



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

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

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“COMPORTAMIENTO FÍSICO Y MECÁNICO DE
ELEMENTOS EXPUESTOS AL FUEGO: MAMPOSTERÍA
+ENLUCIDO (PANELES DE LADRILLO)”**

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

AUTORES: CARLOS DAVID GALARZA LITUMA

EMMANUEL ESTEBAN MOLINA CAMPOVERDE

DIRECTOR: MSC. ING. CARLOS JULIO CORDERO CABRERA

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

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

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

**“COMPORTAMIENTO FÍSICO Y MECÁNICO DE
ELEMENTOS EXPUESTOS AL FUEGO: MAMPOSTERÍA
+ENLUCIDO (PANELES DE LADRILLO)”**

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

AUTORES: CARLOS DAVID GALARZA LITUMA

EMMANUEL ESTEBAN MOLINA CAMPOVERDE

DIRECTOR: MSC.ING. CARLOS JULIO CORDERO CABRERA

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Carlos David Galarza Lituma y Emmanuel Esteban Molina Campoverde portadores de las cédulas de ciudadanía N° **0106888027** y **0104931399**. Declaramos ser autores de la obra: **“Comportamiento físico y mecánico de elementos expuestos al fuego: mampostería + enlucido (paneles de ladrillo)”**, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 28 de febrero del 2024

F:

Carlos David Galarza Lituma

0106888027

F:

Emmanuel Esteban Molina Campoverde

0104931399

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo de titulación con el tema “**COMPORTAMIENTO FÍSICO Y MECANICOS DE ELEMENTOS EXPUESTOS AL FUEGO: MAMPOSTERÍA+ENLUCIDO (PANELES DE LADRILLO)**” fue desarrollado, Carlos David Galarza Lituma; Emmanuel Esteban Molina Campoverde, bajo mi supervisión.

Atentamente,

F:

Msc. Ing. Carlos Julio Cordero Cabrera

C.I. 0103382958

DOCENTE – TUTOR

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de titulación a Dios, quien ha guiado este arduo camino, a mis padres quienes me han inculcado el estudio desde muy temprana edad y me han guiado con su conocimiento y sabiduría. A mis hermanos, prometida, amigos y demás compañeros que han formado parte y han impulsado este proceso académico. A la unidad académica y los docentes que nos han impartido sus conocimientos de la mejor manera

Carlos David Galarza Lituma

Dedico este trabajo de investigación a mi familia, que ha sido un pilar fundamental en mi formación personal y académica. A mis padres, quienes con su esfuerzo y sacrificio me han brindado la oportunidad de superarme y cumplir mis metas. A mi hermano y a mi hermana, por su apoyo incondicional y motivación constante.

También dedico este trabajo a todas aquellas personas que me han acompañado a lo largo de este camino, brindándome una palabra de aliento cuando más lo necesitaba. Y por supuesto, a mis profesores y tutores, por compartir sus conocimientos.

A todos ellos les agradezco de corazón el haber sido parte de este trayecto. Este logro también les pertenece a ustedes.

Emmanuel Esteban Molina Campoverde

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la unidad académica de Ingeniería Civil, Industria y Construcción que nos brindó la oportunidad de formarnos profesionalmente. A todos nuestros profesores por compartir sus conocimientos y experiencias, por motivarnos a dar lo mejor de nosotros mismos y por la paciencia y dedicación que tuvieron con nosotros.

Un agradecimiento especial merece nuestro tutor, el Ingeniero Carlos Cordero, por su orientación y apoyo incondicional, por impulsarnos a aprovechar al máximo las enseñanzas recibidas y a aprender también fuera de las aulas. Finalmente, un fraternal abrazo a todos nuestros compañeros y amigos, con quienes compartimos largas jornadas de estudio y los mejores momentos en nuestra etapa universitaria.

RESUMEN

Esta investigación analizó el comportamiento físico y mecánico de paneles de ladrillo con enlucido expuestos a condiciones de incendio (simuladas en un horno fabricado en Ricaurte en los laboratorios de la Universidad). Específicamente, se probó cómo afecta al desempeño estructural de los paneles la exposición a altas temperaturas por períodos de 5, 10 y 15 minutos. Así como también se realizaron ensayos de compresión y flexión en paneles en dos variaciones:

- Con enlucido en ambos lados (Ambas caras del panel), y
- Enlucido en un solo lado (Una sola cara del panel).

Los resultados muestran cambios en la resistencia y afección en la capacidad de carga de los paneles después de la exposición al fuego. Lo más destacado de los ensayos es que, la adherencia entre ladrillo y enlucido se pierde conforme aumenta el tiempo en el horno, es decir el mortero es quien mayormente sufre afecciones en su resistencia al momento de las pruebas.

Sin embargo, se recalca que, la presencia del enlucido es de suma importancia para proteger las juntas entre ladrillos, previniendo el colapso por acción del calor. En todos los casos, el rendimiento del panel depende tanto de las propiedades de la mampostería como de la protección adicional que provee el enlucido. Este estudio destaca la importancia de considerar el efecto del fuego en el diseño estructural, la construcción segura con mampostería; y para tener en cuenta los procesos constructivos posteriores al diseño. Los resultados entregan evidencia relevante sobre el comportamiento de este tipo de elementos constructivos ante condiciones de incendio simuladas.

Palabras clave: exposición al fuego, resistencia, mampostería,

ABSTRACT

This research analyzed the physical and mechanical behavior of brick panels with plaster exposed to fire conditions (simulated in an oven manufactured in Ricaurte in the laboratories of the University). Specifically, it was tested how exposure to high temperatures for periods of 5, 10, and 15 minutes affects the structural performance of the panels. Compression and flexural tests were also conducted on panels in two variations:

- Plaster on both sides (Both faces of the panel) and
- The plaster is on only one side (One-panel face).

The results show changes in the panels' strength and load-carrying capacity after fire exposure. The most significant aspect of the tests is that the adhesion between brick and plaster is lost as the time in the oven increases, meaning that the mortar mostly suffers from a decrease in its resistance during the tests.

