión y absorción de humedad. La metodología que empleó es una investigación de campo, experimental y de laboratorio, se adquirieron 50 ladrillos, de los cuales, la mitad se utilizaron para los ensayos de resistencia a la compresión y el restante para la absorción de la humedad, la técnica utilizada fue la observación. Los resultados demostraron que los ladrillos artesanales no cumplen con las normas, ya que superan los valores para la absorción del agua; no obstante, en cuanto a la resistencia de compresión superan la resistencia mínima por la norma Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) 3049-5.

De acuerdo con Romero (2021) realizó un estudio titulado: “Determinación de la resistencia a compresión de ladrillos macizos fabricados con diferentes tipos de arcilla del cantón Pastaza y su comparación con el ladrillo común”, cuyo objetivo fue determinar las propiedades mecánicas y físicas a través de ensayos de resistencia a la compresión, a la flexión y de absorción de humedad de los ladrillos macizos artesanales. La metodología que se empleó fue una investigación experimental y de laboratorio en base a un enfoque cuantitativo, que consistió en la elaboración de lotes de ladrillos de arcilla. Se realizaron 80 ensayos cuyo resultado mostró que el suelo del cantón Pastaza es muy efectivo para la fabricación de los ladrillos, considerando que, existe una correlación entre la resistencia a la compresión y el módulo de finura, asimismo, hubo correlación entre la resistencia a la flexión y el módulo de finura.

Por otro lado, Cárdenas (2019) publicó un proyecto en la ciudad de Cuenca que lleva de título: “Comportamiento térmico de envolventes multicapa basados en ladrillo”, el cual pretende establecer varios tipos de envolventes multicapa que determinen un adecuado aislamiento térmico. La metodología se basó en una investigación experimental con enfoque cuantitativo, para ello, diseñaron prototipos para ser comparados con tres tipologías de envolventes (A, B, C). Los resultados indicaron un descenso en la temperatura de las tres tipologías cuando las precipitaciones alcanzan su mayor pico de 5mm, lo mismo sucede con la radiación y el viento;

además, cuando la lluvia es menor a 1mm no existen influencia en el comportamiento térmico; sin embargo, al momento de sobrepasar ya existe una variación considerable.

1.3. Formulación del problema

El problema que se pretende abordar en la presente propuesta es conocer el impacto que causa el cambio de las condiciones térmicas, específicamente altas temperaturas en las propiedades físicas y mecánicas en la integridad de la mampostería con perforación horizontal para construcción de muros (ver Figura 1).

Figura 1

Propiedades físicas y materiales. Transmisión del calor - mampostería con perforación horizontal



Nota. Tomado de Aguirre et al. (2022)

Tomando en consideración que, el uso del ladrillo cerámico o bloque de arcilla cocida es muy utilizado en la ciudad de Cuenca desde la primera mitad del siglo XVIII en la construcción de sus edificaciones de tipo residencial; sin embargo, este material es vulnerable debido a sus propiedades inherentes, ya sea por las características físicas, como la composición mineralógica de la materia prima, la temperatura de cocción u otros factores que incluyen la composición del mortero. Esto resulta en un aumento de las variables de transformación. Como se ha vuelto cada vez más evidente, esta situación ha sido ampliamente abordada a nivel internacional, estableciendo la caracterización de materiales como un campo científico con un gran desarrollo. Aunque aún presenta dificultades, es útil para comprender ciertas transformaciones del material y proporcionar respuestas para reducir dichas transformaciones (Sanmartín y Tuba, 2014).

Por otro lado, Aguirre et al. (2022) en su artículo, manifiestan que el ladrillo artesanal en la ciudad de Cuenca a partir del 2008 se ha incrementado en la utilización de la mampostería con perforación horizontal hasta llegar a la relación 60-40 en comparación al panelón.

Asimismo, Cárdenas (2019) informa que las estadísticas reportadas por Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) en el 2017, muestran que un 67,48% de las viviendas aún se construyen sus paredes exteriores con ladrillo. Según Feijoo et al. (2022), esto se debe probablemente a su forma regular y su fácil manejo; no obstante, se conoce que la durabilidad y fuerza de los ladrillos se ven afectadas por la porosidad y el tamaño de sus poros, ya que estos factores los hacen más propensos a sufrir daños debido a la cristalización de sales y a los ciclos de congelación y descongelación.

De acuerdo con el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE, 2018), se han notificado 1510 incendios estructurales en diferentes provincias a nivel nacional, siendo una de las causas principales, la negligencia y descuidos de parte de los ciudadanos.

A partir de esta problemática, se pretende conocer el comportamiento de la integridad del muro de la mampostería con perforación horizontal, luego de haber sufrido un incendio. Considerando que, es poca la información acerca de cómo las variaciones térmicas afectan las propiedades físicas y mecánicas de muro de mampostería con perforación horizontal, cuando es sometido a un incendio, siendo estos eventos en el que se produce fuego no controlado, por lo que puede tener grandes consecuencias, ya que representan un riesgo no solo para la estructura sino también para los residentes, de aquí la importancia de esta investigación para poder observar y registrar la variabilidad que sufre estas propiedades como lo son la resistencia y dimensiones del mismo.

1.4. Justificación

El estudio del comportamiento de las propiedades físicas – mecánicas es de vital importancia en el campo de la ingeniería, puesto que permite identificar su respuesta ante la variación de altas temperaturas, lo que puede ocasionar conmutación en su resistencia a compresión y conductividad térmica, así como en las dimensiones y formas que pueden influir en la integridad de construcción de muros. Esto ayuda a definir las características necesarias para garantizar las condiciones que debe tener para ser parte de una edificación.

Por otro lado, la seguridad es fundamental en la construcción de estructuras y para ello es necesario que los materiales a utilizar sean capaces de resistir condiciones extremas que se producen durante un incendio, Por lo tanto, si no se realiza una correcta evaluación podría haber riesgo de colapso o daños estructurales significativos durante un incendio u otra situación donde se genera altas temperaturas. Estos factores inciden directamente en el período de vida útil de la estructura.

Con ello, es posible determinar cómo se comporta el muro de la mampostería con perforación horizontal ante temperaturas elevadas y, por lo tanto, desarrollar estrategias y ajustes de diseño para mejorar su rendimiento. Esto puede incluir la selección de materiales más resistentes al calor, cambios en la disposición de los ladrillos o adopción de sistemas constructivos alternativos.

Además de verificar las normativas y estándares de construcción las cuales exigen que las estructuras sean capaces de resistir condiciones de alta temperatura, evaluar la integridad estructural del muro de ladrillos permite verificar si cumple con dichos requisitos y, en caso contrario, tomar medidas correctivas para ajustarse a la normativa vigente.

1.5. Objetivos

1.5.1. *Objetivo General*

Analizar las propiedades físicas-mecánicas de la mampostería con perforación horizontal sometido a altas temperaturas en diferentes tiempos de exposición para evaluar el comportamiento estructural.

1.5.2. *Objetivos Específicos*

- Analizar las características de la resistencia física-mecánica de la mampostería con perforación horizontal expuestos al fuego a varias temperaturas y diferentes tiempos de exposición.
- Determinar la prueba de adherencia al exponerla al fuego en diferentes tiempos y temperaturas.
- Evaluar la transmisión de calor de los paneles y la formación de gases tóxicos (monóxido de carbono) que puede emanar al momento de someterlos al fuego.

2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Dinámica del fuego

2.1.1. Definición del fuego

Para Arce (2008), el fuego está definido como “una reacción química que consiste en la oxidación violenta del material combustible al contacto con el oxígeno del aire. Se manifiesta con el desprendimiento de energía luminosa, calorífica, emisión de humos y gases” (p. 119). No obstante, a pesar de los grandes avances en la ciencia del fuego, todavía no existe un consenso para puntualizar el fuego en las principales normas internacionales vigentes.

Por otro lado, de acuerdo con la Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la madera (2014) explica que el fuego es la luz y el calor producidos por la combustión de manera coloquial, pero en términos químicos es la reacción de oxidación con liberación de calor. La inflamación se produce por la formación de llamas debido a la emisión de gases al entrar en contacto con el aire, y la ignición es el proceso que inicia la combustión, el cual depende de factores como la densidad, dimensiones, forma, humedad, velocidad e intensidad del calentamiento, así como el suministro y la velocidad del aire.

2.1.2. Clasificación del fuego

El fuego puede ser clasificado según el estado físico del combustible presente en una edificación durante un incendio. Durante la duración del incendio, pueden presentarse uno o más tipos de fuego:

- Fuego tipo A. Su pictograma es un triángulo con la letra "A". Se refiere a los combustibles sólidos que generan ceniza, como la madera, el caucho, la pólvora, los plásticos, el papel, las telas, entre otros.
- Fuego tipo B. Su pictograma es un cuadrado con la letra "B". Corresponde a los derivados de los combustibles fósiles, como los líquidos inflamables del petróleo y sus derivados, así como los alcoholes y los gases inflamables.
- Fuego tipo C. Su pictograma es un círculo con la letra "C". Se produce por objetos eléctricos y energizados, como motores, tableros, instalaciones eléctricas y electrodomésticos que funcionan con corriente continua o tienen baterías.

- Fuego tipo D: Su pictograma es una estrella con la letra "D". Se genera por metales incandescentes que contienen altas concentraciones de magnesio, sodio, aluminio, potasio, entre otros.
- Fuego tipo K: Su pictograma es un hexágono con la letra "K". Son los derivados de los aceites animales y vegetales, siendo comunes en las cocinas comerciales donde se utilizan grasas y aceites de origen animal o vegetal (**Urrego, 2021**).

2.1.3. *El Humo*

El inicio de esta sección se produce cuando ciertas partículas carbonosas suspendidas en el aire provienen de una combustión incompleta del combustible. El humo está compuesto por partículas sólidas y/o líquidas visibles en suspensión en el aire. Esto ocurre como consecuencia de una combustión incompleta y/o pirólisis. Es frecuente que el humo de los incendios contenga partículas de carbón no quemadas que son transportadas por las corrientes de aire. El humo se comporta como un fluido (Dueñas et al., 2010).

Según el reporte de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2023) el humo causado por incendios está compuesto por “dióxido de carbono, vapor de agua, monóxido de carbono, partículas, hidrocarburos y otros químicos orgánicos, óxidos de nitrógeno, y oligoelementos” (párr. 3).

2.1.4. *Tetraedro del fuego*

Arce (2008) señala que inicialmente se creó una teoría denominada el Triángulo del Fuego, que estaba compuesta por tres elementos fundamentales: el combustible, el oxidante (oxígeno) y el calor (ver Tabla 1). De acuerdo con esta teoría, la extinción del fuego se lograría al eliminar cualquiera de estos elementos del triángulo. No obstante, con el paso del tiempo, esta teoría ha experimentado cambios y evoluciones.

Tabla 1*Tetraedro del fuego*

Componente	Forma de extinción	Definición
Calor	Enfriamiento	Aplicación de un agente como el agua que absorbe energía calórica para reducir o detener la combustión
Combustible	Segregación	Retirar o cortar el paso de combustible durante la combustión o dejar que se queme hasta que se agote el combustible
Comburente	Sofocación	Bajar la concentración del comburente del lugar de la combustión mediante la aplicación de un gas más pesado que el aire o generación de vapor de agua.
Reacción en cadena	Inhibición	Detener la reacción o quitarle energía para que no continúe por el material aplicando inhibidores como el Polvo Químico Seco.

Nota. Tomado de Academia Nacional de Bomberos de Chile (2016)

La teoría experimentó cambios con la llegada del agente extintor "halon", y en la actualidad se denomina el Tetraedro del Fuego (ver Figura 2). A su vez, el Tetraedro del Fuego está compuesto por los elementos de calor, oxidante, combustible y la reacción en cadena.

Figura 2*Tetraedro de fuego*

Nota. Tomado de Arce (2008)

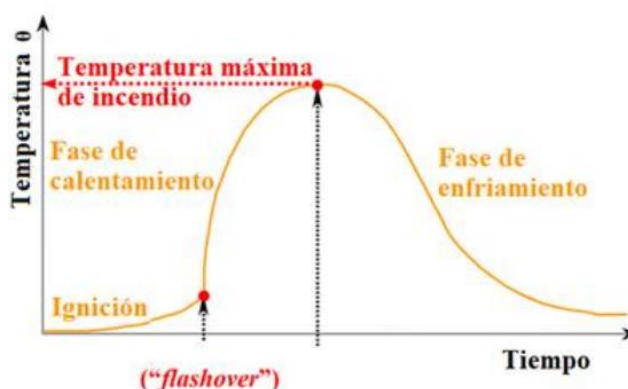
2.1.5. Etapas principales del incendio real

Arce (2008) explica que, en términos generales, la curva que muestra la variación de temperatura en un incendio real se caracteriza por dos ramas distintas (una ascendente y una descendente) que definen tres etapas, marcadas por dos puntos (ver Figura 3): ignición, flashover y temperatura máxima. A continuación, se describen estas tres etapas.

- **Ignición:** esta etapa corresponde al inicio del calentamiento del incendio, donde la temperatura aumenta gradualmente. Durante esta etapa, el entorno circundante no se ve afectado de manera significativa y no hay riesgo para la vida humana ni para el colapso estructural. También se conoce como pre-flashover y concluye en el momento conocido como flashover.
- **Flashover:** esta etapa se caracteriza por un cambio abrupto y acelerado en el aumento de la temperatura. Durante esta etapa, todo el material combustible presente en el entorno se incendia. La temperatura de los gases calientes supera los 300 °C y puede alcanzar temperaturas superiores a los 1000 °C.
- **Enfriamiento:** esta etapa representa la reducción gradual de la temperatura de los gases en el entorno después de que todo el material combustible ha sido completamente extinguido. Sin nuevas fuentes de fuego que alimenten las llamas, se produce una pérdida de calor y, por lo tanto, un enfriamiento gradual de la estructura.

Figura 3

Etapas principales del incendio real



Nota. Tomado de Arce (2008)

En términos generales, la simulación de un incendio real o natural en un muro de mampostería es un procedimiento complicado y muy singular, puesto que cada incendio tiene atributos

particulares, como la temperatura máxima alcanzada, la duración del evento y la velocidad de calentamiento.

2.1.6. Emisiones de monóxido de carbono

El monóxido de carbono (CO) es un gas que carece de olor, color y sabor, lo que lo hace indetectable para los sentidos del ser humano. A veces se le conoce como el "asesino silencioso", puesto que solo puede ser descubierto con un dispositivo especial (ver Figura 4). Este gas se produce por una mala combustión de materiales fósiles en calentadores, hornos, automóviles, calderas y chimeneas. Además, cuando un individuo inhala CO, las moléculas de CO ingresan al organismo (pulmones) y se transportan al torrente sanguíneo, generando escases de oxígeno en el cerebro (ver Tabla 2). Debido a esto, el CO es clasificado como un gas altamente tóxico en elevadas proporciones. Cabe destacar que, la concentración de CO se mide en partes por millón (ppm) (Vega et al., 2017).

Figura 4.

Equipo de medidor de gases



Nota. Elaborada por el Autor

De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, existe una norma federal que regula la calidad de aire en el ambiente con relación al CO, determinando un límite aceptable de 9 ppm en un lapso de 8 horas o 25 ppm a una hora. Por otro lado, la Comisión de Seguridad de Productos del Consumidor de los Estados Unidos expone que la exposición al

CO no debería sobrepasar del 15 ppm en un tiempo de 8 horas, mientras que para una hora el límite máximo es de 25 ppm (Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, 1996).

Tabla 2

Concentraciones de CO y efecto en el ser humano

Concentración CO (ppm)	Efectos
50	Nivel de exposición admisible durante 8 horas
200	Dolor de cabeza moderado después de 2 horas.
400	Dolor de cabeza y náuseas después de 1 o 2 horas
800	Dolor de cabeza, mareos y náuseas después de 45 minutos. Descompensación y riesgo de muerte después de 2 horas.
1600	Dolor de cabeza, mareos y náuseas después de 20 minutos. Descompensación y riesgo de muerte después de 1 hora
3200	Dolor de cabeza y mareos después de 5 a 10 minutos. Pérdida de conciencia y riesgo de muerte después de 30 minutos.
6400	Dolor de cabeza y mareos después de 1 a 2 minutos. Pérdida de conciencia y riesgo de muerte después de 10 a 15 minutos.
12800	Efectos inmediatos, pérdida de conciencia. Riesgo de muerte después de 1 a 3 minutos.

Nota. Tomado de Acurio (2024)

2.2. Muros estructurales en mampostería

2.2.1. Definición de la mampostería

Para Quinde et al. (2023) el panel de mampostería se compone de las unidades de mampostería y el mortero de unión, siendo esta la parte del muro de mampostería confinada (MC) que principalmente favorece a resistir la acción sísmica. Por esta razón, las normativas regulan estrictamente sus propiedades y controlan su calidad.

Un muro de MC se compone principalmente de una estructura de ladrillos o bloques rodeada por elementos delgados de concreto reforzado. Estos elementos de concreto se colocan alrededor del perímetro del muro después de construirlo. Los paneles de mampostería suelen estar hechos de ladrillos o bloques huecos de arcilla o concreto, unidos con mortero de cemento. Los elementos verticales de confinamiento se llaman machones, mientras que los elementos horizontales se conocen como vigas de corona. Estos elementos tienen secciones transversales similares al espesor del muro de mampostería (Marinilli y Castilla, 2007).

2.2.2. Clasificación de la mampostería

Para Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI, 2014) los tipos de muros de mampostería son los siguientes:

- **Mampostería reforzada:** Se refiere a una estructura compuesta por piezas de mampostería unidas con mortero, pero reforzada internamente mediante barras y alambres de acero. El mortero de relleno puede ser aplicado en todas las celdas verticales o solo en aquellas donde se encuentre el refuerzo.
- **Mampostería parcialmente reforzada:** Consiste en una estructura formada por piezas de mampostería unidas con mortero y reforzada internamente mediante barras y alambres de acero.
- **Mampostería simple (No reforzada):** Se trata de una estructura constituida por piezas de mampostería unidas con mortero, que no cumple con los requisitos mínimos de refuerzo establecidos para la mampostería parcialmente reforzada.
- **Mampostería de muros confinados:** Es una estructura formada por piezas de mampostería unidas con mortero y reforzada principalmente mediante elementos de concreto reforzado construidos alrededor del muro o con piezas especiales de mampostería donde se vierte hormigón de relleno para lograr un confinamiento de la mampostería. Estas piezas especiales pueden considerarse parte del recubrimiento de los elementos de concreto reforzado.

Por otro lado, Quinde et al. (2023) mencionan que las unidades de mampostería se dividen en dos categorías: sólidas o macizas, y huecas o perforadas, y se subcategorizan según su material (por ejemplo, arcilla, hormigón) o su método de fabricación (por ejemplo, artesanal o industrial).

2.3. Mortero

2.3.1. Definición de mortero

Para Salvatierra y Valle (2021), el mortero está definido como “una mezcla de agregado mineral, agregado fino, agua y ciertos aditivos. Es muy común en el uso de pegante para diferentes elementos de la construcción como son piedras, ladrillos bloques o simplemente para rellenar espacios y enlucir” (p. 151).

Por otro lado, Cañarte et al. (2023) manifiestan que el mortero es un material de construcción compuesto principalmente por una mezcla de cemento, arena fina y posiblemente otro agente conglomerante que, al mezclarse con agua, reacciona y adquiere resistencia. Al mezclar estos materiales crea un producto que fragua y se endurece mediante procesos físico-químicos, obteniendo una consistencia similar a la piedra.

2.3.2. *Propiedades del mortero*

Las características del mortero en su estado fresco abarcan retención de agua, tiempo abierto, cohesividad, adherencia, tixotropía, docilidad, rendimiento, ausencia de segregación y exudación. Por otro lado, en su estado endurecido, el mortero presenta propiedades como resistencia a la compresión, resistencia a la flexotracción, resistencia a las heladas, durabilidad, impermeabilidad, ausencia de eflorescencias, textura superficial y ausencia de fisuras (Ávila et al., 2019).

Cabe destacar que, la trabajabilidad es esencial en el mortero, ya que facilita las tareas de mezclado y colocación sin segregación. Uno de los aspectos fundamentales de la trabajabilidad es la consistencia, la cual puede clasificarse en tres tipos: seca, plástica y fluida. Además, es vital que el mortero mantenga su estado plástico durante el tiempo de colocación de las unidades de mampostería (Navas y Arias, 2015).

El agua, el tipo y la graduación de los agregados, el contenido de cemento y la inclusión de aditivos son factores determinantes que influyen en la consistencia del mortero y deben ser considerados (Salvatierra y Valle, 2021).

2.3.3. *Tipos de morteros*

El mortero tipo portland es una mezcla que incluye un aglutinante, un material de relleno fino, agua y posiblemente aditivos. Al endurecerse, este mortero presenta propiedades químicas, físicas y mecánicas similares a las del concreto. Además, el mortero natural está definido como una combinación homogénea compuesta por materiales alternativos, agregado (material cerámico molido - puzolana), cementante (cal), aditivo (yeso) y agua (Patiño et al., 2018).

2.3.4. *Materiales del mortero*

Una de las características más sobresalientes de esta mezcla es su habilidad para fraguar y endurecer fácilmente en presencia de aire, como consecuencia de la combinación de uno o varios aglutinantes, agregados finos, agua y, si es necesario, aditivos (Salvatierra y Valle, 2021).

- Módulo de finura de arena. El promedio del árido se obtiene sumando el porcentaje retenido en los tamices estándar y dividiendo la suma entre 100, de acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo de granulometría.
- Aglomerante. Es el tipo de cemento Portland de uso general.

- Agregado fino. Es la arena de clasificación general.
- Agua. El agua es de origen potable a una temperatura de 25° C.
- Aditivo. El aditivo puede ser cualquier elemento que se necesite para alcanzar la consistencia y plasticidad deseada.

2.3.5. Clasificación del mortero según sus propiedades

La relevancia de la clasificación según las propiedades es más significativa para los morteros empleados en pruebas de laboratorio que para los morteros utilizados en obra. La clasificación basada en proporciones utiliza los pesos unitarios de los materiales a emplear en el mortero. En la Tabla 3 se observa la clasificación de los morteros y sus propiedades físicas comunes (Calle, 2018).

Tabla 3

Clasificación de morteros según sus propiedades, usados para pruebas de laboratorio

Mortero	Tipo de mortero	Resistencia promedio a la compresión a 28 días, Kg/Cm ² (MPa)	Retención mínima de agua, %	Contenido máximo de aire, %	Relación de agregados (medidos en condición húmeda y suelta)
Cemento y cal	M	17.2	75	12	No menos que 2¼ y no más que 3½ veces los volúmenes separados de materiales cementantes
	S	12.4	75	12	
	N	5.2	75	14 ^C	
	O	2.4	75	14 ^C	
Cemento para mortero	M	17.2	75	12	
	S	12.4	75	12	
	N	5.2	75	14	
	O	2.4	75	14	
Cemento para mampostería	M	17.2	75	18	
	S	12.4	75	18	
	N	5.2	75	20	
	O	2.4	75	20	

Nota. Datos tomados de Salamanca (2001)

Es necesario profundizar en la clasificación de los morteros utilizando las letras "M", "N", "O" y "S", a pesar de que ya se haya mencionado la clasificación basada en propiedades o proporciones. Estos tipos de mortero tienen diversas características que los diferencian entre sí. A continuación, se detallarán algunas de las características más relevantes, según el estudio de Salamanca (2001):

Morteros tipo "M"

- Las combinaciones de estos morteros tienen una resistencia significativa.

- Más resistente en comparación con otros morteros.
- Es adecuado para la albañilería reforzada o sin refuerzo, pero sujeto a grandes cargas de compresión cuando se anticipen condiciones de congelamiento, altas cargas laterales de tierra, vientos fuertes y temblores.
- Es recomendable utilizar en estructuras en contacto con el suelo, por ejemplo, cimentaciones, muros de contención, aceras, tuberías de aguas negras, entre otros.

Morteros tipo “S”

- Los morteros presentan las mayores propiedades de adherencia en comparación con otros morteros.
- Buen rendimiento en estructuras sujetas a esfuerzos de compresión habituales y que requieren buena adherencia.
- Deben emplearse cuando el mortero sea el único medio que proporcione adherencia a la pared, por ejemplo, en el revestimiento de cerámica o baldosas de barro cocido.

Mortero tipo “N”

- Morteros de uso general, tienen un buen rendimiento en estructuras de albañilería a nivel del suelo.
- Excelente rendimiento para revestimientos de mampostería.
- Ofrece la combinación óptima de resistencia, facilidad de manejo y rentabilidad.

Mortero tipo “O”

- Tiene poca capacidad de resistencia a la compresión y un alto contenido de cal.
- Solo se emplearán en muros no estructurales y en acabados exteriores donde no haya riesgo de congelamiento.
- Alto rendimiento en casas de hasta 2 pisos.
- Es el material más utilizado en la industria de la construcción a nivel global.

2.3.6. Clasificación del mortero según el porcentaje de fluidez

La Tabla 4 exhibe la clasificación de los morteros según su fluidez en la prueba de consistencia con el plato de fluidez, lo que determina sus diferentes usos y condiciones de aplicación, desde proyección neumática hasta aplicación manual.

Tabla 4

Fluidez recomendada del mortero para diversos tipos de estructura y condiciones de colocación

Consistencia	Fluidez	Condición de colocación	Ejemplos de tipos de estructura	Ejemplo de sistema de colocación
Dura (seca)	80-100	Secciones sujetas a vibración	Reparaciones, recubrimientos de túneles, galerías, pantallas de cimentación, pisos	Proyección neumática, con vibradores de formaleta
Media (plástica)	100-120	Sin vibración	Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos	Manual con palas y palustres
Fluida (húmeda)	120-150	Sin vibración	Pañetes rellenos de mampostería estructural, morteros autonivelantes para pisos	Manual, bombeo, inyección

Nota. Datos tomados de Salamanca (2001)

La resistencia a la compresión del mortero se ve mayormente influenciada por la cantidad de cemento y la proporción de peso entre el agua libre (w) y el peso del cemento (c). De toda el agua utilizada en la preparación del mortero, parte se absorbe en los áridos, mientras que el resto se conoce como agua libre. Solo una cantidad específica de agua libre reacciona con el cemento, mientras que el exceso de agua no participa en la reacción y forma parte de la mezcla, evaporándose posteriormente y generando poros de aire. La resistencia del mortero disminuirá a medida que aumente la cantidad de agua que no se combina, pero si se utilizan relaciones agua/cemento demasiado bajas, la mezcla tiende a ser más seca y difícil de compactar, lo que produce porosidad y disminución de la resistencia (Ávila et al., 2019).

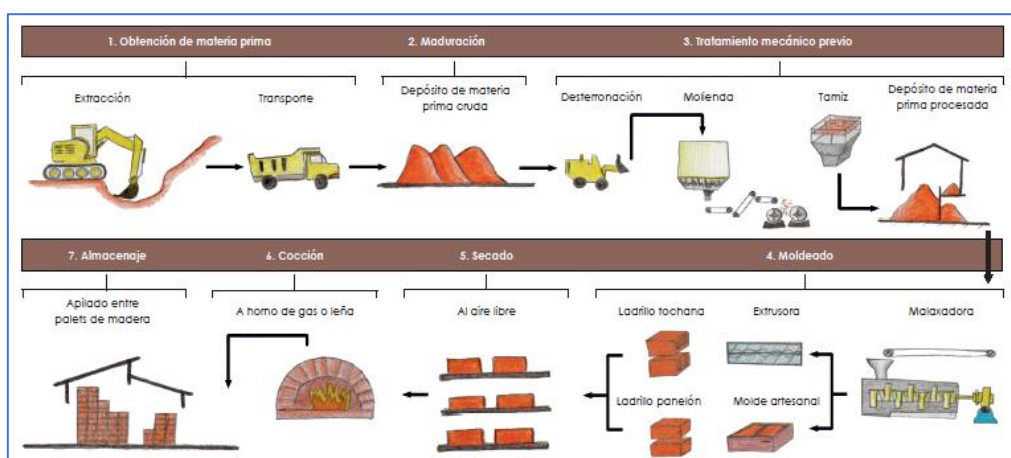
2.4. El Ladrillo

El ladrillo es el material de construcción con más antigüedad que ha sido elaborado o construido por el ser humano. En sus inicios, se fabricaba en su forma original, conocida como adobe. Su popularidad se debe a que los seres humanos le dieron dimensiones que se adaptaban a sus manos, utilizando materias primas disponibles en casi todas partes. Mediante el uso de elementos comunes como tierra, agua, aire (para el secado) y fuego (para la cocción), los seres humanos han logrado crear un material de construcción que ha demostrado ser eficaz a lo largo del tiempo, con muy pocos cambios tecnológicos (Huamani & Guerra, 2020).

Por otro lado, Averardo (2009) presenta una descripción del ladrillo como una "piedra artificial" que adquiere formas geométricas debido a la plasticidad de la arcilla utilizada como materia prima. Estos ladrillos obtienen una notable dureza y resistencia al ser moldeados con agua, secados y posteriormente sometidos a cocción (ver Figura 5). Como consecuencia, se originaron los ladrillos "vivos" comunes, los cuales son ampliamente reconocidos y populares en la actualidad. Cabe destacar que, el ladrillo de arcilla en temperatura ambiente se encuentra en $24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Guerrero et al., 2017).

Figura 5

Proceso de construcción de la mampostería con perforación horizontal



Nota. Tomado de Cárdenas (2019)

Cabe recalcar que, en la ciudad de Cuenca la mayoría de las edificaciones están construidas con ladrillo, y según INAMHI en 2017 el 67.48% de las viviendas contaban con ladrillo para sus fachadas, este estudio propone una comparación de dos tipologías de varios pisos a base de mampostería perforada horizontalmente en su estudio del comportamiento térmico de envolventes multicapa a base de ladrillo (Cárdenas, 2019).

Para obtener los ladrillos, se realiza la cocción de una mezcla de arcilla. El proceso de fabricación de los ladrillos consta de diferentes etapas, que incluyen la extracción y homogeneización de la arcilla, el moldeado, el secado y la cocción. Durante la etapa de cocción, las temperaturas pueden alcanzar los 1000°C , lo cual desencadena reacciones físicas y químicas en la arcilla, brindándole al ladrillo resistencia a la compresión, insolubilidad en agua y una porosidad limitada (Lucas, 2011).

2.5. Proceso de fabricación

De acuerdo con Pelchor y Ramón (2014) para la fabricación del ladrillo se requiere de ocho pasos, que se detallan a continuación:

1. **Selección de la materia:** En primer lugar, se realiza una separación manual de las piedras de la tierra para que pueda ingresar a la banda transportadora. Posteriormente, se mezclan diferentes tipos de tierra y se llevan en carretillas hasta la banda, que cumple la función de transportar la tierra hacia el proceso del molino.
2. **Trituración:** El molino se encarga de triturar la tierra o reducirla a pequeños fragmentos.
3. **Mezclado:** Después del proceso del molino, la materia prima se dirige hacia la batidora, donde se rompen los pedazos de tierra y se añade la cantidad necesaria de agua para homogeneizar la mezcla, preparándola para el proceso de extrusado.
4. **Moldeado:** Desde la batidora, la mezcla pasa a la extrusora, donde un sinfín empuja la materia prima para darle la forma requerida según los diferentes moldes.
5. **Cortado:** Una vez adquirida la forma del ladrillo de acuerdo con los moldes, se transportan por rodillos para el proceso de corte, donde se les da las dimensiones necesarias mediante una cortadora.
6. **Secado:** Después de obtener el ladrillo, este se somete a un proceso de secado, donde se colocan en estantes durante aproximadamente 3 días, aunque la duración puede variar según las condiciones climáticas.
7. **Horneado:** Tras el proceso de secado, los ladrillos se introducen en un horno de leña, apilándolos uno sobre otro, y se someten a un tiempo de cocción de 8 a 9 horas.
8. **Almacenado:** El proceso finaliza con el enfriamiento de los ladrillos, que suele tomar entre 3 y 5 días, para luego ser llevados al área de almacenamiento.

2.6. Tipos de ladrillos

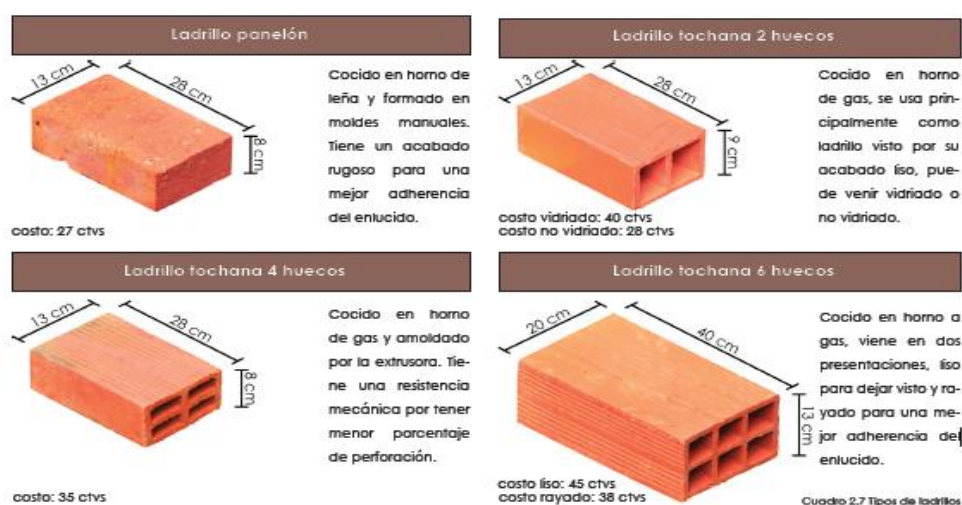
De acuerdo con Servicio de Normativa Técnica, Supervisión y Control (2004) existen tres tipos de ladrillos (ver figura 6-7):

- **Macizo:** se reconoce como M y, en la mayoría de los casos, no tiene agujeros. En aquellos casos en los que los haya (en la tabla), su tamaño es menor al 10% del volumen total del ladrillo.

- Perforado: se lo representa con la letra P y se distingue por tener un volumen de perforación en el tablero de ladrillo mayor al 10% del volumen total del ladrillo.
- Hueco: está representado por la letra H y sus perforaciones se localiza en el borde o cabeza.

Figura 6*Tipo de Ladrillos*

Nota. Tomado de Servicio de Normativa Técnica, Supervisión y Control (2004)

Figura 7*Detalle técnico de la mampostería con perforación horizontal*

Nota. Tomado de Servicio de Normativa Técnica, Supervisión y Control (2004)

2.7. Características y propiedades del ladrillo

Las propiedades del material son atributos inherentes o específicos del material, tales como su estructura cristalina y composición química. Estas características se manifiestan únicamente en respuesta a estímulos externos y determinan su comportamiento ante dichos estímulos. Algunas de estas propiedades abarcan la resistencia mecánica o al fuego, así como la durabilidad, que se define como la capacidad de un material para mantener un comportamiento y apariencia

satisfactorios en condiciones cambiantes. Es relevante resaltar la importancia de las propiedades necesarias para asegurar la durabilidad de los ladrillos (Patiño L. , 2019).

2.7.1. *Propiedades Físicas*

Los ladrillos poseen las siguientes propiedades físicas:

- **Color.** El color juega un papel fundamental en la detección de cambios que pueden ocurrir con el paso del tiempo, lo cual puede indicar modificaciones o alteraciones. Además, el color es una herramienta útil para evaluar los posibles efectos secundarios de diferentes tratamientos aplicados en edificios o construcciones (González et al., 2019).
- **Determinación de la densidad y porosidad aparente.** La densidad aparente se refiere a la relación entre la masa de un producto y su volumen aparente. Esto significa que el volumen aparente está determinado por la forma geométrica del producto. Por otro lado, la densidad verdadera se define como la relación entre la masa de un producto y su volumen real, teniendo en cuenta el espacio poroso. Las pruebas de densidad se utilizan para determinar qué tan denso es un material, y esto puede variar según factores como la temperatura de cocción, el método de moldeo y la porosidad (Sánchez et al., 2019).

2.7.2. *Propiedades Mecánicas*

Los ladrillos tienen las siguientes propiedades mecánicas:

- **Resistencia a la compresión.** La prueba de compresión es extremadamente importante cuando se tiene en cuenta el uso de bloques de mampostería en trabajos que implican fuerzas de compresión. Dado que los ladrillos son ampliamente utilizados como material estructural, la capacidad de resistir la compresión se convierte en una de las propiedades más buscadas y esencialmente necesarias (Berríos y Gómez, 2015).
- **Determinación de la resistencia a la tracción.** En este aspecto, a menudo la fuerza de las partículas que conforman la pieza y la matriz que las une desempeñan un papel crucial. Similar a otros materiales porosos, la resistencia a la tracción en los ladrillos se ve influenciada por los compuestos presentes en los poros, como el aire, el agua o la resina. Debido a su composición y diseño, los ladrillos no pueden soportar tensiones de tracción durante largos períodos de tiempo. Su resistencia a la tracción es aproximadamente 1/5 de su resistencia a la compresión, lo cual es considerable en comparación con la piedra natural. La resistencia al corte de los ladrillos se encuentra

en el rango de la mitad a la cuarta parte de su resistencia a la compresión (Afanador et al., 2012).

- Dureza superficial. La dureza de una pieza cerámica depende de cada componente y de la cohesión que presente. Para luego establecer la dureza de un material de construcción, se puede elegir entre los siguientes métodos: rayado, abrasión, rebote y penetración (Patiño L. , 2019).

2.7.3. *Propiedades Térmicas*

Los ladrillos poseen las siguientes propiedades térmicas:

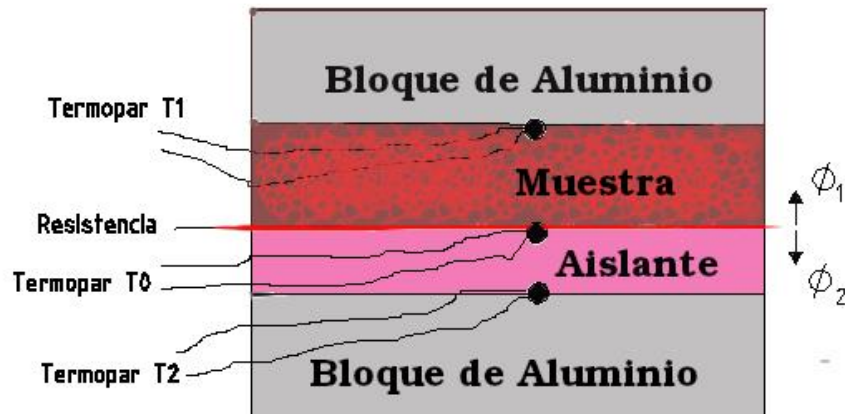
- Dilatación térmica. La expansión térmica se emplea para determinar el incremento en la longitud de un material causado por el calentamiento. Los materiales cerámicos suelen ser estables en términos de volumen, pero son sensibles a las variaciones de temperatura y humedad. Es fundamental analizar los cambios dimensionales que experimentan los materiales debido a las fluctuaciones térmicas (Guerrero et al., 2017).
- Conductividad térmica. La conductividad térmica permite calcular la cantidad de calor que se transfiere a través de cada pieza con una superficie de 1 m^2 , una longitud de 1 m y una diferencia de temperatura de 1°C entre las superficies durante una hora. Cuando se trata de cerámicas porosas, su capacidad de conducción térmica es limitada. La conductividad térmica varía en función de la composición, densidad, humedad ambiental y el proceso de envejecimiento que ha experimentado (Guerrero et al., 2017).

2.8. Determinación de conductividad térmica

Para poder calcular la conductividad térmica de materiales refractarios, se puede usar el método experimental de un dispositivo de placa caliente, posterior a ello, se coloca la muestra de ladrillo en la superficie calentada (resistencia eléctrica), luego se coloca el termopar en la superficie de la muestra para medir las temperaturas de diferentes partes del conjunto se muestran en la Figura 8 (Mubarqui, 2020).