However, it is emphasized that plaster is of utmost importance to protect the joints between bricks, preventing collapse due to heat. In all cases, the panel's performance depends on the masonry's properties and the plaster's additional protection. This study highlights the importance of considering the effect of fire on structural design, safe construction with masonry, and considering construction processes after design. The results provide relevant evidence on the behavior of this type of construction element under simulated fire conditions.

Keywords: fire exposure, strength, masonry

Contenido

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	1
CERTIFICACIÓN	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS	4
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
CAPÍTULO I	11
1.1 Introducción	11
1.2 Delimitación Del Problema.....	12
1.3. Justificación	13
1.4 Objetivos	13

1.4.1 Objetivo General	13
1.4.2 Objetivos Específicos.....	13
1.5 Estado del Arte.....	14
MARCO TEÓRICO.....	15
1.6 Fuego y Calor.....	15
1.7 Combustibles.....	15
1.7.1 Carga de fuego	16
1.8 Incendio.....	16
1.8.1 Tipos de incendios	16
1.8.2 Fases de un incendio	17
1.9 Mampostería	18
1.9.1 Clasificación la de mampostería estructural	18
1.9.2 Comportamiento térmico	19
1.9.3 Emisión de gases.....	20
f 1.10 El ladrillo	20
1.10.1 Propiedades del ladrillo.....	20
1.11 Mortero	21
1.11.1 Propiedades del mortero	22
1.12 Horno	23
1.13 Parámetros sobre la exposición al fuego.....	23
1.14 Curva ISO 834	25
CAPITULO II- METODOLOGIA	27
2.2 Ensayo de compresión (cubos)	30
2.3 Ensayo de viguetas.....	32
2.4 Ensayo de adherencia. Resistencia de unión tangencial en modelo tipo tríos.	33
2.5 Ensayo de emisión de gases	34
2.6 Ensayo de compresión axial (paneles).....	35
CAPÍTULO III --DISCUSIÓN Y RESULTADOS	37
3.1 Resultados de ensayos temperatura	37
3.3. Resultados de ensayos emisión de gases	40
3.3. Resultados de ensayo de compresión.....	42
• Adherencia de trio de ladrillos	42
• Cubos de mortero	44

• Viguetas de mortero.....	46
3.4 PANELES.....	48
Panel enlucido en un solo lado.....	48
Panel enlucido en 1 solo lado Modelo Patrón.....	48
Panel enlucido en 1 solo lado 5min en el horno	48
Panel enlucido en 1 solo lado 10 min en el horno	49
Panel enlucido en 1 solo lado 15 min en el horno	49
Ensayos de cada uno de los paneles.....	50
Panel enlucido en 2 lados.....	51
Panel enlucido en 2 lados modelo Patrón	51
Panel enlucido en 2 lados 5 min en el horno	51
Panel enlucido en 2 lados 10 min en el horno	52
Panel enlucido en 2 lados 15 min en el horno	52
Ensayos de cada uno de los paneles.....	53
CAPÍTULO IV– CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
4.1 Conclusiones.....	54
4.2 Recomendación.....	56
4.3 Bibliografía	56
4.4 Anexos	57
AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	77

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Esquema clásico de un fuego comportamental.....	19
Ilustración 2 Horno del CITT	23
Ilustración 3 Variación de temperatura en el horno.....	24
Ilustración 4 Curva ISO 834	25
Ilustración 5 Grafica Tiempo-temperatura (dos lados del panel)	38
Ilustración 6 Horno -2lados enlucido.....	39
Ilustración 7 Grafica tiempo-temperatura (un solo lado enlucido).....	39
Ilustración 8 Panel después de 10min en el horno	40
Ilustración 9 Rangos admisibles de Monóxido de Carbono	41
Ilustración 10 Ensayo de Adherencia-trio Modelo Patrón.....	43
Ilustración 11 Adherencia trio a los 5-10 min en el horno	43
Ilustración 12 Ensayo a compresión de los cubos de mortero	45

Ilustración 13 Ensayo a flexión en las viguetas 28	47
Ilustración 14. Resultados a compresión de los paneles enlucidos en un solo lado.	48
Ilustración 15 Grafica Fuerza-Deformación	51
Ilustración 16 Ingreso de paneles al horno	58
Ilustración 17 Mezcla de mortero	58
Ilustración 18 Muestra de adherencia	59

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Carga de combustible media para distintas actividades.....	16
Tabla 2 Propiedades del ladrillo	21
Tabla 3 Dimensiones de los paneles	35
Tabla 4 Promedio entre las emisiones de gases	40
Tabla 5 Ensayo de Adherencia Trio.....	42
Tabla 6 Ensayo a compresión de cubos de mortero.....	44
Tabla 8 Resistencia a la flexión de las viguetas a los 28 días.....	47

INDICE DE FIGURA

Figura 1: Paneles en el horno.....	28
Figura 2: Viguetas y cubos	29
Figura 3 Mezcla de mortero para cubos y viguetas	29
Figura 4 Mezcla de mortero.....	30
Figura 5 Cubos de 5x5x5 después del horno	30
Figura 6 Ensayo de Compresión	31
Figura 7 Rotura del cubo.....	31
Figura 8 Resultado del esfuerzo-deformación	32
Figura 9 Mezcla para viguetas	32
Figura 10 Viguetas de mortero	33
Figura 11 Viguetas después del horno	33
Figura 12 Trio de ladrillos y ensayo a compresión.....	34
Figura 13 Ensayo de transmisión de gases	34

Figura 14 Paneles después del ensayo a compresión.....	36
Figura 15 Horno.....	37
Figura 16 Blower	37
Figura 17 Ensayo flexión de viguetas.....	46
Figura 18 Paneles 5 min expuesto al horno (1lado enlucido).....	50
Figura 19 Paneles a los 10 min en horno (1 enlucido).....	50
Figura 20 Paneles 15 min en el horno (1lado enlucido)	50
Figura 21 Panel 2 lados enlucido 5 min en el horno.....	53
Figura 22 Paneles de 10 min en el horno.....	53
Figura 23 Paneles de 15 min en el horno.....	54
Figura 24 Adherencia patrón	64
Figura 25 Adherencia 5min	65
Figura 26 Adherencia 10 min	66
Figura 27 Adherencia 15 min	67
Figura 28 Cubo Patrón 1	68
Figura 29 Cubo Patrón muestra 2	69
Figura 30 Cubo Patrón muestra 3	70
Figura 31 Cubo 5 min_1	71
Figura 32 Cubo 5 min_2	72
Figura 33 Cubo 10 min_1	73
Figura 34 Cubo 10 min_2	74
Figura 35 Cubo 15 min_1	75
Figura 36 Cubo 15 min _2	76

CAPÍTULO I

1.1 Introducción

La mampostería en la ingeniería civil cumple un papel muy importante dentro de la construcción, en muchas situaciones, esta, ofrece una resistencia al fuego lo cual puede ser crucial en la seguridad de la estructura, ocasionadas por accidentes (incendios) que llevan a altas temperaturas, se puede constatar que si existe un índice alto en la Ciudad de Cuenca (Mario Covarrubias Navarro, 2016)

Cuando los elementos de mampostería se exponen directamente al fuego tienden a experimentar cambios tanto físicos como mecánicos, lo cual ocasiona que estos cambios sean muy significativos en la integridad estructural de alguna edificación en la cual se han usado

dichos elementos. Se debe considerar aspectos claves para poder reconocer el comportamiento de la mampostería con respecto al fuego y otras cualidades como: la capacidad de resistencia de algunos elementos siendo expuestos al fuego, la expansión térmica, la pérdida de resistencia y la deformación bajo cargas de fuego (Mario Covarrubias Navarro, 2016)

Esta investigación tiene como objetivo examinar a profundidad el comportamiento físico y mecánico de la mampostería cuando se expone a altas temperaturas y condiciones de incendio. La idea es entender cómo responden los materiales de mampostería al fuego y cómo sus propiedades se ven alteradas bajo circunstancias extremas de calor. Analizaremos a detalle cómo el calor afecta las cualidades estructurales de la mampostería, como también su resistencia, agrietamiento, y otros tipos de deterioro. La meta es generar nuevo conocimiento sobre el desempeño de la mampostería en incendios que permita mejorar los códigos de construcción y prácticas de diseño para así, construir las estructuras mucho más seguras frente a una variable más como lo es el fuego.

Los ingenieros al momento de realizar diseños deben evaluar cuidadosamente estos factores para que se garantice que una estructura resista lo suficiente para evacuar a las personas de forma segura. (Mario Covarrubias Navarro, 2016)

1.2 Delimitación Del Problema

La investigación se enfocará en analizar el comportamiento físico y mecánico de los paneles de mampostería de ladrillo junto con su enlucido cuando son expuestos a altas temperaturas como también su respuesta al fuego directo. Para esto, es necesario investigar las variaciones en las propiedades físicas y mecánicas posteriores a incendios para determinar estrategias de refuerzo y mejorar los códigos de construcción.

Se evaluará:

- Cuando los paneles se encuentren enlucidos en una cara y en ambas caras.
- Tiempos de exposición de: 5, 10, y 15 min
- Rango de temperatura promedio: 400°C - 700°C
- Solo efectos inmediatos Post-incendios
- Propiedades mecánicas: Resistencia a la compresión, flexión después de la exposición
- Propiedades físicas: agrietamiento, desprendimiento, y caída de los enlucidos.

1.3. Justificación

Al encontrarse una estructura expuesta al fuego, las propiedades físicas y mecánicas de cada componente están siendo afectados. La afección es distinta según el material ya que puede ser parcial o total el daño dependiendo de cómo se fue generando el contacto con el fuego, aquí influyen de manera directa las corrientes de aire que pueden circular por los espacios en donde ocurra el siniestro. (Señas L, 2010)

Se puede constatar que cuando se alcanza la temperatura 105°C, el mortero pierde hidratación lo que ocasiona que los agregados tienden a expandirse, y si llegan a mayor temperatura de 500 °C o más los agregados dejan de ser estables provocando que existan micro fisuras que debilitan la zona de interface agregado-mortero, y afecta directamente la resistencia mecánica del hormigón”. (Señas L, 2010)

Entonces en la evaluación que se plantea se observarán varios factores entre estos, la temperatura máxima que soportará, la severidad del deterioro tolerante por la mampostería, y en términos generales el porcentaje del panel perjudicado. En resumen, esta evaluación brindará información crítica para comprender el comportamiento del panel de mampostería ante el fuego y las altas temperaturas. Los resultados podrían tener implicaciones importantes para el diseño y la construcción de edificaciones, así como para el cumplimiento de normativas de seguridad en situaciones de incendio. Además, proporcionará datos valiosos para desarrollar estrategias de prevención y mitigación de incendios en el futuro. (Señas L, 2010)

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Analizar el comportamiento físico y mecánico de paneles de mampostería y enlucido a través de la exposición a fuego, manejando diferentes temperaturas, y tiempos establecidos 5, 10 y 15 min.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Evaluar las propiedades de transmisión térmicas
- Evaluar emisiones de gases.
- Evaluar las propiedades mecánicas de compresión del panel.
- Evaluar las propiedades mecánicas y físicas de los materiales constituyentes.