Figura 8

Dispositivo experimental de la placa térmica para medir conductividad



Nota. Tomado de Mubarqui (2020)

Asimismo, Zavaleta (2019) sostiene que, para calcular la conductividad térmica, Zavaleta (2019) explica que es necesario considerar la Ley de conducción de Fourier, la cual establece las reglas para la transferencia de calor en un estado sólido y estacionario. La ecuación siguiente permite determinar la tasa de transferencia de calor a través de un material en una dirección específica:

$$\frac{q_x}{A} = -k \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Donde:

q_x = tasa de transferencia de calor en la dirección x

A = área de la sección transversal perpendicular a la dirección del flujo de calor

k = conductividad térmica del material

dT = temperatura

dx = distancia recorrida

Cabe aclarar que, la determinación de la conductividad térmica se basa en el cálculo de la tasa de transferencia de calor en una dirección específica, la cual se obtiene al multiplicar la conductividad térmica del material por el gradiente de temperatura. Una vez que se recopilan los datos experimentales, esta ecuación se emplea para determinar con precisión la conductividad térmica del material en cuestión.

En la actualidad, los materiales de construcción sostenibles y afines son aquellos que se fabrican siguiendo normas ambientales y utilizando insumos reutilizables, ya sean inorgánicos u orgánicos, biodegradables o no degradables. Estos materiales se destacan por mantener condiciones de temperatura interna adecuadas para proteger el ambiente interior de la temperatura exterior. Además, suelen ser duraderos y se adaptan a tecnologías que reducen contaminantes como el dióxido de carbono (CO₂), y a menudo tienen un costo más bajo. La mayoría de estos materiales provienen del ecosistema en el que se encuentra el edificio (Torrissi, 2012).

2.9. Ensayos Mecánicos y Físicos

Los ensayos mecánicos consisten en medir la capacidad de resistencia a la compresión y a la flexión utilizando una carga progresiva proporcionada por una máquina electro-hidráulica. La cantidad de carga aplicada varía dependiendo del tipo de ensayo que se esté realizando. Por otro lado, los ensayos físicos se emplean para evaluar propiedades químicas, físicas o fisicoquímicas de un material o sustancia (Paredes et al., 2017).

2.9.1. Determinación de la resistencia a la Compresión

Soto y Sánchez (2017) definen a la resistencia a la compresión como la carga de rotura dividida entre el área de contacto de estos. Este parámetro se emplea para determinar la calidad del ladrillo según lo establecido en la norma Society for Testing and Materials (ASTM) C-62. Es relevante mencionar que el ensayo de resistencia mecánica a la compresión es crucial en el área de la construcción y edificación, especialmente en las pruebas de control de calidad de la mezcla utilizada. Además, con este ensayo se identifican las características mecánicas de la mezcla, ayudando al diseñador a comprobar si la mezcla cumple con los resultados esperados en su uso (López et al., 2014).

Para llevar a cabo este ensayo, se necesita una Prensa japonesa SHIMADZU CONCRETO 2000X, que tiene la capacidad de 200 toneladas, cuya función es doblar, enderezar y/o ejercer presión sobre un material u objeto, con el propósito de cambiar su estructura (ver Figura 9).

Figura 9

Prensa japonesa SHIMADZU CONCRETO 2000X



Nota. Elaborada por el Autor

2.9.2. Determinación de la resistencia a la Flexión

La prueba de flexión, también llamada módulo de rotura, es un aspecto fundamental como criterio de durabilidad y para comprender el mecanismo de falla de la mampostería cuando se ve sometida a esfuerzos de compresión y flexión, situaciones muy comunes en la mampostería (Afanador et al., 2012).

Para realizar este ensayo, es necesario contar con una Prensa de compresión de baja velocidad, cuya funcionalidad es medir la capacidad de soporte de explanadas, bases y sub-bases de firmes, además, tiene una capacidad de 28KN (ver Figura 10).

Figura 10

Prensa de compresión de baja capacidad



Nota. Elaborada por el Autor

2.9.3. Prueba de adherencia

La capacidad de adhesión está vinculada al diámetro del refuerzo, puesto que a medida que este aumenta, los resultados en términos de tensión de adhesión se incrementan debido a que pueden soportar más carga con el mismo desplazamiento, invalidando el efecto de la superficie de contacto (Pérez et al., 2021).

Las pruebas de adherencia entre ladrillos se realizan cuando la superficie de contacto es muy lisa, lo que podría generar la posibilidad de que los ladrillos no se adhieran entre sí, lo que a su vez podría resultar en una resistencia a compresión inadecuada (Ponce et al., 2020). Dado que una adhesión deficiente afecta la resistencia de la mampostería, su durabilidad y la penetración de agua (Afanador et al., 2012).

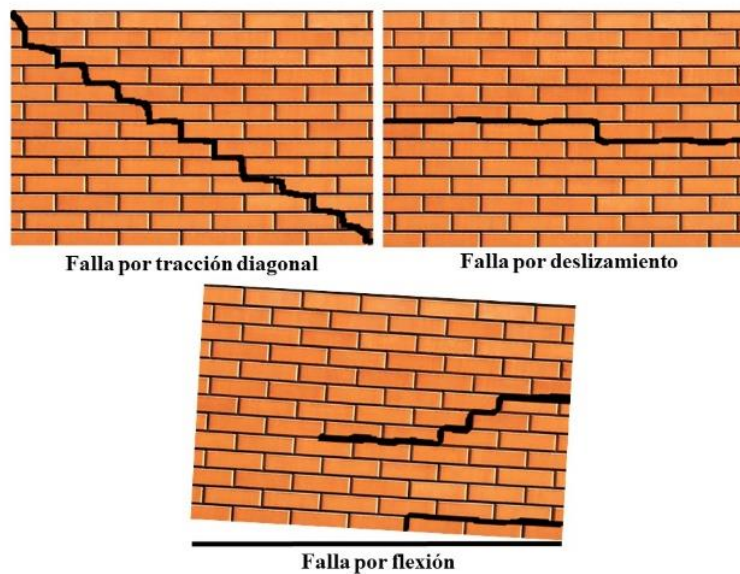
Cabe destacar que, es importante tener en cuenta que la adhesión entre el mortero y el ladrillo no representa una variable significativa en la resistencia y ductilidad de la mampostería frente a cargas laterales alternas. La carga de agrietamiento diagonal depende únicamente de las propiedades de la mampostería (Franco et al., 2022).

2.9.4. Determinación de la resistencia a la compresión axial

Los diferentes factores que influyen en los modos de falla de la mampostería incluyen la forma del muro, la relación de aspecto, las condiciones de borde, la calidad de los materiales y la carga vertical. Según la investigación realizada por Quinde et al. (2023), se han identificado tres modos de falla distintos en los muros de mampostería. El primero es la falla por tracción diagonal, que se genera cuando la tensión en el muro supera la resistencia a la tracción de la mampostería, lo que provoca que las grietas se propaguen desde el centro del panel hasta las esquinas del muro. El segundo modo es la falla por deslizamiento, que se produce a lo largo de las juntas de mortero cuando el muro tiene una carga vertical baja y la fuerza lateral supera la resistencia al cortante por deslizamiento de la mampostería. El segundo modo es la falla por deslizamiento, que se produce a lo largo de las juntas de mortero cuando el muro tiene una carga vertical baja y la fuerza lateral supera la resistencia al cortante por deslizamiento de la mampostería. Finalmente, la falla por flexión está relacionada con la deformación del refuerzo longitudinal en las columnas y la compresión del borde comprimido del muro (ver Figura 11).

Figura 11

Tipos de falla de mampostería



Nota. Elaborada por el Autor

Para realizar este ensayo, es necesario contar con una Prensa de compresión muretes, cuya funcionalidad es registrar los datos de la carga aplicada, a fin de obtener la curva de carga deformación (ver Figura 12).

Figura 12

Prensa de compresión de muretes



Nota. Elaborada por el Autor

2.10. Normativa

2.10.1. NTE INEN 293:1977

La norma NTE - INEN 293 (1977) consiste en determinar las definiciones, clasificaciones y condiciones generales de la utilización de los ladrillos cerámicos que sirven para la construcción. Esta norma se aplica a los ladrillos cerámicos hechos de arcilla moldeada y cocida, excluyendo los ladrillos refractarios o fabricados con materiales sílico-calcáreos. Algunas de las condiciones generales incluyen:

- **Materia prima:** Los ladrillos deben ser fabricados con arcilla o tierra arcillosa, y si es necesario se debe utilizar otros materiales, con la suficiente plasticidad o consistencia para tomar una representación permanente y secarse sin grietas, nódulos o deformaciones. Además, no deben contener materiales que puedan causar eflorescencia destructiva o manchas permanentes en el acabado.
- **Fabricación:** Los ladrillos se producen mediante el proceso de cocción a una temperatura mínima de 800°C. Después de la cocción, deben tener una masa homogénea con resistencia uniforme, un color rojizo y emitir un sonido metálico al golpearlos con un material duro.

2.10.2. Estándar de Resistencia al Fuego en Construcción (ISO 834)

La Norma Estándar de Resistencia al Fuego en Construcción, ISO-834 (s.f.) es un “estándar internacional que establece los requisitos de resistencia al fuego que deben cumplir los materiales y sistemas constructivos en edificaciones. Esta norma es crucial para garantizar la seguridad de las personas y la protección de los bienes en caso de incendio” (p. 1).

2.10.3. NTE INEN 804:2013

Esta norma establece el proceso de evaluación de la resistencia al fuego de elementos de construcción. El método de prueba de resistencia al fuego consiste en someter una muestra estandarizada del elemento constructivo a un fuego controlado en un horno, en condiciones de presión y temperatura controladas. El propósito es determinar el tiempo, en el cual la muestra mantiene su capacidad de resistir al fuego, teniendo en cuenta los criterios de integridad, capacidad de aislamiento y estabilidad del elemento constructivo (NTE INEN 804:2013, 2013).

2.10.4. NTE INEN 488:2009

El mortero empleado está compuesto por una parte de cemento y 2,75 partes de arena en una proporción de masa. Se emplea cemento Atenas, el cual se mezcla con una relación agua-cemento específica. Estos cubos se mantienen en los moldes durante un día para su curado, luego se retiran y se sumergen en agua saturada con cal antes de ser sometidos a ensayo. Se aplica una carga de compresión gradual para determinar su resistencia máxima permitida (NTE INEN 0488:2019, 2009).

3. CAPÍTULO: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

Para realizar el presente proyecto se utilizaron varios tipos de investigación como experimental y cuantitativa.

3.1.1. *Investigación Experimental*

Por el tipo de medio empleado para la investigación es de tipo experimental, por cuanto se “obtiene su información de la actividad intencional realizada por el investigador y que se encuentra dirigida a modificar la realidad con el propósito de crear el fenómeno mismo que se indaga, y así poder observarlo” (Gabriel, 2017, p. 155). Esta investigación permitió analizar el comportamiento tanto mecánico como físico del muro de mampostería al ser sometido a condiciones de presión y temperaturas controladas durante 5, 10 y 15 minutos, a fin de observar la integridad, capacidad de aislamiento, y estabilidad del elemento constructivo.

3.1.2. *Investigación Cuantitativa*

De acuerdo con su enfoque, esta investigación es cuantitativa, puesto que tiene como finalidad “consolidar las creencias (formuladas de manera lógica en una teoría o un esquema teórico) y establecer con exactitud patrones de comportamiento de una población” (Hernández et al., 2014, p. 10). Esta investigación tiene como característica principal cuantificar estadísticamente los datos recolectados del lugar objeto de estudio, a fin de describir y explicar los sucesos encontrados.

3.2. Variables

3.2.1. *Variable Independiente*

Altas temperaturas (fuego o incendio)

3.2.2. *Variable Dependiente*

Propiedades físicas - mecánicas de la mampostería con perforación horizontal

3.3. Técnica e instrumento de recolección de datos

La técnica que se utilizó para recopilar los datos es la observación a través de la ficha de registro como instrumento de investigación, la misma que sirvió para registrar los resultados de las pruebas de laboratorio, una vez elaboradas las muestras fueron sometidas a altas temperaturas para posteriormente ser analizadas mediante la aplicación de ensayos de compresión, flexión, emisión de gases y adherencia.

3.4. Análisis de los resultados

Una vez realizados los ensayos de compresión, flexión, emisión de gases y adherencia, los módulos de análisis reportan información que luego es procesada en el programa de cálculo Excel a través de representaciones gráficas e interpretaciones.

3.5. Procesos y procedimientos previo a los ensayos

3.5.1. Proceso de fabricación del ladrillo de perforación horizontal (tochano)

Selección de la materia Prima. En primer lugar, se seleccionan dos tipos de tierra: shara (arenosa), extraída especialmente de la parroquia Tarqui o de Cumbe por su calidad y el otro tipo de tierra es arcilla (ver Figura 13) y se llevan en carretillas hasta el stock para ser mezcladas (ver Figura 14).

Figura 13

Selección de materia prima



Nota. Elaboración propia tomada en Sinincay en la Fábrica “Guayas”

Figura 14*Transportación de la materia prima*

Nota. Elaboración propia tomada en Sinincay en la Fábrica “Guayas”

Mezcla de materia prima. El siguiente proceso es la mezcla del material en la tolva, para lo cual, la tierra no debe estar tan húmeda y en el caso de que tenga elevada humedad se mezcla con un material seco (shara) (ver Figura 15).

Figura 15*Mezcla de material en tolva*

Nota. Elaboración propia tomada en Sinincay en la Fábrica “Guayas”

Molino. Luego que se mezcla el material en la tolva, la tierra sube por la banda transportadora hasta llegar al molino, en donde se tritura el material (ver Figura 16).

Figura 16*Barra transportadora y molino*

Nota. Elaboración propia tomada en Sinincay en la Fábrica “Guayas”

Preparación de la mezcla. Después del proceso del molino, la materia prima se dirige hacia la batidora, donde se rompen los grumos de tierra y se añade la cantidad necesaria de agua para homogeneizar la mezcla, preparándola para el proceso de extrusado (ver Figura 17).

Figura 17*Preparación de la mezcla*

Nota. Elaboración propia tomada en Sinincay en la Fábrica “Guayas”

Moldeado. Desde la batidora, la mezcla pasa a la extrusora, donde un sinfín empuja la tierra para darle la forma según los diferentes moldes deseados (ver Figura 18).

Figura 18*Moldeado*

Nota. Elaboración propia tomada en Sinincay en la Fábrica “Guayas”

Cortado. Una vez adquirida la forma del ladrillo de acuerdo con los moldes, se transportan por rodillos para el proceso de corte, donde se les da las dimensiones necesarias mediante una cortadora (ver Figura 19). Además, los ladrillos que salen imperfectos los separan y los vuelven a poner en la batidora para que sean reutilizados.

Figura 19*Cortadora*

Nota. Elaboración propia tomada en Sinincay en la Fábrica “Guayas”

Secado. Después de obtener el ladrillo, este se somete a un proceso de secado, donde se colocan en estantes durante 1 a 2 días, posteriormente lo dejan al ambiente para completar el secado,

ese proceso puede durar de 8 a 10 días, aunque la duración puede alcanzar los 15 días si las condiciones climáticas no son favorables por la presencia de lluvias (ver Figura 20).

Figura 20

Secado del ladrillo



Nota. Elaboración propia tomada en Sinincay en la Fábrica “Guayas”

Horneado. Tras el proceso de secado, los ladrillos son cocidos en un horno a leña, que tiene la capacidad de 4000 ladrillos, está compuesto por cuatro cámaras en la parte inferior donde se coloca la leña (ver Figura 21). En la parte superior se apilan los ladrillos, aproximadamente 9 filas y se someten a un tiempo de cocción de 8 a 9 horas (ver Figura 22).

Figura 21

Horno interno y la leña



Nota. Elaboración propia tomada en Sinincay en la Fábrica “Guayas”

Figura 22

Horneado de ladrillo



Nota. Elaboración propia tomada en Sinincay en la Fábrica “Guayas”

Selección de calidad del ladrillo. Una vez cocidos los ladrillos, se procede a seleccionar y separar los ladrillos que se queman demasiado hasta deformarse, considerando que, los que están más cerca al calor están expuestos a 1200 °C lo que hace que se fisuren, se resequen y se deformen (ver Figura 23).

Figura 23

Ladrillos en mal estado



Nota. Elaboración propia tomada en Sinincay en la Fábrica “Guayas”

Almacenado. El proceso finaliza con el enfriamiento de los ladrillos, que suele tomar entre 3 y 5 días, para luego ser llevados al área de almacenamiento (ver Figura 24).

Figura 24*Almacenado*

Nota. Elaboración propia tomada en Sinincay en la Fábrica “Guayas”

3.5.2. Proceso constructivo de la elaboración de las muestras

Preparación de la mezcla. Para construir las muestras que se necesitó para el ensayo, primeramente, se empezó mezclando los materiales granulares con agua, a fin de obtener una muestra homogénea y consistente pieza (ver Figura 25).

Figura 25*Mezcla de materiales granulares con agua*

Nota. Elaborada por el Autor

Preparación de los moldes. Primeramente, se armó el molde de cobre (ver Figura 26), luego se untó con aceite los moldes con la finalidad de evitar que se pegue la mezcla a las paredes del molde al momento de desmoldar la pieza (ver Figura 27).

Figura 26

Moldes de cobre sin armar



Nota. Elaborada por el Autor

Figura 27

Preparación de los moldes



Nota. Elaborada por el Autor

Elaboración de las muestras. Dentro de los moldes se vertió la mezcla con el apoyo de un bailejo (ver Figura 28) y para compactar la mezcla se golpeó con un martillo metálico a fin de evitar que queden espacios vacíos entre el molde (ver Figura 29).

Figura 28

Moldes de cobre



Nota. Elaborada por el Autor

Figura 29

Moldes de cobre



Nota. Elaborada por el Autor

Secado de las muestras. Una vez elaboradas las muestras en los moldes se dejó reposar por 24 horas hasta que se endurezca la mezcla (ver Figura 30).

Figura 30

Secado de las muestras



Nota. Elaborada por el Autor

Desencofradas y curadas. Cuando las muestras están secas se desencofra con cuidado para evitar que se fisuren o rompan. Una vez que son desencofradas se curan al sumergir las piezas en un tanque de agua (ver Figura 31).

Figura 31

Desencofradas y curadas



Nota. Elaborada por el Autor

3.6. Ensayos

3.6.1. Ensayo de resistencia a compresión

Este ensayo se utiliza para determinar la calidad del ladrillo según lo establecido en la norma ASTM C-62. Este ensayo es crucial en el área de la construcción y edificación, especialmente en las pruebas de control de calidad de la mezcla utilizada. Además, con este ensayo se identifican las características mecánicas, ayudando al diseñador a comprobar si cumple con los resultados esperados en su uso. Para llevar a cabo este ensayo, se empleó la Máquina de Compresión SHIMADZU CONCRETO 2000X (ver Figura 32).

Figura 32

Probetas sometidas a ensayos por compresión



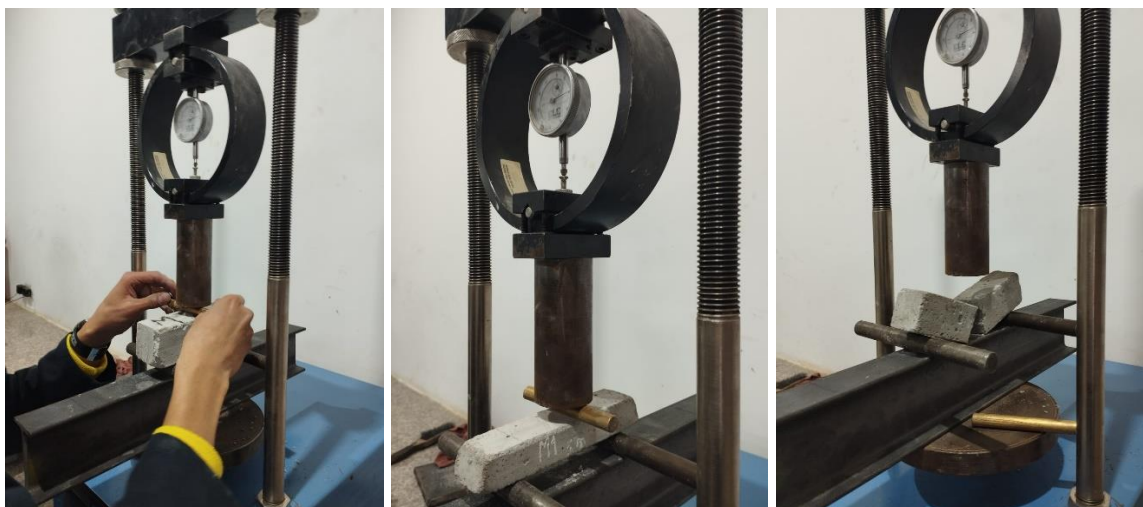
Nota. Elaborada por el Autor

3.6.2. Ensayo de resistencia a flexión

La prueba de flexión es un ensayo fundamental como criterio de durabilidad y para comprender el mecanismo de falla de la mampostería cuando se ve sometida a esfuerzos de compresión y flexión, situaciones muy comunes que ocurren en la mampostería. Para realizar este ensayo, se utilizó la Prensa CBR. La máquina está equipada con un medidor de carga colocado en el centro de sus anillos, el cual registra cada lectura de carga, y podemos determinar la carga máxima que el elemento puede soportar utilizando su ecuación especificada que viene dada por la casa fabricante del equipo (ver Figura 33).

Figura 33

Probetas con forma de vigueta sometidas a ensayos por flexión



Nota. Elaborada por el Autor

3.6.3. Ensayo de resistencia a la compresión axial

Una vez que fueron elaborados los ladrillos de perforación horizontal (tochanos), se armaron los paneles con las dimensiones que se especifican en la Tabla 5.

Tabla 5

Dimensiones de paneles

Dimensiones	Alto (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
Paneles	600.5	600.0	126.5

Nota. Elaborada por el Autor

Cada uno de los paneles construidos fueron sometidos al fuego por 5, 10 y 15 minutos, luego de pasar por este proceso se colocaron en la prensa de compresión de muretes para aplicar la carga axial (ver Figura 34 - 35).

Figura 34

Ensayo de compresión axial



Nota. Elaborada por el Autor

Figura 35

Paneles después del ensayo de compresión axial



Nota. Elaborada por el Autor

3.6.4. Ensayo de adherencia

Para realizar el ensayo de adherencia, primeramente, se seleccionaron los ladrillos sin deformidades antes elaborados (ver Figura 36), luego se los sumergió a un tanque de agua (ver Figura 37), como siguiente paso se adhirió tres ladrillos con el uso del mortero antes realizado para la elaboración de las muestras (ver Figura 38); una vez secas se codificó (ver Figura 39) y por último sometió a altas temperaturas por 5 min (ver Figura 40), 10 min (ver Figura 41) y 15 min (ver Figura 42).

Figura 36

Selección de ladrillos para prueba de adherencia



Nota. Elaborada por el Autor

Figura 37

Ladrillos sumergidos al agua



Nota. Elaborada por el Autor

Figura 38

Ladrillos adheridos con mortero



Nota. Elaborada por el Autor

Figura 39

Codificación de los ladrillos



Nota. Elaborada por el Autor

Figura 40

Resultado de ensayo de adherencia sometido al fuego durante 5 minutos



Nota. Elaborada por el Autor

Figura 41

Resultado de ensayo de adherencia sometido al fuego durante 10 minutos



Nota. Elaborada por el Autor

Figura 42

Resultado de ensayo de adherencia sometido al fuego durante 15 minutos



Nota. Elaborada por el Autor

4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1. Resultados de resultados

En la investigación experimental, se incluyeron 12 ensayos para determinar la resistencia a compresión, 4 ensayos para determinar la resistencia a flexión, 2 ensayos para determinar la adherencia y 5 ensayos para evaluar la emisión de gases tóxicos.

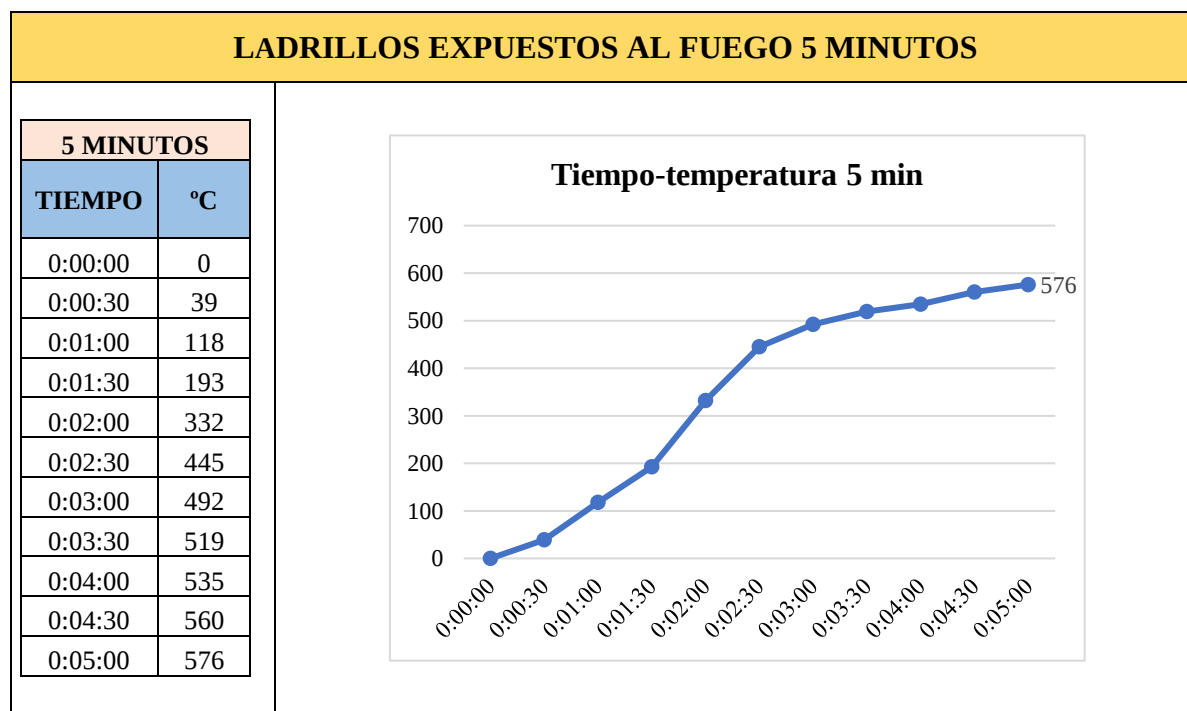
4.1.1. Resultados de ensayos de exposición a altas temperaturas en el horno refractario

Para exponer a las muestras a altas temperaturas se utilizó un horno refractario a fin de simular un incendio real. Este horno permitió a los ladrillos ser sometidos a diferentes temperaturas y tiempos de exposición (5 min, 10 min y 15 min). Cabe destacar que, cada una de las muestras alcanzaron la temperatura deseada, reportando datos relevantes y significativos en los ensayos.

a) Exposición de ladrillos al fuego por 5 minutos

Figura 43

Tiempo-temperatura 5min



Nota. Elaborada por el Autor

En el caso de la muestra expuesta al calor por 5 minutos, el rango de temperatura experimentada está en la mínima de 39 °C a la máxima 576 °C. Como se puede observar en la Figura 43, existe una pendiente positiva pronunciada, que alcanza en los primeros 3 minutos 492 °C, mientras que, en los siguientes 2 minutos el incremento de la temperatura se mantiene casi estacionaria,

logrando aumentar 84 °C, alcanzando los 576 °C en los 5 minutos. Al comparar los datos obtenidos con la temperatura inicial antes de ser sometidos al fuego (24 °C $\pm$ 8 °C), se puede apreciar que el ladrillo al ser sometido al fuego por 5min, aumenta significativamente la temperatura.

b) Exposición de ladrillos al fuego por 10 minutos

Figura 44

Tiempo-temperatura 10min



Nota. Elaborada por el Autor

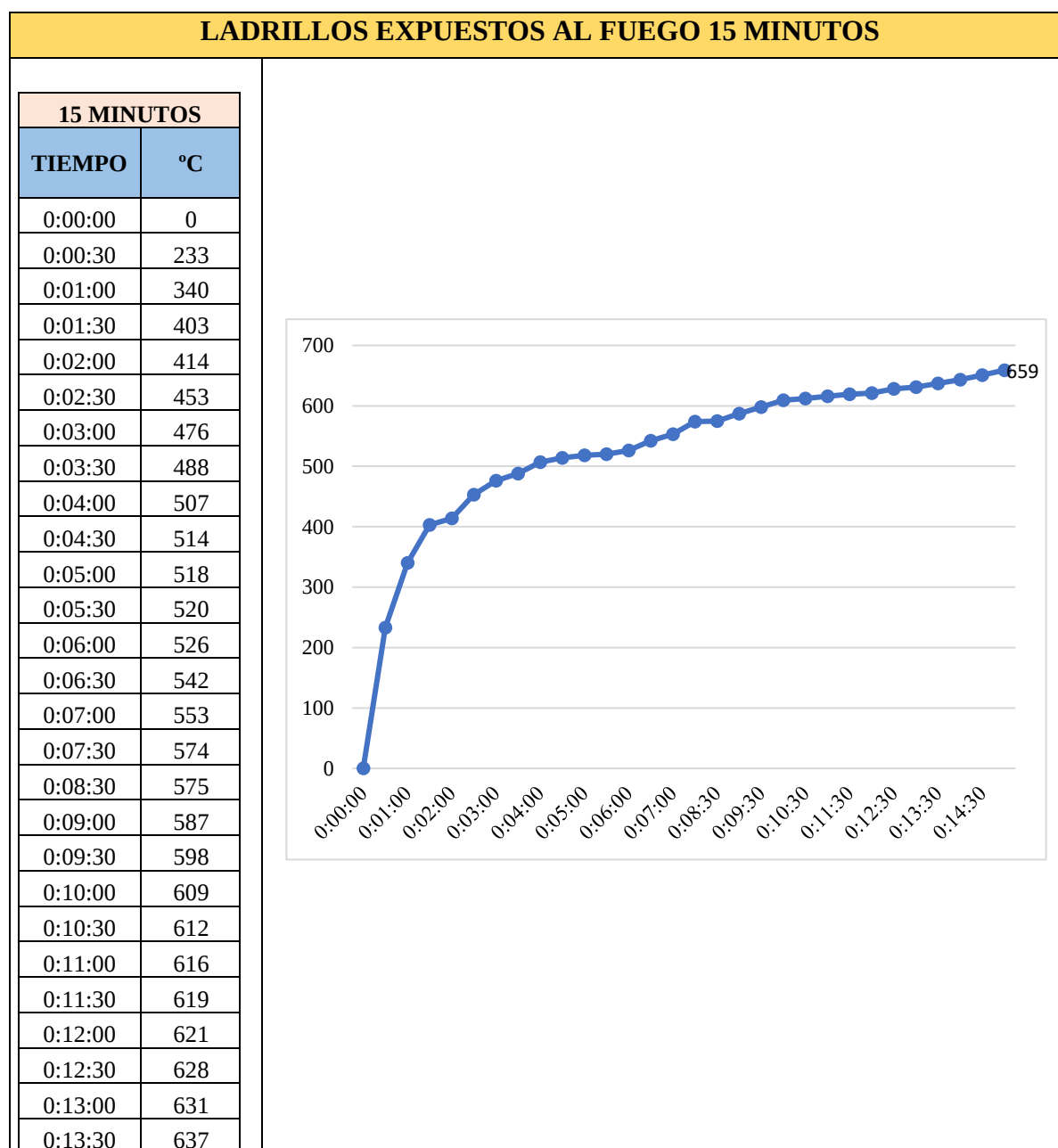
En el caso de la muestra expuesta a temperatura por 10 minutos, el rango de esta, está en la mínima de 230 °C a la máxima 601 °C. Tal como se muestra en la Figura 44, existe una pendiente positiva muy pronunciada, que alcanza en los primeros 90 segundos 390 °C, hasta los 4 minutos y medio sigue aumentando lentamente, alcanzando así los 502 °C; en los 2 minutos siguientes, la pendiente de la curva de tiempo vs temperatura se mantiene casi estacionaria, logrando aumentar 18 °C, alcanzando los 520 °C. Sin embargo, a partir de los 6

minutos y medio la pendiente de la curva temperatura es un poco más pronunciada que su anterior intervalo de 2 minutos, incrementándose 81 °C, alcanzando una temperatura máxima de 601 °C. Al comparar los datos obtenidos con la temperatura inicial antes de ser sometidos al fuego ($24\text{ °C} \pm 8\text{ °C}$), se puede apreciar que el ladrillo al ser sometido al fuego por 10min, aumenta significativamente la temperatura en los primeros 90 segundos, para posteriormente incrementarse lentamente la temperatura.

c) Exposición de ladrillos al fuego por 15 minutos

Figura 45

Tiempo-temperatura 15min



0:14:00	643	
0:14:30	651	
0:15:00	659	

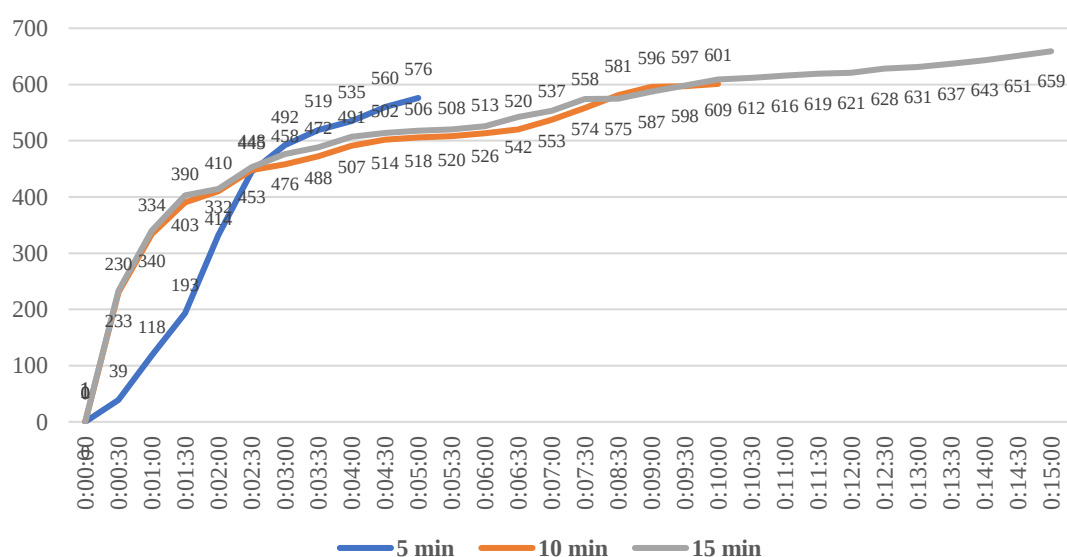
Nota. Elaborada por el Autor

En el caso de la muestra por expuesta al calor por 15 minutos, el rango de temperatura experimentada está en la mínima de 233°C a la máxima 659°C. En la Figura 45, se puede observar que existe un comportamiento similar al de la muestra anterior, reflejando una pendiente positiva muy pronunciada en los primeros 90 segundos, alcanzando una temperatura de 403°C. Partiendo de los 2 minutos, la pendiente de la curva de tiempo vs temperatura se incrementa progresivamente de manera moderada, llegando a una temperatura de 574°C en los siete y medio, lo que demuestra un incremento de 171 °C en 6 minutos (aproximadamente 29 °C por minuto). Posterior a ello, la pendiente es mucho menos pronunciada que el intervalo anterior, alcanzando a los 15 minutos una temperatura máxima de 659 °C, con un incremento de 85 °C; es decir, 11 °C por minuto aproximadamente. Al comparar los datos obtenidos con la temperatura inicial antes de ser sometidos al fuego ($24\text{ °C} \pm 8\text{ °C}$), se puede apreciar que el ladrillo al ser sometido al fuego por 15min, aumenta significativamente la temperatura en los primeros 90 segundos, para posteriormente incrementarse lentamente la temperatura.

d) Exposición de ladrillos al fuego por 5, 10 y 15 minutos

Figura 46

Tiempo-temperatura 5, 10 y 15min



Nota. Elaborada por el Autor

Al comparar las tres curvas de temperatura con relación al tiempo, se puede apreciar que en los primeros 2 minutos y medio, la temperatura se incrementa significativamente hasta llegar a un promedio de 449 °C. Sin embargo, de ahí en adelante la velocidad se reduce de manera circunstancial, este suceso se debe probablemente a la evaporación del agua, considerando que es uno de los componentes de la muestra, este hallazgo se extiende hasta los 6 minutos, alcanzando aproximadamente 520 °C. Y nuevamente, se registra un incremento un poco más acelerado que el intervalo anterior y mucho menos que el primero. Es preciso añadir que, las tres muestras han alcanzado un promedio de temperatura de 612 °C $\pm$ 43 desviación estándar (DS). Cabe destacar que, la diferencia que existe entre los resultados de la primera muestra con las dos posteriores en cuanto al incremento abrupto de temperatura en menos de 1 minuto (ensayo 2 y 3), se debe a que posterior al primer ensayo realizado, el horno refractario no se enfrió completamente antes de realizar el segundo y tercer ensayo, produciendo un error al inicio de exposición al fuego. En resumidas cuentas, tras la realización de los ensayos se pudo evidenciar que las tres muestras aumentaron significativamente la temperatura, en el caso de la muestra que fue sometida a 5 minutos al fuego, alcanzó los 576 °C, la de 10 minutos a 601 °C y la de 15 minutos a 659 °C. Los valores antes descritos, son superiores a los 24 °C $\pm$ 8 °C que aproximadamente se encuentran las muestras en estado normal, demostrando que, el aumento de temperatura es ocasionado directamente por la exposición al fuego (ver Figura 46).