1.5 Estado del Arte

Las investigaciones anteriores han abordado aspectos específicos relacionados a la resistencia al fuego. Con el incremento de infraestructuras actualmente elaboradas con material de acero, en 1904 un departamento de ingeniería civil de la universidad de Columbia expuso por primera vez las bases técnicas para predecir el comportamiento del fuego en los edificios, mediante la curva tiempo-temperatura. Con el pasar del tiempo varios métodos se fueron estandarizando del ensayo de fuegos para diferentes elementos de construcción apareciendo las normas como ASTM y NFPA. (Mario Covarrubias Navarro, 2016)

A inicios del siglo XXI los métodos de cálculo para evaluar las condiciones en los incendios mejora, a esto se suma que se deben determinar las necesidades estructurales y conocer la liberación de calor y la propagación del fuego. En la investigación denominada *COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ESTRUCTURAL DE MUROS DE MAMPOSTERÍA SOMETIDOS A ALTAS TEMPERATURAS* “ se presenta un modelo analítico con ayuda del software ABAQUS para hacer un ensayo en los muros de mampostería, ya que limitan los espacios de compartimento para conocer cómo afecta a sus propiedades mecánicas exponiéndolo directamente a temperaturas altas. Obtuvieron resultados en su rango plástico, y saber el comportamiento y transmisión de información entre el modelo térmico y estructural. (Mario Covarrubias Navarro, 2016)

Existen diversos métodos para realizar un análisis en estructuras cuando estos están sometidos a un incendio, uno de los cuales es ensayos en elementos estructurales pequeños, obteniendo curvas de fuegos estándar y también una modelación numérica de estructuras reales, teniendo en cuenta los reglamentos y normas como lo son el Euro código o el ACI junto al AISC ay que estos últimos se utilizan ya que tienen una perspectiva mejor con lo referente al fuego. El Euro código es una de las normas las cuales están estudiando a profundidad el diseño estructural frente al fuego el cual toma en cuenta los diferentes métodos matemáticos basados en la física teniendo en cuenta las dimensiones del compartimento, la ventilación, el combustible y las medidas que se deben tomar para evitar accidentes. (Ripani Paula & Xargay Hernán, 2021)

Otra manera de ensayar a los hormigones es sometiéndolos al calor, mediante ensayos de resistencia a la compresión, densidades, absorción, y profundidad de carbonatación. El incendio generado en una nave industrial afecta la resistencia mecánica de las columnas de hormigón, obteniendo un 50 % de pérdidas las columnas más cercanas al incendio, de muy

baja calidad y no aptas para sus funciones. El comportamiento mecánico de la armadura refleja que no hubo cambios significativos para la estabilidad de la estructura. (Señas L, 2010)

Una investigación experimental para evaluar la reducción de la resistencia a la compresión de muretes de mampostería de concreto bajo cargas de altas temperaturas, considera en un intervalo de variación de temperatura de 20°C a 800°C, sus resultados revelaron una disminución notable en la resistencia, variando del 9% al 83% en el rango de temperaturas de 400°C a 800°C. En cuanto a la relación esfuerzo-deformación, se observó una reducción significativa del módulo de elasticidad, que osciló entre el 33% y el 98% cuando los muretes fueron expuestos al fuego. Además, se detectaron combinaciones de cortantes y grietas horizontales o diagonales en los muretes durante la exposición a altas temperaturas. Estos hallazgos resaltan la vulnerabilidad de la mampostería de concreto frente a condiciones de calor extremo, subrayando la importancia de considerar este factor en el diseño y la construcción de estructuras. (Fabián René & Mario, 2017)

MARCO TEÓRICO

1.6 Fuego y Calor

El fuego consiste en partículas en combustión de algún material inflamable. Se produce por una violenta reacción química entre un combustible (que puede estar en estado sólido, líquido o gaseoso) y el oxígeno. Esta reacción continúa mientras haya provisión de ambas sustancias. El calor que alimenta un fuego proviene de varias fuentes, como las llamas, chispas o la luz solar. Este calor se libera y se acumula instantáneamente. Por lo tanto, los tres elementos fundamentales para que se produzca el fuego son: un combustible, un comburente (normalmente el oxígeno del aire) y una fuente de calor. El oxígeno del aire es especialmente importante, ya que está presente en la atmósfera constantemente. Si por algún motivo aumentara accidentalmente la cantidad de oxígeno disponible, esto podría acelerar el proceso de combustión. Por otro lado, una disminución del oxígeno reduciría la velocidad del fuego de manera más gradual. (Lagos Macari, 2015)

1.7 Combustibles

Los materiales potenciadores combustibles en las diferentes estructuras son el material orgánico originado en derivados de plantas o petroquímicos, combustibles líquidos y gaseosos y los polímeros correspondientes a todos los plásticos, hidrocarburos conformados por moléculas de carbón y átomos de hidrogeno con adición de oxígeno.

1.7.1 Carga de fuego

En la ingeniería de seguridad esta es la cantidad de energía liberada por la combustión de los diferentes materiales su unidad es Joule por segundo (J/s) o vatios (W), ya que ayuda a estimar la magnitud de un incendio y así poder crear sistemas de protección y evacuación. La carga de fuego que se presenta en los edificios es expresada por MJ/m² que refleja la densidad de carga de combustible, lo cual es el promedio de carga por metro cuadrado, como se muestra a continuación:

Actividad	Media [MJ/m²]
Vivienda	780
Hospital (habitación)	230
Hotel (habitación)	310
Biblioteca	1500
Oficina	420
Aula de escuela	285
Centro comercial	600
Teatro (cine)	300
Transporte (espacio público)	100

Tabla 1 Carga de combustible media para distintas actividades

Fuente: (Lagos Macari, 2015)

1.8 Incendio

Es un suceso destructivo de un fuego no contralado que se propaga inmediatamente, sin excepción alguna, causando daño a propiedades, como edificios propiedades, vehículos, áreas industriales, y a seres vivos, la exposición prolongada puede producir la muerte. Pueden tener diferentes causas incluyendo la actividad humana. (Lagos Macari, 2015)

1.8.1 Tipos de incendios

Se clasifican dependiendo de los materiales que lo provoquen. (Sergi Jean -Pierre, 2016) :

- **CLASE A:** Fuego Combustibles Comunes

Los materiales como la madera, papel, caucho, otros tipos de plásticos, arden y dejan cenizas o brasas. Se pueden extinguir con agua presurizada, espuma etc.

- **CLASE B:** Fuegos en gases y líquidos combustibles inflamables

Son fuegos que implican gasolina, aceites, pintura, gases y líquidos inflamables los cuales al momento de arder no dejan brasas ni cenizas. El punto de inflamación depende

de cada producto, y puede suceder un reencendido. Se extinguen con espuma, dióxido de carbono, polvo seco.