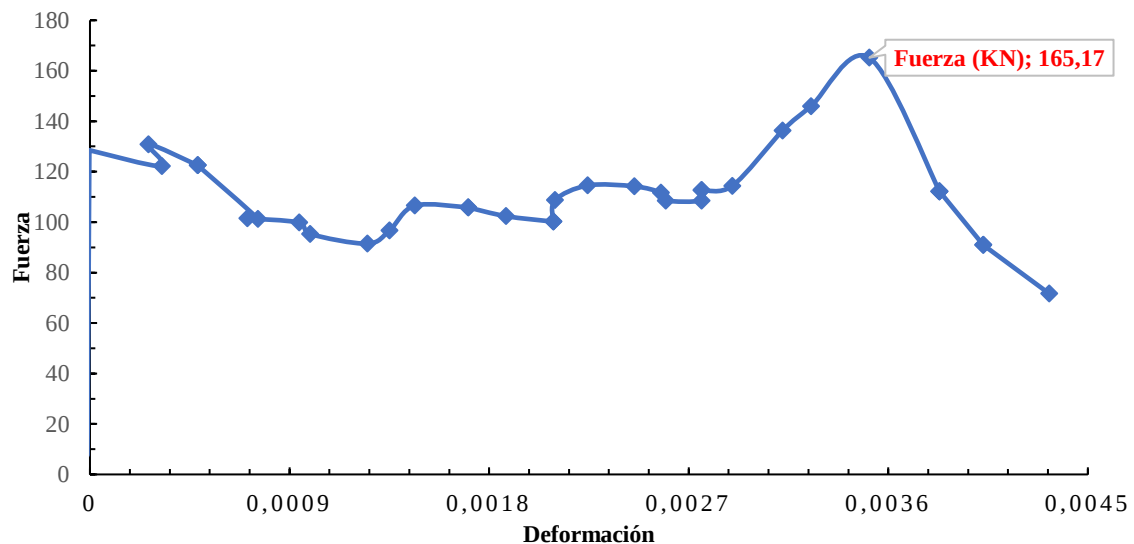
4.1.2. Resultados de ensayos de resistencia a compresión a paneles

Se construyeron 4 paneles en base a ladrillos y mortero en una dimensión de 600.5 x 600.0 x 126.5mm, los mismos que fueron utilizados para determinar la resistencia a compresión con el uso de la Prensa de compresión muretes, previo a la exposición de fuego durante 0, 5, 10 y 15 minutos.

a) Ensayo a compresión a panel base

Figura 47

Fuerza (kN)-deformación (mm) a panel base



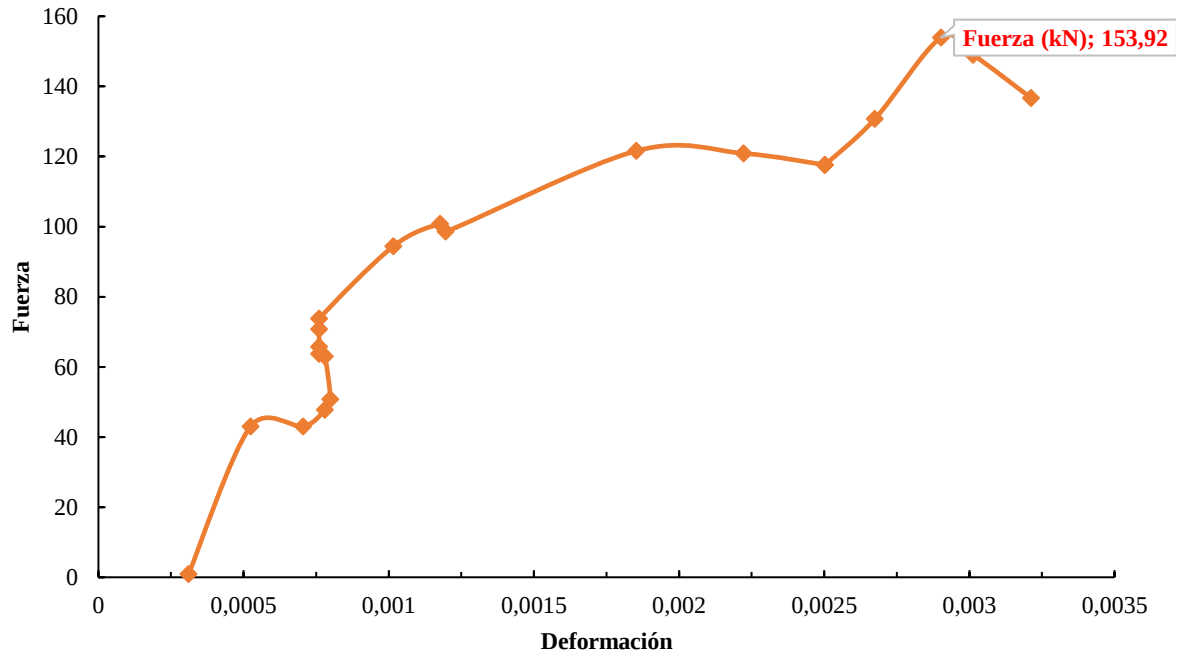
Nota. Elaborada por el Autor

Al momento de realizar en ensayo a compresión, tenemos como resultado la Figura 47, en el cual se observa que el valor máximo de resistencia a la fuerza es 165,17 kN con una deformación de alrededor de 0.0035 mm, se puede observar que existen ciertos descensos en la curva que se pueden interpretar que la fuerza se aplicó directamente sobre alguna junta, la carga al inicio de 130 kN se mantiene aplicada sin deformación.

b) Ensayo a compresión a panel expuesto al fuego a 5 minutos

Figura 48

Fuerza (kN)-deformación (mm) a panel expuesto al fuego a 5 minutos



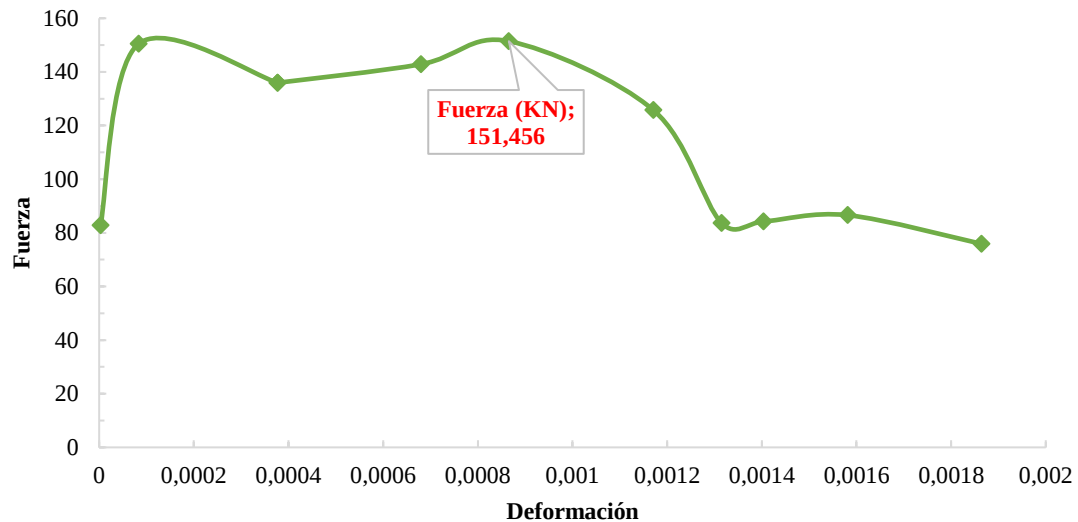
Nota. Elaborada por el Autor

En la Figura 48 al momento de realizar en ensayo a compresión tenemos como resultado la siguiente gráfica, en el cual se observa que el valor máximo es de resistencia a la fuerza es 153.92 kN con una deformación de alrededor de 0.0032mm, la gráfica empieza un con una carga de 90 kN, en la cual se mantiene, los picos altos y bajos son por que la carga se aplica en la junta, se observa que la inicio tiene una región elástica y luego se vuelve el panel plástico no vuelve a su estado original, después de quitarle la carga.

c) Ensayo a compresión a panel expuesto al fuego a 10 minutos

Figura 49

Fuerza (kN)-deformación (mm) a panel expuesto al fuego a 10 minutos



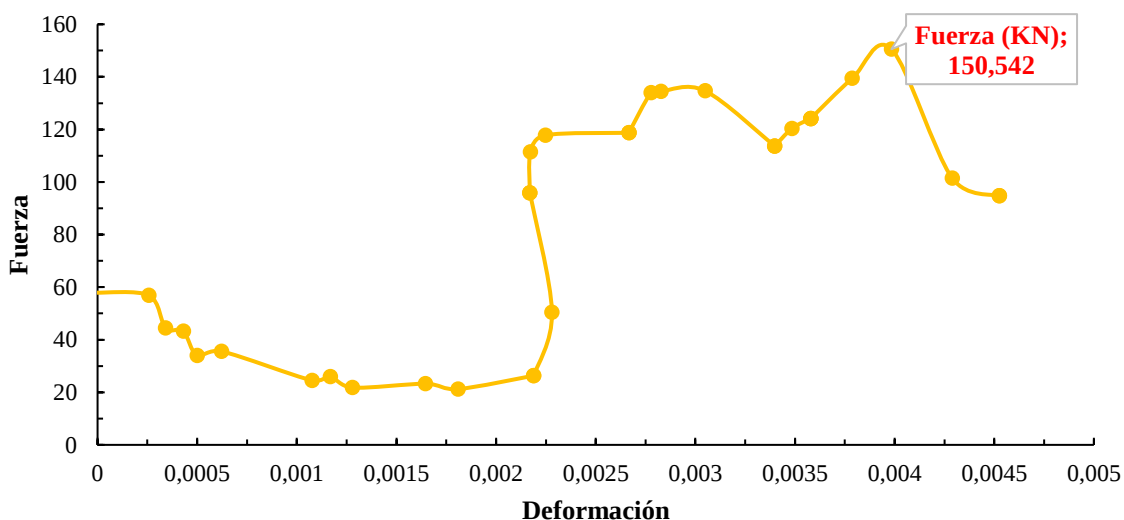
Nota. Elaborada por el Autor

En la Figura 49 al momento de realizar el ensayo a compresión, tenemos como resultado la siguiente gráfica, en la cual se observa que el valor máximo de resistencia a la fuerza es de 151,46 kN con una deformación de alrededor de 0,00086 mm, se puede observar que la rotura es inicial, no resiste, el panel se destruyó por completo, los demás datos son por cómo va decayendo el panel.

d) Ensayo a compresión a panel expuesto al fuego a 15 minutos

Figura 50

Fuerza (kN)-deformación (mm) a panel expuesto al fuego a 15 minutos



Nota. Elaborada por el Autor

En la Figura 50 al momento de realizar en ensayo a compresión, tenemos como resultado la siguiente gráfica, en el cual se observa que el valor máximo de resistencia a la fuerza es de 150,54 kN con una deformación de alrededor de 0,0043mm, la gráfica empieza un con una carga de 59 kN, la cual parece que no llegaría a más, pero resiste una carga de 91,54 kN, hasta deformarse por completo.

4.1.3. Resultados de ensayos a compresión a ladrillos

Se utilizaron 4 ladrillos de perforación horizontal (tochanos), en una dimensión de 285 x 195 x 126.5mm, los mismos que fueron utilizados para determinar la resistencia a compresión a través del uso de la Prensa japonesa SHIMADZU CONCRETO 2000X, previo a la exposición de fuego durante 0, 5, 10 y 15 minutos.

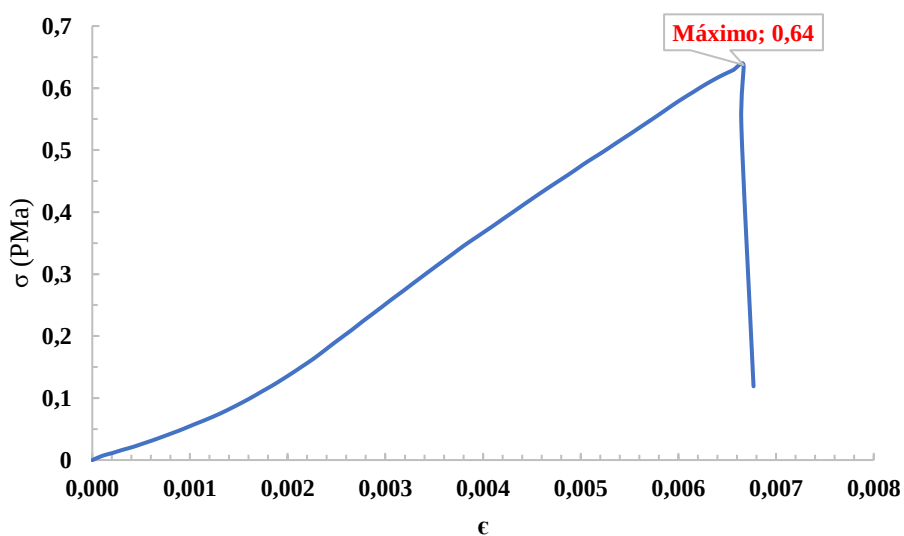
e) Ensayo a compresión a ladrillo base

Tabla 6

Esfuerzo – deformación unitaria del ladrillo base

Tiempo máx. valor fuerza (seg)	ϵ (deformidad)	σ (N/mm ²)
162,78	0,007	0,64

Nota. Elaborada por el Autor

Figura 51*Esfuerzo – deformación unitaria del ladrillo base**Nota.* Elaborada por el Autor

Tal como se observa en la Figura 51, la muestra base alcanza un esfuerzo de 0,64 MPa en un tiempo de 162,78 segundos, provocando una deformación unitaria de 0,007, a una temperatura de su estado natural que se aproxima a 25 °C. Después de haber alcanzado su máximo esfuerzo, el ladrillo empieza deformándose hasta que colapsa totalmente.

f) Ensayo a compresión a ladrillo expuesto al fuego a 5 minutos

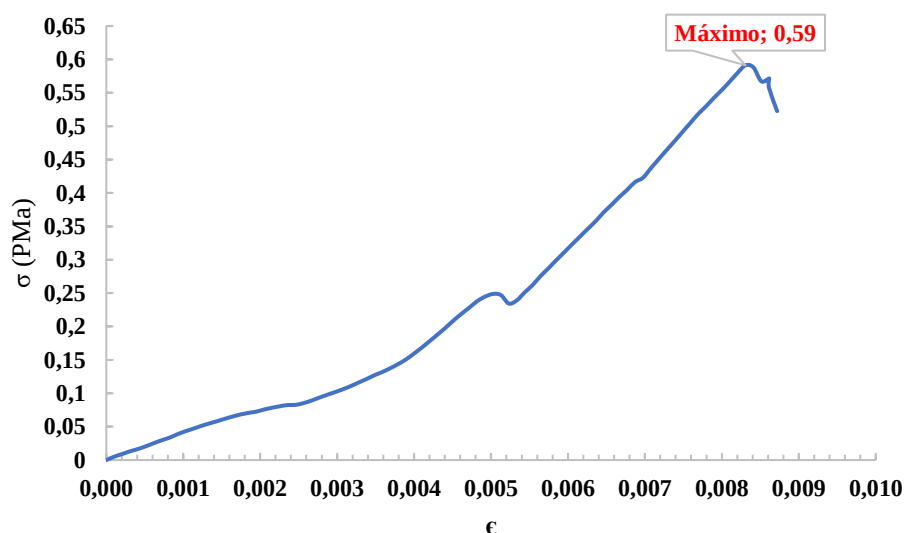
Tabla 7*Esfuerzo – deformación unitaria del ladrillo expuesto al fuego a 5 minutos*

Tiempo máx. valor fuerza (seg)	ε (deformidad)	σ(N/mm²)
130,79	0,008	0,59

Nota. Elaborada por el Autor

Figura 52

Esfuerzo – deformación unitaria del ladrillo expuesto al fuego a 5 minutos



Nota. Elaborada por el Autor

La Figura 52 indica que, el ladrillo expuesto al fuego por 5 minutos alcanza un esfuerzo de 0,59 MPa en un tiempo de 130,79 segundos, provocando una deformidad unitaria de 0,008, a una temperatura de 576 °C. Lo que se demuestra que, luego de alcanzar su máximo esfuerzo, la muestra inicia su deformación unitaria de manera casi inmediata hasta destruirse por completo.

g) Ensayo a compresión a ladrillo expuesto al fuego a 10 minutos

Tabla 8

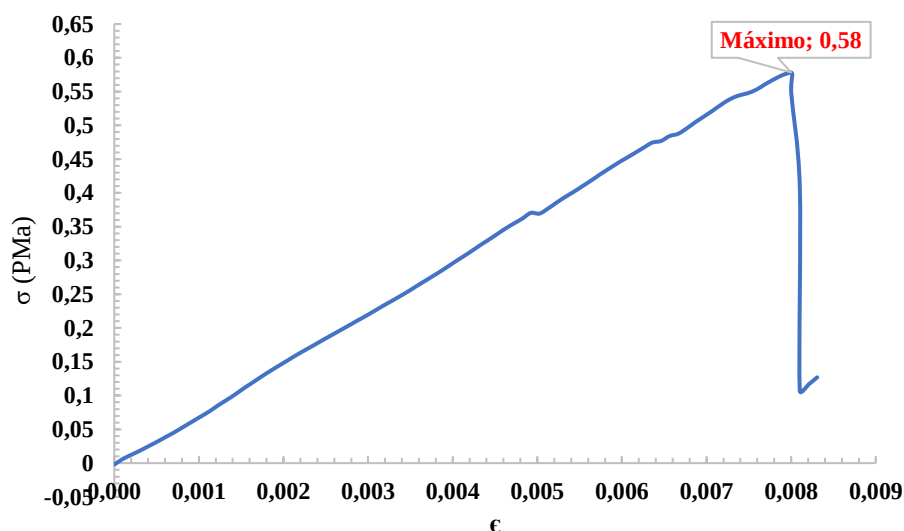
Esfuerzo – deformación unitaria del ladrillo expuesto al fuego a 10 minutos

Tiempo máx. valor fuerza (seg)	ϵ (deformidad unitaria)	σ (N/mm ²)
156,67	0,008	0,58

Nota. Elaborada por el Autor

Figura 53

Esfuerzo – deformación unitaria del ladrillo expuesto al fuego a 10 minutos



Nota. Elaborada por el Autor

En la Figura 53 se puede apreciar que la muestra expuesta al fuego por 10 minutos alcanza un esfuerzo de 0,58 MPa en un tiempo de 120 segundos, provocando una deformidad unitaria de 0,008, a una temperatura de 601 °C. Después de haber alcanzado su máximo esfuerzo, el ladrillo continúa deformándose con menor intensidad, hasta que colapsa totalmente.

h) Ensayo a compresión a ladrillo expuesto al fuego a 15 minutos

Tabla 9

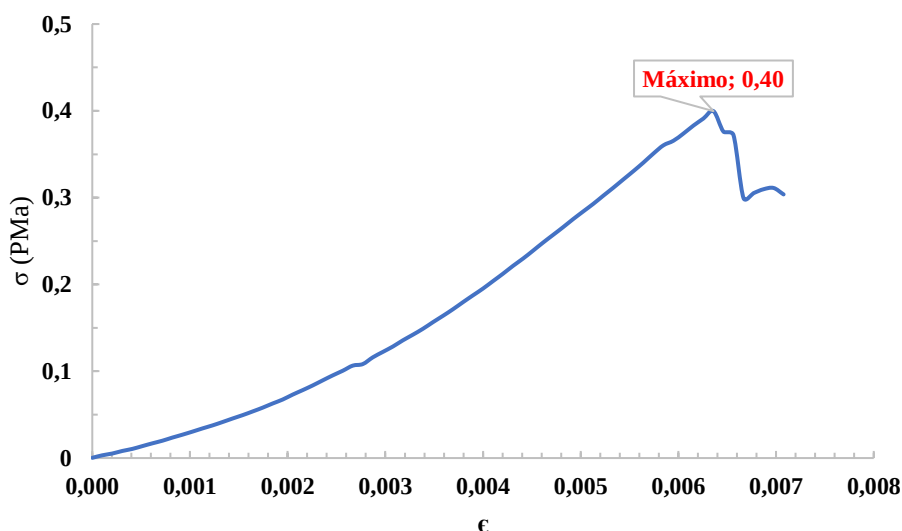
Esfuerzo – deformación unitaria del ladrillo expuesto al fuego a 15 minutos

Tiempo máx. valor fuerza (seg)	ε (deformidad)	σ(N/mm²)
124,79	0,006	0,40

Nota. Elaborada por el Autor

Figura 54

Esfuerzo – deformación unitaria del ladrillo expuesto al fuego a 15 minutos



Nota. Elaborada por el Autor

La Figura 54 muestra que el ladrillo expuesto al fuego por 15 minutos alcanza un esfuerzo de 0,40 MPa en un tiempo de 124,79 segundos, provocando una deformación unitaria de 0,006, a una temperatura de 659 °C. Lo que indica que, entre más tiempo expuesto al fuego, menor será el esfuerzo máximo. Además, la muestra se deforma con menor intensidad. Sin embargo, en la figura no se puede visualizar la caída de la curva, puesto que se redujo valores para una mejor graficación, que llega aproximadamente a 350 Kgf.

i) Ensayo a compresión a ladrillo expuesto al fuego durante 0, 5, 10 y 15 minutos

Tabla 10

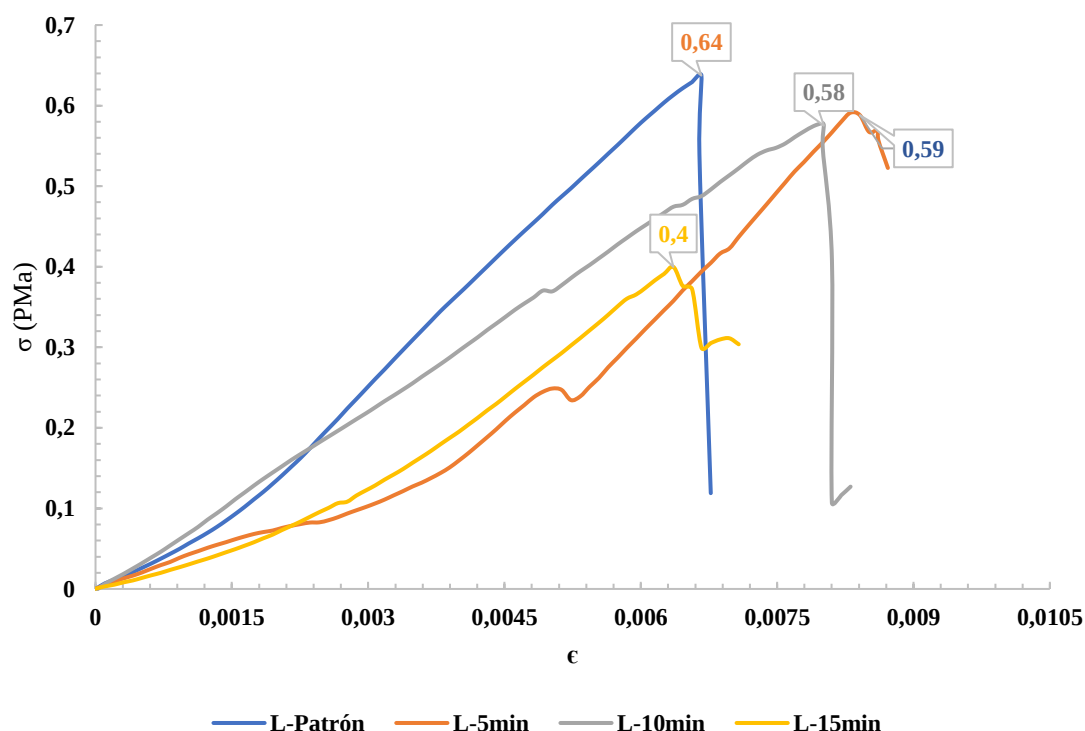
Esfuerzo – deformación unitaria del ladrillo expuesto al fuego a 0, 5, 10 y 15 minutos

Muestras	Tiempo máx. valor fuerza (seg)	ϵ (deformidad)	σ (N/mm ²)
0 min	162,78	0,007	0,64
5 min	130,79	0,008	0,59
10 min	156,67	0,008	0,58
15 min	156,67	0,006	0,40

Nota. Elaborada por el Autor

Figura 55

Esfuerzo – deformación unitaria del ladrillo expuesto al fuego a 0, 5, 10 y 15 minutos



Nota. Elaborada por el Autor

Al evaluar y comparar los resultados de los ensayos de resistencia a compresión realizada a los ladrillos expuestos al fuego durante 0, 5, 10 y 15 minutos, se puede comprobar que, a mayor tiempo de exposición, el esfuerzo se reduce gradualmente. Además, al compararlo con el ladrillo base (0,64 MPa), en el caso del ladrillo expuesto a 5 minutos perdió el 7% de resistencia, el de 10 minutos se redujo en un 9% y el de 15 minutos disminuyó considerablemente el 37% (Ver Figura 55). No obstante, el ladrillo con relación al plástico o a la madera tiene un mayor tiempo de reacción, puesto que soporta altas temperaturas hasta llegar a su deformación parcial o completa.

4.1.4. Resultados de ensayos a compresión a cubos morteros

Se utilizaron 4 morteros de elaboración propia, en una dimensión de 50 x 50 x 50mm, los mismos que fueron utilizados para determinar la resistencia a compresión mediante la utilización de la Prensa japonesa SHIMADZU CONCRETO 2000X, previo a la exposición de fuego durante 0, 5, 10 y 15 minutos.

j) Ensayo a compresión a cubo de mortero base

Tabla 11

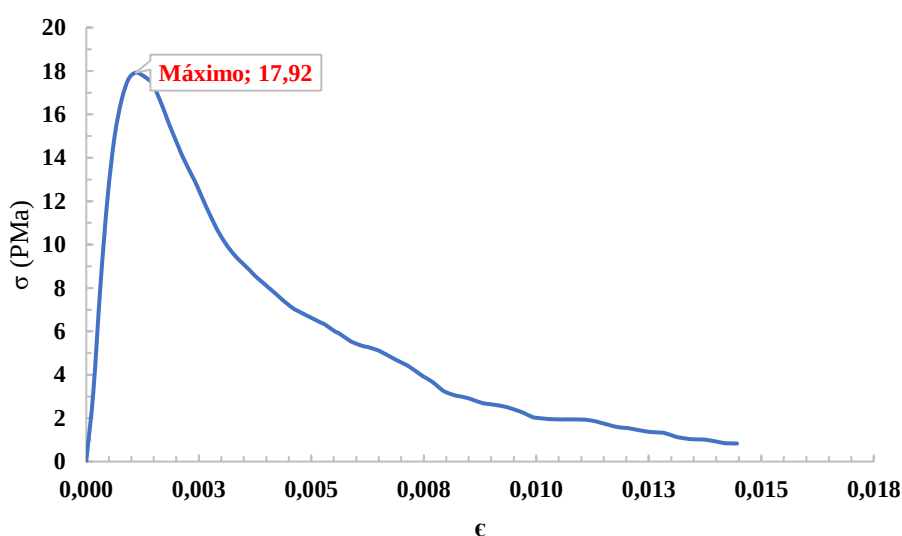
Esfuerzo-deformación unitaria de cubo mortero base

Tiempo máx. valor fuerza (seg)	ϵ (deformidad)	σ (N/mm ²)
92,5	0,001	17,92

Nota. Elaborada por el Autor

Figura 56

Esfuerzo-deformación unitaria de cubo mortero base



Nota. Elaborada por el Autor

En cuanto a la compresión a la resistencia del cubo mortero base, alcanza un esfuerzo de 17,92 MPa en un tiempo de 92,5 segundos, provocando una deformación unitaria de 0,001, a una temperatura de su estado natural que se aproxima a $24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Después de haber alcanzado su máximo esfuerzo, el mortero continúa deformándose con menor intensidad, hasta que colapsa totalmente (ver Figura 56).

k) Ensayo a compresión a cubo de mortero expuesto al fuego a 5 minutos

Tabla 12

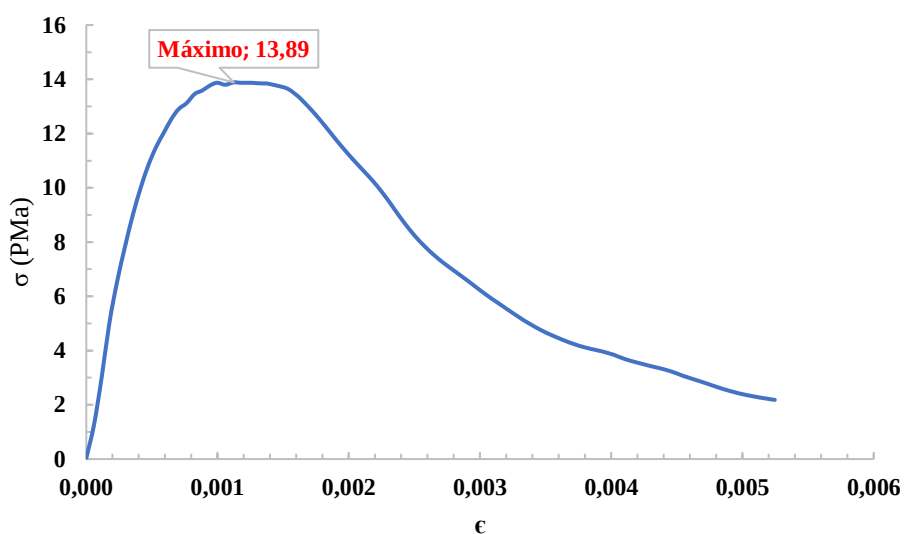
Esfuerzo-deformación unitaria a cubo mortero expuesto al fuego a 5 minutos

Tiempo máx. valor fuerza (seg)	ϵ (deformidad)	σ (N/mm ²)
72	0,001	13,89

Nota. Elaborada por el Autor

Figura 57

Esfuerzo-deformación unitaria a cubo mortero expuesto al fuego a 5 minutos



Nota. Elaborada por el Autor

Al evaluar la compresión a la resistencia del cubo mortero expuesto al fuego durante 5 minutos, alcanza un esfuerzo de 13,89 MPa en un tiempo de 72 segundos, provocando una deformación unitaria de 0,001, a una temperatura de 576 °C. Después de haber alcanzado su máximo esfuerzo, se observa una adaptación en el esfuerzo manteniendo un poco la resistencia, hasta que empieza a deformarse lentamente (ver Figura 57).

l) Ensayo a compresión a cubo de mortero expuesto al fuego a 10 minutos

Tabla 13

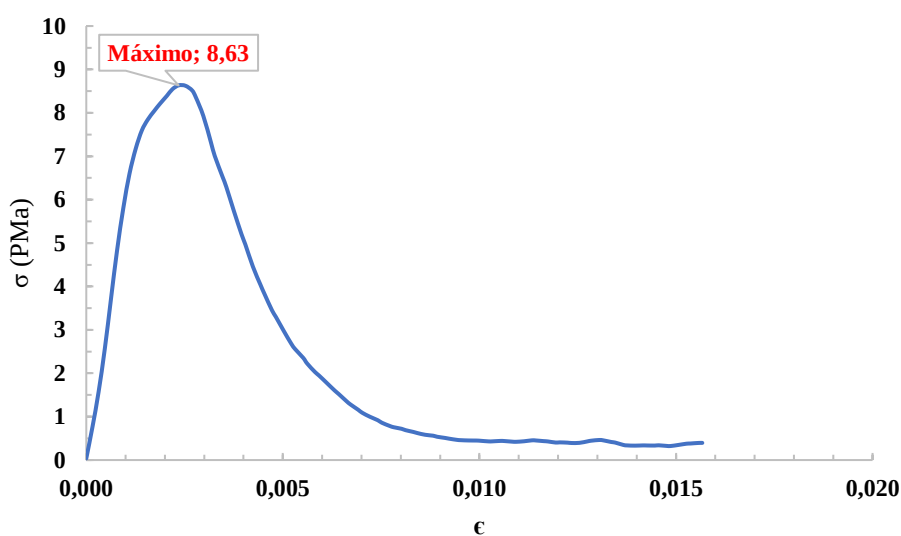
Esfuerzo-deformación unitaria a cubo mortero expuesto al fuego a 10 minutos

Tiempo máx. valor fuerza (seg)	ϵ (deformidad)	σ (N/mm ²)
54,5	0,002	8,63

Nota. Elaborada por el Autor

Figura 58

Esfuerzo-deformación unitaria a cubo mortero expuesto al fuego a 10 minutos



Nota. Elaborada por el Autor

La Figura 58 reporta la compresión a la resistencia del cubo mortero expuesto al fuego durante 10 minutos, alcanzando su máximo esfuerzo de 8,63 MPa en un tiempo de 54,5 segundos, provocando una deformación unitaria de 0,002, a una temperatura de 601 °C. Después de haber alcanzado su máximo esfuerzo, el mortero continúa deformándose con menor intensidad, hasta que colapsa totalmente.

m) Ensayo a compresión a cubo de mortero expuesto al fuego a 15 minutos

Tabla 14

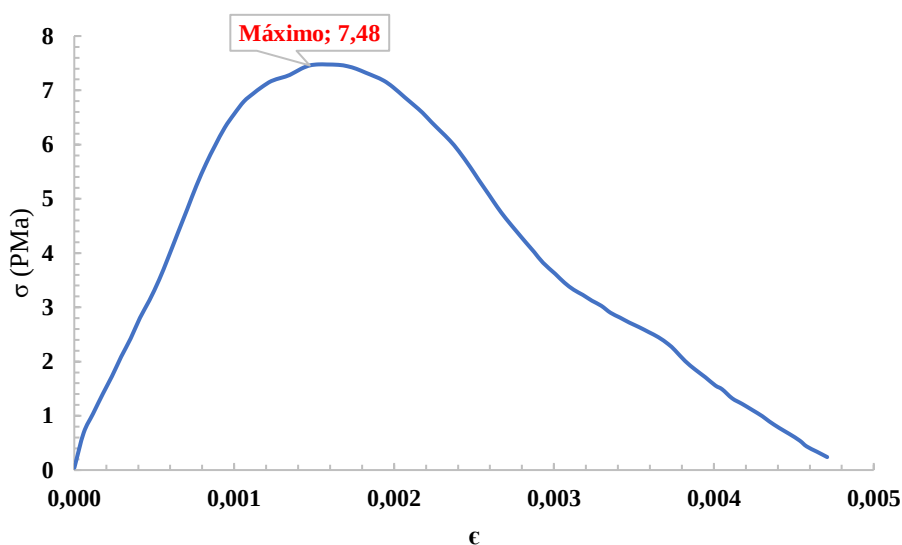
Esfuerzo-deformación unitaria a cubo mortero expuesto al fuego a 15 minutos

Tiempo máx. valor fuerza (seg)	ϵ (deformidad)	σ(N/mm²)
46,6	0,002	7,48

Nota. Elaborada por el Autor

Figura 59

Esfuerzo-deformación unitaria a cubo mortero expuesto al fuego a 15 minutos



Nota. Elaborada por el Autor

La Figura 59 reporta la compresión a la resistencia del cubo mortero expuesto al fuego durante 15 minutos, alcanzando su máximo esfuerzo de 7,48 MPa en un tiempo de 46,6 segundos, provocando una deformación unitaria de 0,002, a una temperatura de 659 °C. Después de haber alcanzado su máximo esfuerzo, se observa una adaptación manteniendo un poco la resistencia, hasta que empieza a deformarse lentamente.

n) Ensayo a compresión a cubo de mortero expuesto al fuego a 0, 5, 10 y 15 minutos

Tabla 15

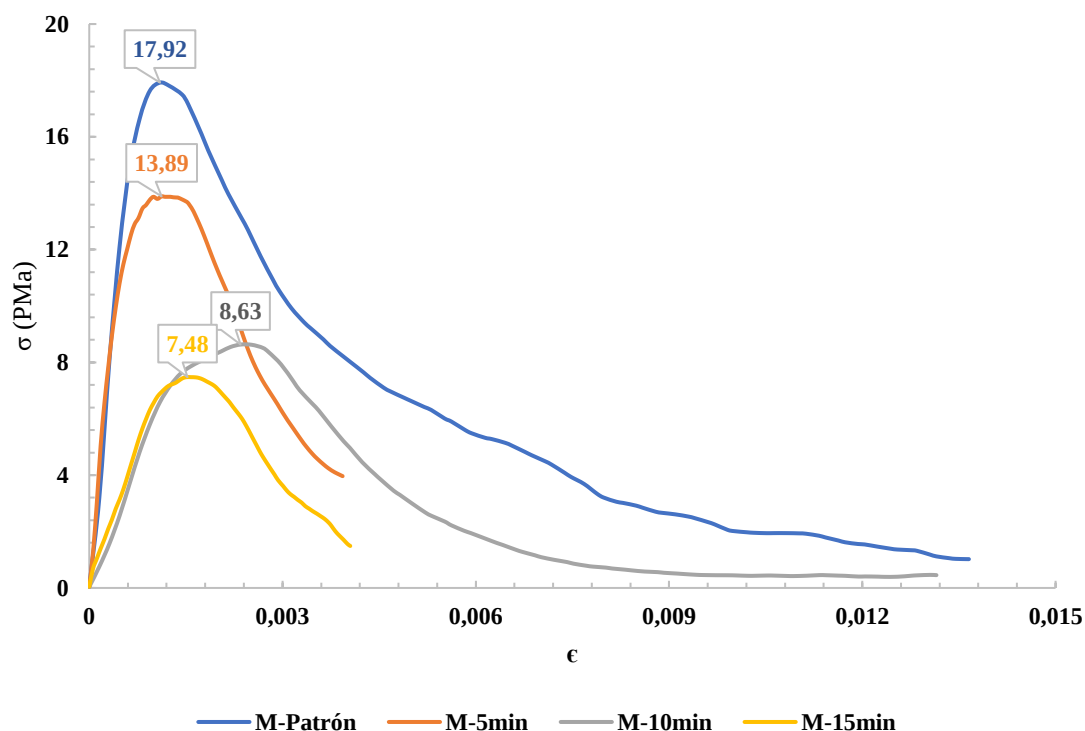
Esfuerzo-deformación unitaria a cubo mortero expuesto al fuego a 0, 5, 10 y 15 minutos

Muestras	Tiempo máx. valor fuerza (seg)	ϵ (deformidad)	σ (N/mm ²)
0 min	92,5	0,001	17,92
5 min	72	0,001	13,89
10 min	54,5	0,002	8,63
15 min	46,6	0,002	7,48

Nota. Elaborada por el Autor

Figura 60

Esfuerzo-deformación unitaria a cubo mortero expuesto al fuego a 0, 5, 10 y 15 minutos



Nota. Elaborada por el Autor

En cuanto a la resistencia del cubo mortero según su temperatura, se aprecia que entre más está la muestra expuesta a fuego, se reduce el esfuerzo en un menor tiempo, demostrando que, la capacidad de resistir a altas temperaturas solo se mantiene durante un tiempo corto, puesto que luego de alcanzar el esfuerzo máximo, las muestras empiezan a deformarse hasta colapsar totalmente. Además, al compararlo con el cubo base (17,92 MPa), en el caso del mortero expuesto a 5 minutos perdió el 23% de resistencia, el de 10 minutos se redujo en un 52% y el de 15 minutos disminuyó un 58% (ver Figura 60).

4.1.5. Resultados de ensayos de adherencia

Se construyeron cuatro modelos de tipo trío, los mismos que fueron utilizados para determinar la resistencia tangencial a través del uso de la Prensa japonesa SHIMADZU CONCRETO 2000X, previo a la exposición de fuego durante 0, 5, 10 y 15 minutos.

a) Ensayo de resistencia tangencial al modelo tipo trío base

Tabla 16

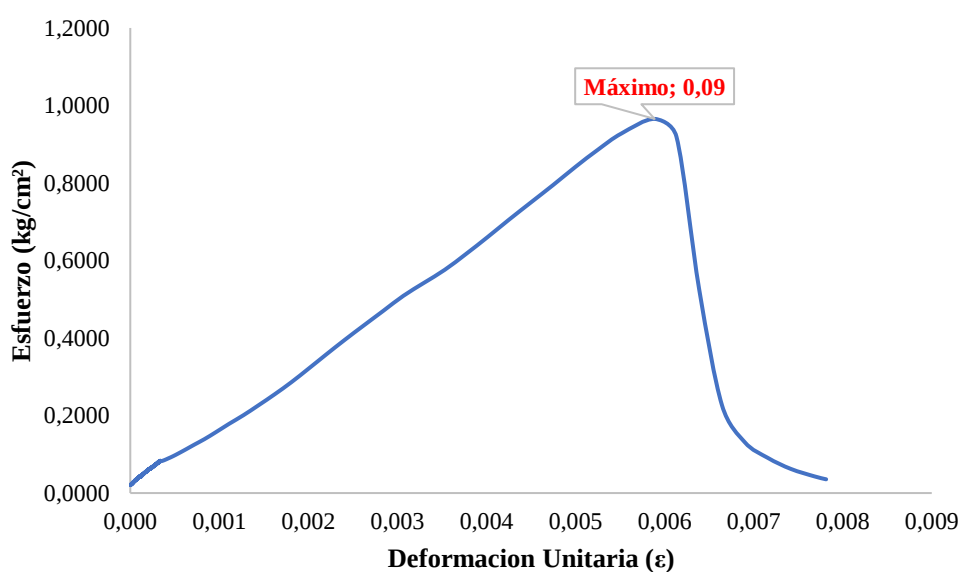
Esfuerzo-deformación unitaria al modelo tipo trío base

Tiempo máx. valor fuerza (seg)	ϵ (deformidad)	σ (N/mm ²)
43,2	0,006	0,09

Nota. Elaborada por el Autor

Figura 61

Esfuerzo-deformación unitaria al modelo tipo trío base



Nota. Elaborada por el Autor

Según los resultados de la Figura 61, se observa que el modelo tipo trío base alcanza un esfuerzo de 0,09 MPa en un tiempo de 43,2 segundos, provocando una deformidad unitaria de 0,006, a una temperatura de su estado natural que se aproxima a $24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lo que indica que, posterior a llegar al esfuerzo máximo, la muestra reduce la fuerza de unión tangencial hasta degradarse.

b) Ensayo de resistencia tangencial al modelo tipo trío expuesto al fuego a 5 minutos

Tabla 17

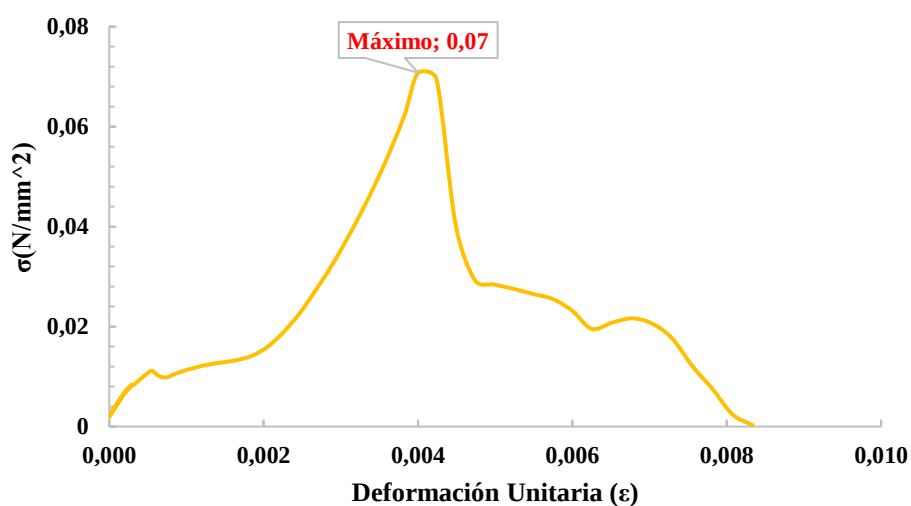
Esfuerzo-deformación unitaria al modelo tipo trío expuesto al fuego a 5 minutos

Tiempo máx. valor fuerza (seg)	ϵ (deformidad)	σ (N/mm ²)
37,5	0,004	0,07

Nota. Elaborada por el Autor

Figura 62

Esfuerzo-deformación unitaria al modelo tipo trío expuesto al fuego a 5 minutos



Nota. Elaborada por el Autor

Según los resultados de la Figura 62, se observa que el modelo tipo trío expuesto al fuego durante 5 minutos alcanza un esfuerzo de 0,07 MPa en un tiempo de 37,5 segundos, provocando una deformidad unitaria de 0,004, a una temperatura de 576 °C. Estos datos revelan que al estar expuesta la muestra al fuego se reduce la fuerza de unión tangencial en un 22% en comparación con la muestra base. Cabe destacar que, las muestras expuestas al fuego durante 10 y 15 minutos se destruyó la adherencia por completo, lo que limitó a realizar el ensayo de esas dos muestras.