- **CLASE C:** Fuego en equipos eléctricos

Estos incendios ocurren en equipos eléctricos, cables y electrodoméstico, mientras se encuentre con energía eléctrica no se debe utilizar agentes extintores como lo son el agua o la espuma ya que estos contienen agua, en su lugar se utilizan extintores de dióxido de carbono (CO₂).

- **CLASE D:** Fuego en metales combustibles

Los metales combustibles como sodio, magnesio, o potasio y otros metales reactivos, son incendios muy escasos y raros que requieren agentes extintores específicos como polvos especiales.

1.8.2 Fases de un incendio

Los incendios tienen varias fases conforme van evolucionando, sirven para poder saber el comportamiento del incendio y poder actuar de forma inmediata y efectiva los cuales son (Alvear, 2011):

1.8.2.1 Fase incipiente

Es el inicio de un incendio y comienza cuando uno o más combustibles se ponen en contacto provocando una fuente de energía lo suficiente potente para elevar la temperatura dando como resultado una pequeña llama. El espacio puede alcanzar las temperaturas 38°C y el contenido de oxígeno alcanzara un 20%. Puede ser causado por una chispa, o un corto circuito, o una reacción química.

1.8.2.2 Fase incremento

La temperatura esta entre 300°C a los 700°C, aumentando ya que se comienza a consumir más elementos apareciendo las llamas lo cual también depende del grado de la ventilación, logrando a avanzar a propagar a zonas más grandes, teniendo una generación de calor mucho más elevada.

1.8.2.3 Fase Libre Combustión

Alcanza temperaturas superiores a los 800°C con la presencia de llamas superiores, la cantidad de energía formada sigue siendo mayor que la disipada.

1.8.2.4 Fase Decaimiento

Esta fase se logra cuando la cantidad de energía disipada es mayor a la formada, lo cual se da cuando el combustible se agota, termina apagándose emitiendo gases además de monóxido de carbono, lo cual la estructura de puede dañar o colapsar en cualquier momento.

1.9 Mampostería

Es un material estructural compuesto por dos elementos el ladrillo y mortero, siendo la técnica de construcción que se basa en la colocación de unidades pegadas, siendo por naturaleza que tiene una elevada resistencia a la compresión, depende únicamente del ladrillo en cuanto a la resistencia a la tracción es correspondiente al mortero en consecuencia es menor. A lo largo de la historia es utilizada en construcciones de estructuras de muros, paredes etc. (Angulo & Lopez, 2008)

Las características de la mampostería:

- **Materiales:** El material depende de la ubicación geográfica, la parte económica, y para qué construcción se lo va a utilizar, pueden ser de ladrillos o bloques de concreto, adobe u otros más.
- **Mortero:** Se utiliza para unir los elementos de la mampostería, está compuesto por cemento, arena y agua, su calidad y aplicación correcta son indispensables para la resistencia y durabilidad de la mampostería.
- **Patrones:** Al momento de diseñar se lo puede hacer de diferentes patrones ya que disponen las unidades de manera individual, permitiendo que sean decorativos.
- **Resistencia:** Son idóneos para soportar cargas verticales y resistir el viento y el agua siempre que estén contruidos bien.
- **Aislamiento Térmico y acústico:** Si el material y aplicación es el correcto puede servir de buen aislador térmico y acústico en una edificación.

1.9.1 Clasificación la de mampostería estructural

- En el Código Ecuatoriano de la Construcción los tipos de muros se clasifican en los siguientes (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014)
- **Mampostería Reforzada:** Se refiere a la técnica de construcción en la cual se combina los ladrillos unidos por un mortero, con las barras de acero o mallas de refuerzo. El

mortero es colocado en todas las celdas verticales o solamente donde está el refuerzo esto para mejorar la resistencia sísmica y estructural.

- **Mampostería simple:** Son las cuales piezas se unen por medio de mortero y que no deben cumplir con unas normativas como lo son las cuantías mínimas de refuerzo como en el anterior caso.
- **Mampostería de Muros confinados:** Son aquellos que están unidos por piezas de mampostería con mortero, que están reforzados de manera que incluyen elementos de concreto a su alrededor del muro donde se vacía el hormigón de relleno logrando un confinamiento a la mampostería, siendo así consideradas como parte del recubrimiento del concreto.

1.9.2 Comportamiento térmico

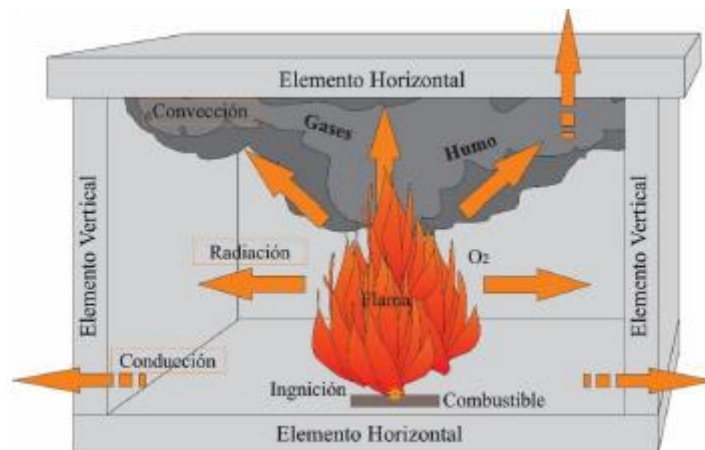


Ilustración 1 Esquema clásico de un fuego comportamental

La mampostería se comporta dependiendo a las altas temperaturas, cuando se encuentra en una estructura esta contiene elementos verticales y horizontales ya que ambos están expuestos de forma directa al fuego, lo cual fluye principalmente a una de las caras, provocando que alcancen temperaturas elevadas debido a las propiedades de conducción y Carlos específico, al tener estos compartimentos en una edificación puede ser beneficiosos para que se contengan el incendio.(Covarrubias & Ruvalcaba, 2016)

El elemento vertical de la mampostería soporta cargas, pero al recibir temperaturas máximas presentan cambios físicos, alterando las propiedades mecánicas, lo que ocasionaría la reducción del módulo elásticos, y su resistencia a la compresión disminuiría significativamente. Al saber el comportamiento térmico-estructural, se necesita conocer primero las propiedades de los

materiales que se usan para la mampostería para aplicarle los diferentes niveles de temperaturas y poder saber el cambio que se produce en ellas. (Covarrubias & Ruvalcaba, 2016)