4.1.6. Resultados de gases emitidos por los paneles sometidos al fuego

La evaluación de los gases liberados durante la exposición al fuego es crucial para comprender cómo los materiales se descomponen y su posible impacto en el medio ambiente. En este

sentido, se llevó a cabo un análisis detallado de los gases emitidos por los paneles expuestos a diferentes períodos de tiempo al fuego, específicamente 5, 10 y 15 minutos.

Tabla 18

Gases emitidos por los paneles

Monóxido de carbono		
Muestras	CO	Unidad
Muestra 1	475	PPM
Muestra 2	491	PPM
Muestra 3	445	PPM
Muestra 4	693	PPM
Muestra 5	701	PPM
Promedio	561	PPM

Nota. Elaborada por el Autor

Según los datos presentados en la Tabla 18, se recolectaron 5 muestras al momento que el panel ingresa al horno refractario. Es evidente que los niveles de CO en las muestras son muy altos, con un promedio de 561 PPM. Sin embargo, según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos informa que existe un límite aceptable de 9 ppm en un lapso de 8 horas o 25 ppm a una hora. Por otro lado, la Comisión de Seguridad de Productos del Consumidor de los Estados Unidos expone que la exposición al CO no debería sobrepasar del 15 ppm en un tiempo de 8 horas, mientras que para una hora el límite máximo es de 25 ppm (Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, 1996).

En el estudio de las emisiones de gases realizado en el horno refractario, se aprecia solamente la presencia de CO, considerando que, el fuego fue provocado por tanques de gas doméstico. No obstante, esta situación no refleja completamente el objetivo del estudio, puesto que en un incendio estructural en una vivienda es evidente que se generarán una variedad de gases adicionales provenientes de materiales como madera, resina, entre otros. Estos gases deben ser evaluados para determinar su nivel de toxicidad en conjunto con el CO.

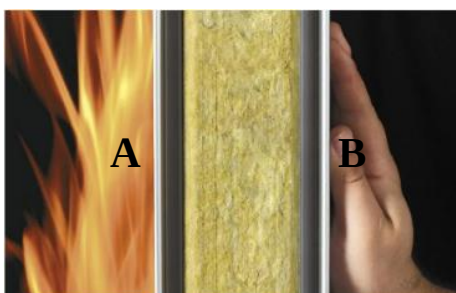
Cabe destacar que, la emisión de gases de CO es producido por una mala combustión de materiales en calentadores, hornos, automóviles, calderas, chimeneas, etc. Además, cuando un individuo inhala CO, las moléculas ingresan al organismo (pulmones) y se transportan al torrente sanguíneo, generando escases de oxígeno en el cerebro. No obstante, pasado los 400 PPM en el ambiente puede producir al ser humano cefaleas y náuseas después de 1 o 2 horas.

4.1.7. Resultados del ensayo de transmisión de calor

Para determinar la transmisión de calor de los paneles que fueron expuestos al fuego durante tres tiempos diferentes, se obtuvo el promedio de cada lado según el tiempo expuesto, para posteriormente ser comparados entre sí. Cabe destacar que, para determinar la transmisión de calor se midió la temperatura desde dos puntos diferentes del panel, la primera (directa) fue del lado del panel que tuvo la exposición directa del soplete y la segunda (indirecta) fue la otra cara del panel opuesta a la exposición directa al fuego (ver Figura 63).

Figura 63

Trasmisión de calor



Nota. A: lado directo del panel expuesto al fuego; B: lado indirecto del panel que no está expuesto al fuego. Tomado de Corporación de Desarrollo Tecnológico (2020)

Tabla 19

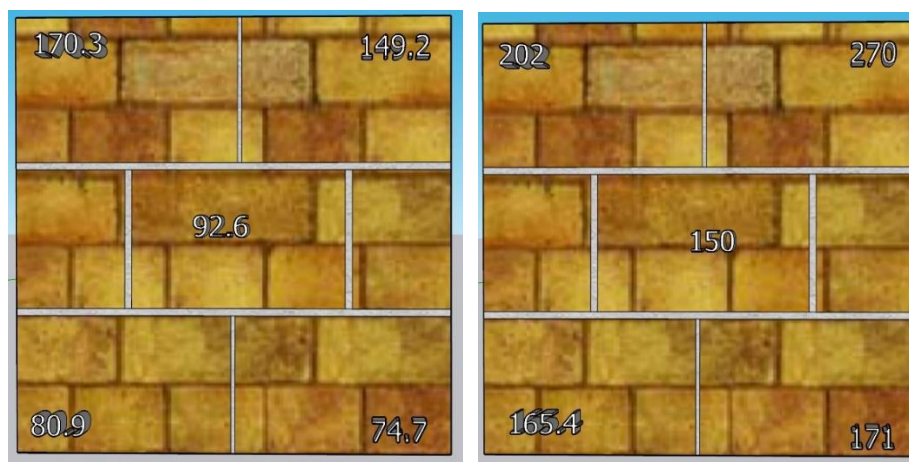
Trasmisión de calor en el panel de manera directa e indirecta

5min		10min		15min	
Directa	Indirecta	Directa	Indirecta	Directa	Indirecta
202 °C	107,3 °C	300 °C	280 °C	401 °C	368 °C
270 °C	149,2 °C	250 °C	242 °C	250 °C	248 °C
150 °C	92,6 °C	270 °C	253 °C	345 °C	302 °C
175,4 °C	80,9 °C	311 °C	295 °C	418 °C	386 °C
171 °C	74,7 °C	232 °C	110 °C	240 °C	185 °C
193,68 °C	100,94 °C	272,6 °C	236 °C	330,8 °C	297,8 °C

Nota. Elaborada por el Autor

Figura 64

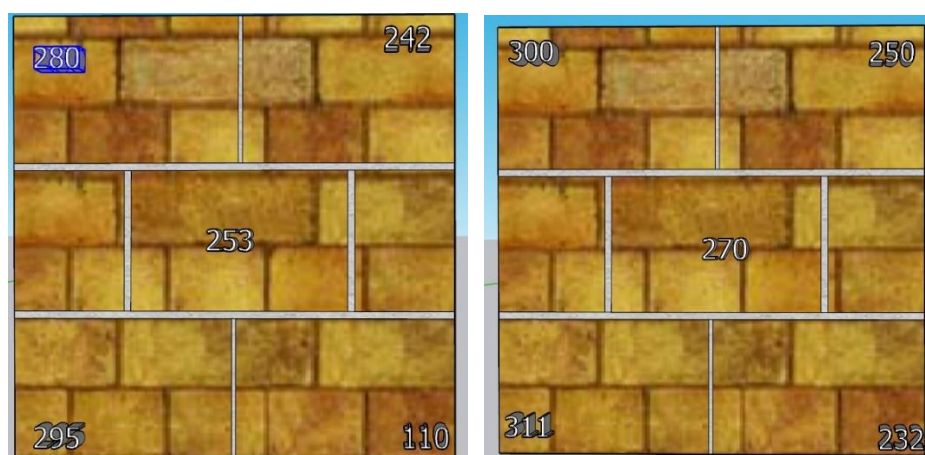
Transmisión de calor del panel expuesto al fuego durante 5 minutos



Nota. Elaborada por el Autor

Figura 65

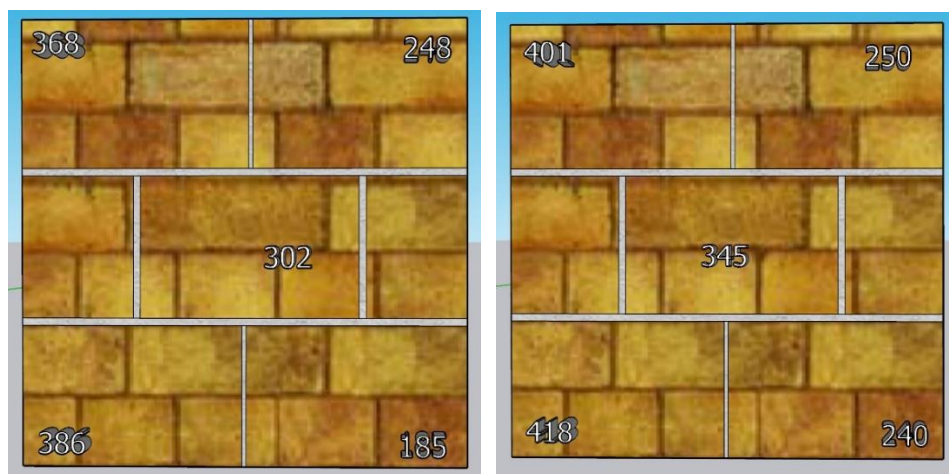
Transmisión de calor del panel expuesto al fuego durante 10 minutos



Nota. Elaborada por el Autor

Figura 66

Transmisión de calor del panel expuesto al fuego durante 15 minutos



Nota. Elaborada por el Autor

Los resultados de la Tabla 18 demuestran la transmisión de calor que alcanzaron los paneles de manera interna y externa. El panel expuesto al fuego durante 5 minutos alcanzó un promedio de temperatura de 193,68 °C en parte interna (exposición directa al fuego); mientras que en la parte externa alcanzó una temperatura promedio de 100,94 °C (ver Figura 64). El panel expuesto al fuego durante 10 minutos alcanzó un promedio de temperatura de 272,60 °C en parte interna; mientras que en la parte externa alcanzó una temperatura promedio de 236 °C (ver Figura 65). Finalmente, el panel expuesto al fuego durante 15 minutos alcanzó un promedio de temperatura de 330,80 °C en parte interna; mientras que en la parte externa alcanzó una temperatura promedio de 297,80 °C (ver Figura 66).

En cuanto al nivel de temperatura que alcanzó el panel tanto en la parte interna como externa, se aprecia que la parte externa del panel expuesto al fuego durante 5 minutos demostró una diferencia del 48% con relación a la parte interna; asimismo, la parte externa del panel expuesto al fuego durante 10 minutos reportó una diferencia del 13% con relación a la parte interna; por último, la parte externa del panel expuesto al fuego durante 15 minutos demostró una diferencia del 10% con relación a la parte interna. Tal como se puede observar, a mayor temperatura menor es la diferencia de °C de la parte externa; es decir, cuando se incrementa el tiempo de exposición al fuego no existe mucha diferencia en la temperatura de la parte externa con relación a la interna.

4.1.8. Resultados de ensayo a Flexión

Se utilizaron 3 morteros de elaboración propia, en una dimensión de 160 x 40 x 40mm, los mismos que fueron utilizados para determinar la resistencia a compresión mediante la utilización de la Prensa de compresión de baja capacidad, previo a la exposición de fuego durante 5, 10 y 15 minutos. Para determinar el módulo de rotura se utilizó la siguiente la siguiente fórmula:

$$E_f = \frac{L^3 F}{4bh^3 \delta} \quad (2)$$

Donde:

E_f = Módulo de flexión (MPa)

F = Fuerza aplicada (N)

L = Longitud de apoyos (mm)

b = Ancho de la probeta (mm)

h = Espesor de la probeta (mm)

δ = Deflexión de la probeta (mm)

Para determinar el comportamiento de las cuatro muestras de viguetas, se las expuso al fuego por 5, 10 y 15 minutos. Para ello, se debe aplicar la siguiente ecuación sobre la carga de anillo:

$$Carga\ Max(lbs) = 5.7069 * x + 20.29 \quad (3)$$

c) Vigueta base

L = 16 cm

h1 = 4.1 cm Volumen = 265.68 cm³

h2 = 4.05 cm

$$x = 31$$

Carga Max = 197.204 libras

Carga Max = 89.450 kilogramos

d) Vigueta expuesta al fuego a 5 minutos

L = 16 cm

h1 = 4.0 cm Volumen = 262.40 cm³

$$h_2 = 4.1 \text{ cm}$$

$$x = 24$$

$$\text{Carga Max} = 157.256 \text{ libras}$$

$$\text{Carga Max} = 71.330 \text{ kilogramos}$$

e) Vigueta expuesta al fuego a 10 minutos

$$L = 16 \text{ cm}$$

$$h_1 = 4.1 \text{ cm}$$

$$\text{Volumen} = 268.96 \text{ cm}^3$$

$$h_2 = 4.1 \text{ cm}$$

$$x = 12$$

$$\text{Carga Max} = 88.773 \text{ libras}$$

$$\text{Carga Max} = 40.267 \text{ kilogramos}$$

f) Vigueta expuesta al fuego a 15 minutos

$$L = 16 \text{ cm}$$

$$h_1 = 4.0 \text{ cm}$$

$$\text{Volumen} = 259.20 \text{ cm}^3$$

$$h_2 = 4.05 \text{ cm}$$

$$x = 9$$

$$\text{Carga Max} = 61.752 \text{ libras}$$

$$\text{Carga Max} = 28.010 \text{ kilogramos}$$

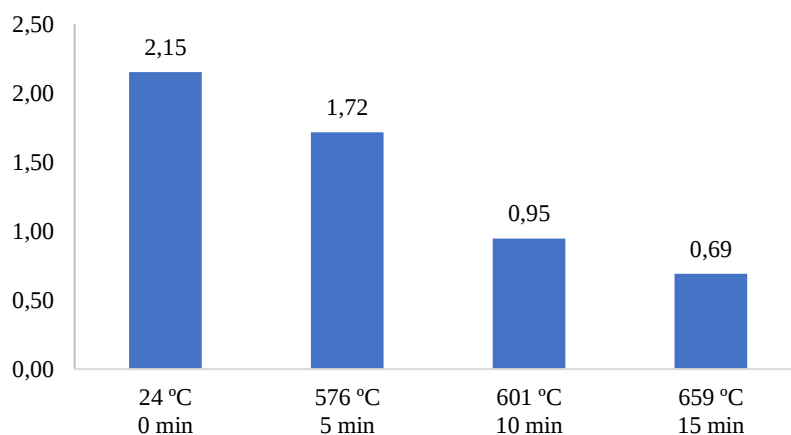
g) Interpretación de las muestras en formas de viguetas

Tabla 20

Ensayo a Flexión de viguetas

Tiempo	Longitud (mm)	Longitud libre	b	h	área	P(N)	Resistencia a la flexión (Mpa)
0 min	160	110	41	40,5	1660,5	877,20932	2,152253
5min	160	110	40	41	1640	699,51191	1,716530
10 min	160	110	41	41	1681	394,88639	0,945376
15 min	160	110	40	40,5	1620	274,68567	0,690796

Nota. Elaborada por el Autor

Figura 67*Ensayo a Flexión de viguetas*

Nota. Elaborada por el Autor

Tal como se observa en la Figura 67, existe una variación notoria en la resistencia a la flexión de las viguetas al relacionarlas con la temperatura y el tiempo al que fueron expuestas al fuego cada una de las muestras. El espécimen que presenta mayor resistencia es la vigueta en estado natural con 2,15 MPa, la cual estuvo a una temperatura ambiente de $24\text{ °C} \pm 8\text{ °C}$; sin embargo, la vigueta que sometida al fuego durante 5 minutos y que ha recibido una temperatura de 576 °C, ha demostrado una disminución en su resistencia con 1,72 MPa; asimismo, la vigueta expuesta al fuego durante 10 minutos reporta una resistencia de 0,95 MPa a una temperatura de 601 °C; por último, la vigueta expuesta al fuego durante 15 minutos muestra una resistencia menor a las anteriores con 0,69 MPa, a una temperatura de 659 °C. El decremento que se observa en la resistencia se debe a que la exposición directa con el fuego afecta de manera negativa en la capacidad de las viguetas para soportar cargas bajo presión. Además, la reducción progresiva de la resistencia con el tiempo que ha sido expuesta al fuego y el incremento de la temperatura muestra una degradación estructural gradual. Esto quiere decir que, a mayor temperatura y tiempo de exposición al fuego, las viguetas pierden su resistencia.

4.2. Conclusiones

Cada uno de los ensayos realizados han reportado datos relevantes y significativos, que servirán de base para determinar el comportamiento estructural de los paneles con perforación horizontal cuando se encuentren sometidos a incendios reales. El horno refractario demostró ser muy eficaz en cuanto a la simulación de incendios reales, considerando que, cada una de las muestras expuestas al fuego reportaron datos significativos y relevantes al someterlos a ensayos de resistencia a compresión, flexión, transmisión de calor, emisión de gases y adherencia. Por tanto, según los objetivos específicos se han considerado las siguientes conclusiones:

- Durante la aplicación de carga a las muestras de mampostería con perforación horizontal, se reporta que los paneles al ser sometidos al fuego a diferentes tiempos y temperaturas presentaron un deterioro progresivo en su resistencia a la fuerza, por lo que al compararlo al panel base (165.17 kN), en el caso del panel expuesto a 5 minutos al fuego perdió el 7% de capacidad, el de 10 minutos se redujo en un 8% y el de 15 minutos bajó un 9%. Por lo tanto, entre mayor tiempo de exposición al fuego, menor será la capacidad de soportar a cargas.
- En cuanto a los ladrillos expuestos al fuego durante diferentes tiempos y que fueron sometidos al ensayo de compresión, presentan una reducción del esfuerzo a medida que aumenta la temperatura, en el caso del ladrillo expuesto a 5 minutos perdió el 7% de resistencia a compresión, el de 10 minutos se redujo en un 9% y el de 15 minutos disminuyó considerablemente el 37%. Por lo tanto, se determinó que, al aumentar la temperatura de las muestras, alcanzan el esfuerzo máximo en menor tiempo y se reduce gradualmente la compresión.
- En lo referente al ensayo de resistencia a flexión a las viguetas, demuestran una reducción del 20% (1,72 MPa) en las muestras expuestas al fuego durante 5 minutos, en comparación a la muestra base (2,15 MPa); asimismo, la muestra expuesta a 10 minutos se redujo un 56% (0,95 MPa); finalmente, la muestra expuesta a 15 minutos bajó la capacidad de resistencia a la flexión en un 68% (0,69 MPa). Observándose el decremento de la resistencia del mortero; es decir, a mayor exposición al fuego, menor será la capacidad para soportar cargas bajo flexión.
- A medida que se incrementa el tiempo de exposición de morteros expuestos al fuego, los resultados de los ensayos a compresión tienden a disminuir su esfuerzo Al

compararlo con el cubo base (17,92 MPa), en el caso del mortero expuesto a 5 minutos perdió el 23% de resistencia a compresión, el de 10 minutos se redujo en un 52% y el de 15 minutos disminuyó un 58%. Por lo tanto, se demostró que la capacidad de resistir a altas temperaturas solo se mantiene durante un período corto, puesto que luego de alcanzar el esfuerzo máximo las muestras empiezan a deformarse hasta colapsar totalmente.