1.9.3 Emisión de gases

Cuando se ocasiona un incendio esto tiende a emitir gases, los cuales un proceso más complejo y varia siempre dependiendo del material que se esté incendiando y las condiciones en las que se presentan. Estos gases son tóxicos, ya que, si son inhalados por alguien, pondrían en riesgo la salud y el medio ambiente. La emisión de gases tiene algunos aspectos cuando son provocados en incendios: (Basset, 2019)

- **Efectos sobre la Salud y Monitoreo:** Al momento de inhalar los gases pueden afectar directamente a las vías respiratorias si se ve expuesto de forma prolongada causarían daño pulmonar y otros efectos más perjudiciales. Para realizar el monitoreo se realiza con un medidor de gases, tiene dos aparatos que consta de un tubo que va dentro del horno y el otro dentro que es el encargado de tomar las muestras de los gases existentes.
- **Gases Tóxicos:** Los gases que emitan siempre dependerá del material que se encuentre, puede ser plásticos, maderas o textiles, estos pueden ser los monóxidos de carbono (CO), dióxido de Nitrógeno (NO₂), Óxido de Azufre (SO_x). (Academia Nacional de Bomberos de Chile, n.d.)

f 1.10 El ladrillo

Es uno de los materiales de construcción usado para diferentes estructuras, es el más utilizado ya que es barato, fácil de manejar, transportar y tiene algunas. El ladrillo es echo de arcilla se usa para construir paredes exteriores e interiores y otras de estructura, es rectangular de tamaño hecho de arcilla quemada. El tamaño de un ladrillo estándar es de 26x7x13 cm, los ladrillos se unen entre si utilizando mortero. (I. E. S.T. P. “Pedro P. Díaz,” 2021)

1.10.1 Propiedades del ladrillo

El ladrillo tiene sus características y propiedades para que pueda ser utilizado en la construcción, debe ser fuerte, duradero, resistente al agua, y al fuego, etc. Para que cumpla las normativas y dependiendo de la elección del tipo de ladrillo.

Textura	Deben poseer una textura fina, densa y uniforme. No deben poseer fisuras, cavidades, arena suelta y cal sin quemar.
Solidez	Cuando se golpea con un martillo o con otro ladrillo, debe producir un sonido metálico.
Dureza	Al raspar con los dedos no debe producir ninguna impresión en el ladrillo.
Resistencia	La resistencia a un esfuerzo compresivo no debe ser inferior a 3,5 N / mm ² . Una prueba de campo para la resistencia es que cuando se deja caer desde una altura de 10cm en un suelo duro, el ladrillo no debe romperse en pedazos.
Absorción de agua	Después de sumergir el ladrillo en agua durante 24 horas, la absorción de agua no debe ser superior al 20% en peso.
Esfuerzo de rotura	No debe ser inferior a 10 N / mm ² .
Eflorescencia	Los ladrillos no deben mostrar manchas blancas cuando se sumergen en agua durante 24 horas y luego se dejan secar a la sombra. Las manchas blancas se deben a la presencia de sulfato de calcio, magnesio y potasio. Mantienen la mampostería de forma permanente en condiciones húmedas y mojadas.
Conductividad térmica	Deben tener baja conductividad térmica, de modo que los edificios construidos con ellos sean frescos en verano y cálidos en invierno.
Aislamiento acústico	Los ladrillos más pesados son malos aislantes del sonido, mientras que los ladrillos ligeros y huecos proporcionan un buen aislamiento acústico.
Resistencia al fuego	La resistencia al fuego suele ser buena. De hecho, los ladrillos se utilizan para encerrar columnas de acero para protegerlas del fuego.

Tabla 2 Propiedades del ladrillo

1.11 Mortero

El mortero sirve para unir o revestir superficies, para obtener cierta estabilidad en el proceso constructivo lo cual da la rigidez y permitir el asentado de las hiladas. Siendo que la adhesión de la unidad de la mampostería es la función más importante del mortero. (Angulo & Lopez, 2008)

A diferencia del hormigón, el mortero no tiene que ser curado, ya que al querer hacerlo se humedecería la mampostería, ya que puede causar deformaciones o expansiones provocando daños a la mampostería.

El mortero está compuesto por elementos principales:

1. **CEMENTO:** Este material ayuda en la adhesión y resistencia a la compresión, a pesar de estos existen los morteros de cemento puro lo cual significa que no tiene cal, son más ásperos y difíciles de trabajar, lo cual puede dañar a la mampostería. Existiendo diferentes tipos de morteros.
2. **AGUA:** Es el material que ayuda a la fluidez del mortero, se debe llegar a una consistencia que sea manejable y esta debe estar siempre limpia y no debe contener nada de materias orgánicas o algo que sea perjudicial para el mortero.
3. **ARENA:** Las arenas necesarias para un mortero se recomienda que las mismas sean bien graduadas, ya que crean morteros trabajables, a pesar de esto la resistencia a la compresión del mortero es provocado cuando son arenas gruesas, mientras que las arenas finas reducen la resistencia a la adhesión.
4. Se le puede añadir un tipo de aditivo ya que pueden ser acelerante, retardantes, o reductores se añade a la mezcla logrando alguno de estos beneficios.

1.11.1 Propiedades del mortero

1. El mortero tiene varias propiedades que son importantes para lograr su eficacia para sus diferentes aplicaciones las cuales son (Angulo & Lopez, 2008):
 - **Resistencia mecánica:** Es la capacidad de soportar cargas verticales, siendo la resistencia a la compresión una propiedad importante, esto depende exclusivamente de los materiales utilizados.
 - **Adherencia:** Con la ayuda del mortero permite que se adhiera de manera precisa a cualquier superficie permitiendo unir los ladrillos o. Bloques depende de que material sea la mampostería.
 - **Durabilidad:** Al estar expuesto a la intemperie debe ser resistente al agua u otros factores que se presentan para que no exista ningún inconveniente con la mampostería
 - **Trabajabilidad:** Que la mezcla sea lo más moldeable posible para que se pueda aplicar con facilidad a la construcción.
 - **Retracción:** Se refiere que cuando este se seca tiende a disminuir su volumen, se debe tomar en cuenta que para evitar las grietas en las estructuras tener en cuenta este factor.
 - **Resistencia química:** Con la ayuda de los aditivos, se puede adquirir mortero resistente.