- En lo concerniente al ensayo de resistencia tangencial del modelo tipo trío, se observó que la muestra expuesta al fuego por 5 minutos fue la única que soportó la acción del efecto del calor, teniendo un descenso de adherencia del 22%, es decir de 0.09 a 0.07 MPa respecto a la muestra patrón, mientras que los especímenes expuestos al fuego por un período de 10 y 15 minutos tuvieron fallas en la adherencia del mortero, probablemente debido a la resequedad del material
- Al realizar el ensayo de transmisión de calor en los paneles expuestos al fuego por diferentes tiempos, se pudo apreciar que el lado del panel que tuvo una exposición directa al fuego tuvo una mayor transmisión de calor con relación al otro lado del panel que no tuvo una exposición directa, reportando una diferencia del 48% en los expuestos a 5 minutos, 13% en los de 10 minutos y 10% en los de 15 minutos. Por lo tanto, entre más tiempo esté expuesto el panel a temperaturas altas menor es la diferencia entre ambos lados.
- En lo concerniente al ensayo de emisión de gases, se reportó que el promedio de los niveles de CO en cinco muestras fue de 561 PPM, considerando que es un valor muy elevado, dado que el límite aceptable es de 9 PMM en un lapso de 8 horas y de 25 PPM en 1 hora; sin embargo, cabe destacar que la liberación de estos gases es ocasionada por la combustión que genera el uso del gas doméstico al exponer a las muestras al fuego. Se concluye que, a medida que se incrementa los niveles de CO, mayor será el riesgo para los seres humanos. Por lo tanto, a partir de 1 o dos horas de exposición al fuego puede ocasionar cefaleas y náuseas.

4.3. Recomendaciones

- Se recomienda el uso de pintura ignífuga sobre el muro de mampostería, el cual serviría como protección pasiva al fuego, considerando que, al momento de aplicarla, se crea una espuma que retarda el incendio, por tanto, el fuego se propaga con menor lentitud.

- Es recomendable que se utilice un equipo de protección personal (EPP) durante la realización de los diferentes ensayos en el laboratorio como la compresión de muretes, quema de ladrillos, morteros, muretes y viguetas, a fin de proteger y cuidar su integridad física.
- Se recomienda realizar a futuro otros estudios encaminados en la misma línea de investigación, en donde se compare la resistencia a compresión y a flexión de paneles de diferentes tipos de ladrillos, con el propósito de determinar el más efectivo.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Academia Nacional de Bomberos de Chile. (2016). *Guía de Autoinstrucción N°1. El Fuego y los Incendios*. https://www.anb.cl/documentos_sitio/81229_4_Guia_Fuego.pdf
- Acurio, A. (2024). Exposición a monóxido de carbono en labores subterráneas en trabajos de remediación Zaruma. *Investigación y Desarrollo*, 17(1), 77-86. <https://doi.org/10.29166/revfig.v17i1.5719>
- Afanador, N., Guerrero, G., & Monroy, R. (2012). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para la mampostería. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 22(1), 43-58. <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v22n1/v22n1a03.pdf>
- Afanador, N., Guerrero, G., & Monroy, R. (2012). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 22(1), 43-58. <https://www.redalyc.org/pdf/911/91125275003.pdf>
- Afanador, N., Guerrero, G., & Monroy, R. (2012). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 22(1), 43-58. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91125275003>
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos . (2023). *Preguntas frecuentes acerca del humo de los incendios forestales*. <https://espanol.epa.gov/espanol/preguntas-frecuentes-acerca-del-humo-de-los-incendios-forestales>
- Aguirre, C., Romero, M., Ramírez, J., & Castillo, E. (2022). El ladrillo artesanal de Cuenca (Ecuador): una caracterización inicial en el marco patrimonial. *Conservar Patrimonio*(41), 68-94. <https://doi.org/https://doi.org/10.14568/cp26915>
- Albornoz, S. (Mayo de 2016). El fuego y los incendios. Santiago, Providencia, Chile.
- Arce, J. (2008). Grandes incendios urbanos: mesa redonda, Lima 2001. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 25(1), 118-124. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v25n1/a14v25n1.pdf>
- Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la madera. (2014). *Área Técnica: Protección de la madera. Estructuras madera y fuego*. https://www.csaec.com/area_tecnica/aitim/enlaces/documentos/AITIM_Estructuras_de_maderayFuego_01.09.14.pdf

- Averardo, M. (2009). *El Ladrillo – Orígenes y Desarrollo*. FAU-UNNE. <https://arquitectologicofau.files.wordpress.com/2012/02/el-ladrillo-2009.pdf>
- Ávila, J., Eguez, H., & Roa, O. (2019). Evaluación del Comportamiento en Compresión de Morteros Reforzados con Óxido de Grafeno y Costos Inherentes al Proceso Productivo de Mezcla. *INVESTIGATIO*, 1(12), 49-66. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.31095/investigatio>.
- Barreiro, L. (2023). *Puesta en valor del ladrillo artesanal fabricado en la ciudad de Santa Ana de vuelta larga, provincia de Manabí*. Tesis doctoral, Universidad San Gregorio de Portoviejo. <http://repositorio.sangregorio.edu.ec/bitstream/123456789/3046/1/TESIS%20POSGRADO%20ARQ.%20ANTONIO%20BARREIRO%20%281%29.pdf>
- Berrios, G., & Gómez, J. (2015). *Revisión de la metodología de evaluación de la resistencia a la comprensión de la mampostería de ladrillo de barro cocido*. Tesis de grado, Universidad de El Salvador. <https://acortar.link/gOYbCr>
- Calle, M. (2018). *Influencia de la granulometría y el tipo de cemento en la contracción por secado de morteros estructurales*. Tesis de grado, Universidad de Piura, Facultad de Ingenieria. <https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/c19549d7-fd54-4802-b22a-fd5d18927fce/content>
- Cañarte, D., Bravo, Y., & Guerra, J. (2023). Estudio comparativo del comportamiento de morteros de albañilería elaborados con varios tipos de agregados finos. *Dom. Cien.*, 9(3), 1606-1623. <https://doi.org/https://doi.org/10.23857/dc.v9i3.3516>
- Cárdenas, V. (2019). *Comportamiento térmico de envoltantes multicapa basados en ladrillo*. Tesis de grado, Universidad del Azuay, Diseño y Arquitectura y Arte facultad. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9267>
- Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades. (1996). *Prevención de envenenamiento con monóxido de carbono producido por herramientas y equipos con motores pequeños de gasolina*. https://www.cdc.gov/spanish/niosh/docs/96-118_sp/default.html#print
- Covarrubias, M. (2017). *Comportamiento estructural analítico de muros de mampostería sometidos a altas temperaturas*. Tesis de grado, Universidad Autónoma de Nuevo León. <https://eprints.uanl.mx/16123/1/1080290864.pdf>

- Covarrubias, M., & Ruvalcaba, F. (2017). Comportamiento térmico y estructural de muros de mampostería sometidos a altas temperaturas. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural*, 1(1), 1-15.
https://www.researchgate.net/publication/310442086_Comportamiento_termico_y_estructural_de_muros_de_mamposteria_sometidos_a_altas_temperaturas
- Diccionario panhispánico del español jurídico. (2001). Incendio.
<https://dpej.rae.es/lema/incendio>
- Dueñas, A., Putzeb, G. B., Alonso, J., Bajod, A., Climente, B., Corralf, E., . . . Puiguriguer, J. (2010). Bases del manejo clínico de la intoxicación por humo de incendios «Docohumo Madrid 2010. *Medicina Intensiva*, 34(9), 609-619.
<https://scielo.isciii.es/pdf/medinte/v34n9/consenso.pdf>
- Feijoo, E., Feijoo, B., & Poma, P. (2022). Evaluation of the compressive strength of traditional elements used in masonry. *Revista en Ciencias de la Ingeniería*, 3(10), 7-15.
<https://doi.org/https://doi.org/10.47460/athenea.v3i10.44>
- Franco, Y., González, L., & Calderín, F. (2022). Consideraciones acerca del diseño sismorresistente de viviendas con mampostería confinada en Santiago de Cuba. *Ciencia en su PC*, 1(1), 50-65.
<https://www.redalyc.org/journal/1813/181372324009/181372324009.pdf>
- Gabriel, J. (2017). Cómo se genera una investigación científica que luego sea motivo de publicación. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 18(2), 155-156.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2072-92942017000200008
- González, K., Sánchez, R., Pita, D., & Pérez, L. (2019). Caracterización de las propiedades mecánicas de un ladrillo no estructural de tierra como soporte de material vegetal en muros verdes. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 20(3), 1-12.
<https://doi.org/https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2019.20n3.030>
- Guerrero, G., Espinel, E., & Sánchez, H. (2017). Análisis de temperaturas durante la cocción de ladrillos macizos y sus propiedades finales. *Tecnura*, 21(51), 118-131.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.1.a09>

- Guerrero, G., Espinel, E., & Sánchez, H. G. (2017). Análisis de temperaturas durante la cocción de ladrillos macizos y sus propiedades finales. *Tecnura*, 21(51), 118-131. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.1.a01>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. d. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. <https://acortar.link/I03so>
- Huamani, M., & Guerra, S. (2020). *Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de unidades de albañilería de arcilla maciza adicionadas con diatomita del yacimiento de San Juan de Tarucani, Arequipa 2020*. Tesis de grado, Universidad Continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8087/3/IV_FIN_105_TI_Huamani_Solis_2020.pdf
- Isasmendi, C., Palazzi, S., & Anaya, D. (2014). *Mortero para mampostería sismorresistentes con aglomerantes hidráulicos y cenizas de bagazo de la caña de azúcar*. Asociación de Ingenieros Estructurales. <https://jornadasaie.org.ar/jornadas-aie-antiores/2014/contenidos/trabajos/091.pdf>
- ISO 834: *Estándar de resistencia al fuego en construcción*. (s.f.). Organización Internacional de Normalización. <https://normasiso.org/norma-iso-834/#:~:text=La%20norma%20ISO%20834%20es,bienes%20en%20caso%20de%20incendio>.
- López, J., Espinosa, L., & Guevara, R. (2014). Estudio de la resistencia mecánica a la compresión de ladrillos elaborados a partir de mezclas arcilla roja-cemento Portland. *Revista Científica Nexa*, 27(2), 90-98. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7600312>
- Lucas, M. (2011). *Estudio y análisis de cerramientos de alta eficiencia energética*. Tesis de grado, Universitat Politècnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/handle/10251/11668>
- Maciá, M., & Rolando, A. (2013). Young modulus variation of a brickwork masonry element submitted to high temperatures. *Materiales de Construcción*, 63(309), 105-116. <https://doi.org/10.3989/mc.2012.02311>
- Marinilli, A., & Castilla, E. (2007). Evaluación sismorresistente de muros de mampostería confinada con dos o más machones. *Boletín Técnico*, 45(2), 58-73. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0376-723X2007000200004

- Menegon, J., Graeff, A., & Silva, L. (2020). Structural masonry walls exposed to high temperatures with thermal expansion control. *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción*, 10(1), 98-114. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21041/ra.v10i1.440>
- Método de prueba estándar ASTM C39/C39M. (2010). *Resistencia a la compresión de cilindros de concreto*. IACET. <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/images/ensayos/3-concreto/3.10-11.pdf>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). (2014). *Mampostería Estructural*. Norma Ecuatoriana de la Construcción. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/10.-NEC-SE-MP-Mamposteria-Estructural.pdf>
- Mubarqui, N. (2020). *Determinación de propiedades termo-mecánicas del ladrillo refractario empleado en los hornos alfareros tradicionales*. Universidad Autónoma Metropolitana. Azcapotzalco. https://dcbi.azc.uam.mx/media/Licenciaturas/Mecanica/RevisionPPI/PPI-011-20-PI-NASSER_MUBARQUI_GUEVARA_E3.pdf
- Navas, A., & Arias, E. (2015). Propiedades del mortero empacado en seco para pega de bloques de mampostería. *Ingeniería*, 25(2), 45-58. <https://doi.org/https://doi.org/10.15517/jte.v25i2.18228>
- NTE - INEN 293. (1977). *Ladrillos cerámicos. Definiciones, clasificación y condiciones generales*. Instituto Ecuatoriano de Normalización. <https://studylib.es/doc/4480388/nte-inen-0293--ladrillos-cer%C3%A1micos.-definiciones.-clasifi...>
- NTE INEN 0488:2019. (2009). *Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de* (Quinto ed.). <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-central-del-ecuador/ensayo-de-materiales/nte-inen-488-2-resistencia-a-la-compresion-en-cubos-de-mortero/23206008>
- NTE INEN 804:2013. (2013). *Prevención de incendios. Determinación de la resistencia al fuego de elementos constructivos. Método de ensayo*. INEN. <https://acortar.link/ZgE3i3>

- NTP 549. (2000). *El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire*.
https://www.insst.es/documents/94886/327064/ntp_549.pdf/e9364a82-6f1b-4590-90e0-1d08b22e1074
- Paredes, J., Pérez, C., & Castro, C. (2017). Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplicado a la industria automotriz. *Enfoque UTE*(8), 1-15.
<https://doi.org/https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n3.163>
- Patiño, J., Gutiérrez, Y., Leal, J., Castro, J., & Hurtado, O. (2018). Estudio del Comportamiento de Muestras de Mortero Natural Sometidas a Esfuerzo de Compresión. *Lámpsakos*, 1(20), 22-28. <https://doi.org/https://doi.org/10.21501/21454086.2736>
- Patiño, L. (2019). *Patología del ladrillo en fachadas causada por agentes atmosféricos. Estudio de caso ciudad de Bogotá*. Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69606>
- Pelchor, A., & Ramón, L. (2014). *Análisis e implementación de un sistema de costos para los artesanos dedicados a la elaboración de ladrillos en la parroquia Balzay en el cantón cuenca con aplicación en el taller hnos. Condo*. Tesis de grado, Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/21754/1/TESIS2015.pdf>
- Pérez, G., Rosales, J. M., López, A., Ponce, C., & Ibarra, L. Á. (2021). Alternativas para el incremento de la adherencia del carrizo, para mejorar su respuesta a la flexión. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 1(3), 1-14.
<https://www.redalyc.org/journal/1939/193969257002/193969257002.pdf>
- Ponce, C., Carrillo, J., & López, A. (2020). Fabricación de ladrillos con polvo-residuo de mármol en México. Propiedades físicas y mecánicas del polvo-residuo de mármol de la provincia de la Comarca Lagunera, en México. *Revista de Arquitectura*, 22(2), 106-113. <https://doi.org/https://doi.org/10.14718/RevArq.2020.2554>
- Quinde, J., Jiménez, J., & Ortega, E. (2023). Revisión de Normas de Diseño para Mampostería Confinada en Latinoamérica: Propuestas para la Norma Ecuatoriana de Construcción. *Revista Politécnica*, 51(1), 77-92.
<https://doi.org/https://doi.org/10.33333/rp.vol51n1.07>

- Romero, J. (2021). *Determinación de la resistencia a compresión de ladrillos macizos fabricados con diferentes tipos de arcilla del cantón Pastaza y su comparación con el ladrillo común*. Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/33092/1/Tesis%20I.%20C.%201488%20-%20Romero%20Coyago%20Johanna%20Alexandra.pdf>
- Salamanca, R. (2001). La Tecnología de los morteros. *Ciencia e Ingeniería*, 41-48. <https://www.redalyc.org/pdf/911/91101107.pdf>
- Salvatierra, A., & Valle, A. (2021). Diseño de un mortero hidráulico, utilizando cemento blanco como aglomerante de los agregados. *Revista científica Yachana*, 10(2), 151-160. <http://revistas.ulvr.edu.ec/index.php/yachana/article/view/737/559>
- Sánchez, R., Pita, D., González, K., & Hormaza, J. (2019). Análisis de mezclas de residuos sólidos orgánicos empleadas en la fabricación de ladrillos ecológicos no estructurales. *Revista de Ciencias Ambientales*, 53(1), 23-44. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15359/rca.53-1.2>
- Sanmartín, F., & Tuba, M. (2014). *Análisis y determinación de los costos de la explotación, procesamiento, acabado y comercialización de ladrillo y teja de los diferentes talleres de la parroquia rural de Sinincay, cantón Cuenca año 2014*. Tesis de grado, Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21877/1/tesis.pdf>
- Servicio de Normativa Técnica, Supervisión y Control. (2004). *Normativa de ladrillos y bloques*. Dirección General de Arquitectura y Vivienda. <https://www.madrid.org/bdcm/normativa/PDF/Ladrillos%20y%20bloques/Compendio/CPLADR.pdf>
- Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE). (2018). *Incendios estructurales*. <https://nube.gestionderiesgos.gob.ec/index.php/s/oBD3LTw8xrnHwN9>
- Soto, G., & Sánchez, L. (2017). Estudio comparativo de la resistencia a la compresión, absorción y dimensionamiento del ladrillo Rafón producido en Quimistán, Chamelecón y Florida, Honduras. *nnovare*, 6(1), 97 – 116. <https://www.unitec.edu/innovare/published/volume-6/number-1/616-estudio-comparativo-de-la-resistencia-a-la-compresion-absorcion-y-dimensionamiento-del-ladrillo-rafon-producido-en-quimistan-chamelecon-y-florida-honduras.pdf>

- Tamayo, E. (2020). *Cámara Industrial de Cerámica Roja (CICER)*. <https://es.scribd.com/document/481060003/CICER-Camara-Industrial-de-Ceramica-Roja-ver>
- Torres, R., Martínez, V., García, R., Rojas, L., & Rodríguez, E. (2018). *Estudio de propiedades mecánicas del concreto sometido a los efectos de altas temperaturas*. 8, Universidad Central Caracas - Venezuela. <http://www.ing.ucv.ve/jifi2018/documentos/ambiente/AIS045.pdf>
- Torrisi, G. (2012). *Análisis y Diseño de Estructuras de Hormigón Armado y Mampostería*. Tesis de grado, Universidad Nacional de Cuyo. <https://acortar.link/cy0GxZ>
- Urrego, M. (2021). *Efectos del fuego en las estructuras de concreto armado respecto a otros materiales estructurales y la necesidad de los sistemas de protección*. Tesis de grado, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Programa de Ingeniería Civil. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/1968/Urrego%20Calder%C3%B3n%20Miller%20Guioyany-2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=14&zoom=100,102,216>
- Vega, J., Lagos, M., & Salgado, G. (2017). Monitoreo de concentración de monóxido de carbono usando tecnología Long-Range. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*(18). <https://doi.org/10.17163/ings.n18.2017.09>
- Zavaleta, R. (2019). Tiempos necesarios para el establecimiento de equilibrio térmico en el procesamiento de castaña. *Acta Nova*, 9(2), 1-21. http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v9n2/v9n2_a07.pdf

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Jefferson Mauricio Acosta Chilpe portador de la cédula de ciudadanía N.º 0106700107. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICOS- MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERIA CON PERFORACIÓN HORIZONTAL SOMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS"** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 18 de marzo de 2024

F: 
Jefferson Mauricio Acosta Chilpe
0106700107