- **Aislamiento térmico:** Tienden a que unos morteros contienen aislamiento térmico que permiten que no se caliente de una forma muy elevada

1.12 Horno

Es uno de los instrumentos que mide la exposición al fuego de diversas muestras se usan en laboratorios e industrias para realizar diferentes tipos de procesos térmicos.



Ilustración 2 Horno del CITT

Siendo utilizado para realizar procesos de calor, produciendo un inmenso calor para poder conocer la evolución del elemento una vez expuesto a cierta temperatura, el cual tenga un rango de 500 a 1800°C según sea necesario, el cual puede utilizarse para calcinar, secado, desengrase, y otros tratamientos térmicos en muestras solidas en este caso los paneles. (Herrera Polino & Celis Ibáñez, 2018)

1.13 Parámetros sobre la exposición al fuego

- **Tiempo de exposición al fuego**

El tiempo es un factor importante para evaluar el efecto del fuego en contacto con un material, ya que depende del mismo para saber el nivel de daño que puede ocasionar. El fuego puede crecer de forma exponencial siempre y cuando estén expuestos a un material que sea inflamable. (Herrera Polino & Celis Ibáñez, 2018)

- **Temperatura Inicial**

Cuando el material es la mampostería este puede llegar a alcanzar unas temperaturas que alcancen los 1000°C, el mismo que al estar unido con mortero al momento de que se alcanza

los 300°C se comienza a perder la resistencia del concreto, pero al llegar a los 500°C empieza algo más crítico ya que su capacidad para soportar las diversas cargas se perdería completamente y estructuralmente no sería beneficioso para la vivienda.

- **Variación de Temperatura**

Se llega a presentar cuando existe una diferencia entre dos materiales que están en un mismo lugar, en cuanto a los paneles lo que está expuesto del calor, comienza a tener una elevación de temperatura produciendo humedecimiento y empuje en cuanto al concreto, el calor se propaga de forma homogénea.

La variación de la temperatura puede producir cierto efecto como lo podemos observar a continuación:

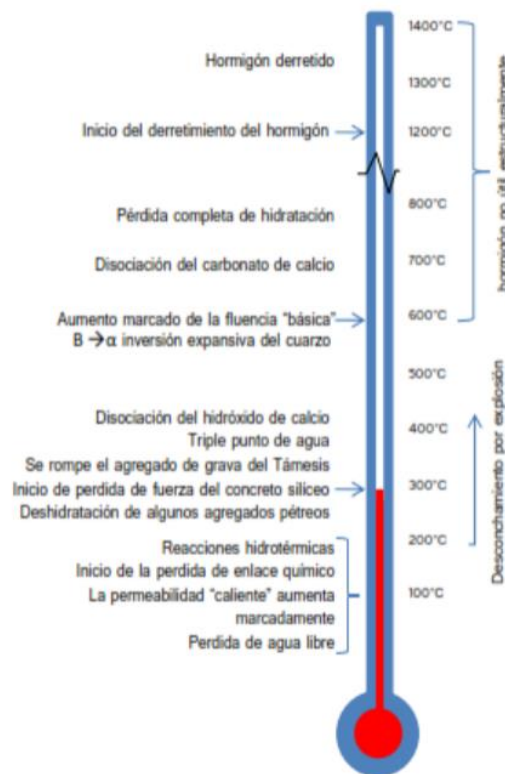


Ilustración 3 Variación de temperatura en el horno

- **Temperatura máxima**

En la figura anterior, se puede observar que una temperatura máxima es de 1400°C cuando comienza a llegar a los 1300°C comienza a derretirse el hormigón, aunque esto siempre depende del tiempo de exposición al que este expuesto.

1.14 Curva ISO 834

Es una norma la cual establece un perfil estándar para así saber evaluar el comportamiento al fuego en los elementos de construcción, como lo son las paredes o los techos durante un tiempo específico, proporcionando una curva temporal entorno a un incendio típico. En la versión 1975 ha sido una referencia común en el campo de ingeniería contra incendios. Esta se especifica como la temperatura en un espacio cerrado, simulando una vivienda, los ingenieros y diseñadores suelen utilizar esta curva para evaluar el rendimiento de las estructuras, esta tiene un tiempo de 2 horas como un incendio común hasta que la integridad de las estructuras y funcionalidad fallen. Se tiene que estar actualizando en la versión más reciente de la Norma ISO 834 para apoyar y mejorar los diseños actuales. (Herrera Polino & Celis Ibáñez, 2018)

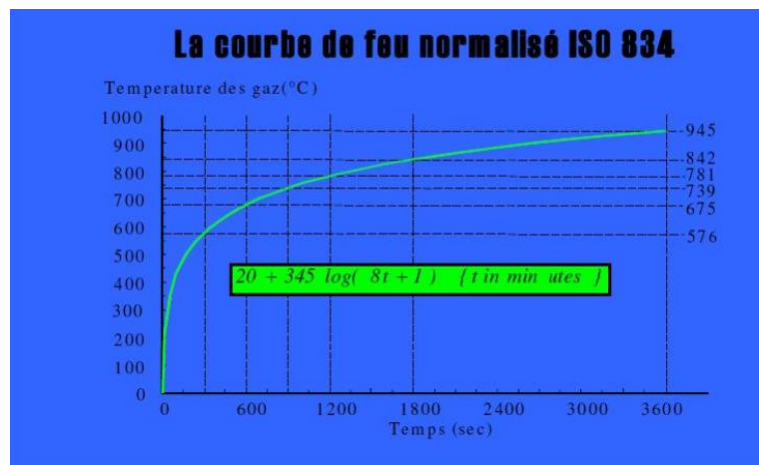


Ilustración 4 Curva ISO 834

Para conocer todos los parámetros dentro de la gráfica tenemos que tener claro lo siguiente:

- **Eje de las Ordenadas (Temperatura):** Representa como varía la temperatura en el tiempo durante un incendio esta es ubicada en el eje vertical con una unidad de grados Celsius.
- **Eje de las Abscisas (Tiempo):** Describe la evolución de la temperatura desde el inicio hasta un tiempo concreto, 2 horas.
- **Incendio del Incendio (T₀):** Es considerado el momento en el que comienza el incendio, para saber cómo cambia desde este punto.

- A medida que avanza el tiempo en su fase inicial puede que sea intenso, y de forma rápida, pero conforme pasa el tiempo se vuelve más gradual. Cuando este alcanza un punto máximo es muy crítico evaluar la respuesta ya que el incendio será muy grande y difícil de contener, cuando este llega a su punto desciende gradualmente.

CAPITULO II- METODOLOGIA

El proceso implica llevar a cabo pruebas de fuego en paneles de mampostería para evaluar cómo se comportan los materiales en diferentes condiciones de temperatura y exposición. Estas pruebas pueden proporcionar información valiosa sobre la resistencia al fuego y la durabilidad de los paneles en situaciones de incendio. Se tomarán en cuenta algunas variables claves para llevar a cabo este tipo de ensayos:

1. *Diseño de los paneles:* Es esencial diseñar los paneles de manera representativa y realista para que los resultados del ensayo sean aplicables en situaciones reales. Los paneles deben tener dimensiones y características que reflejen de cerca las condiciones típicas de construcción.

2. *Selección de materiales:* Utiliza los mismos tipos de materiales de mampostería que se usarían en construcciones reales. Esto asegurará que los resultados sean relevantes para aplicaciones prácticas. Los materiales pueden variar en términos de densidad, resistencia y composición, lo que podría afectar cómo reaccionan al fuego

3. *Control de variables:* Al realizar los ensayos, debes tener un control preciso sobre las variables, como la temperatura y el tiempo de exposición al fuego. Realizar pruebas a diferentes temperaturas y con diferentes duraciones de exposición permitirá entender cómo los materiales se comportan en diferentes escenarios de incendio.

4. *Instrumentación adecuada:* Utiliza sensores y equipos de medición adecuados para monitorear la temperatura y otros parámetros durante las pruebas. Esto ayudará a obtener datos precisos sobre cómo se desarrolla el incendio y cómo afecta a los materiales.

5. *Seguridad:* Las pruebas de fuego deben hacerse en un entorno seguro, ideal en un laboratorio especializado de pruebas de incendio. Nos aseguraremos en cumplir con todas las normativas de seguridad para proteger a las personas y las instalaciones.

6. *Exposición al fuego:* Los incendios pueden alcanzar temperaturas extremadamente altas provocando que existan presiones muy significativas en los materiales ya que provoca que la mampostería se degrada y cambia sus propiedades físicas y mecánicas.

7. *Durabilidad y Degradación:* Comprender como el calor y las condiciones del incendio puede provocar daños en la mampostería incluido el mortero y los ladrillos.

8. Análisis de resultados: Después de las pruebas, se deben analizar los resultados cuidadosamente. Esto podría incluir la observación de cambios físicos en los materiales, como deformación, fisuras o pérdida de resistencia. Los datos recopilados permitirán evaluar cómo los paneles de mampostería responden al fuego y si cumplen con los estándares de resistencia al fuego requeridos por las regulaciones locales.

9. Diagnóstico y recomendaciones: Según los resultados del ensayo, se puede emitir un diagnóstico para cada panel ensayado. Esto podría incluir recomendaciones sobre cómo mejorar la resistencia del mismo y cómo modificar el diseño de los paneles para lograr una mejor respuesta en situaciones de incendio.

Las muestras evaluadas fueron cubos y viguetas de mortero, modelos tríos de resistencia y paneles. Todas estas muestras se sometieron a pruebas de fuego directo durante 5, 10 y 15 minutos respectivamente, con una temperatura variable, dado que por limitaciones operativas no se pudo mantener las llamas a un nivel constante. En el caso específico de los paneles, la máxima temperatura alcanzada en los 15 minutos de exposición fue de 851°C. Superar este umbral de temperatura podría provocar fallas estructurales en los materiales.



Figura 1: Paneles en el horno



Figura 2: Viguetas y cubos

- **MORTERO**

En cuanto a la elaboración del mortero, hemos utilizado una proporción 2:1 que generalmente se utiliza para la unión de ladrillos y enlucidos. Después de aplicar el mortero tanto en la conformación de los paneles de ladrillo enlucido a una cara y a dos caras, como en la elaboración de cubos y viguetas, tienen que seguir un proceso de curado adecuado que permitirá que los elementos alcancen la resistencia requerida; lo que se comprueba posteriormente con cada uno de los ensayos a los que fueron sometidos.



Figura 3 Mezcla de mortero para cubos y viguetas

2.2 Ensayo de compresión (cubos)

Este ensayo es para poder conocer la capacidad del mortero cuando se apliquen cargas axiales el procedimiento es el siguiente (Pérez Sanchez, 2022):

- **Muestras:** Los cubos de mortero tienen una dimensión de 50x50x50mm, los cuales se fabrican mediante el vertido de la mezcla de mortero en los moldes.



Figura 4 Mezcla de mortero

- **Curado de las muestras:** Los cubos se curan de 7 a 28 días para obtener su resistencia máxima, curados directamente en el laboratorio.
- **Horno:** Una vez curados totalmente se los lleva al horno todas las muestras y cada uno en su tiempo en específico, para posteriormente evaluarlos en el ensayo de compresión



Figura 5 Cubos de 5x5x5 después del horno

- **Máquina de ensayo:** Los cubos son colocados en la prensa ya que esta aplica una carga axial y constante sobre la muestra hasta que ocurra la falla.



Figura 6 Ensayo de Compresión

- **Recolectar datos:** Mientras se esté haciendo el ensayo este para a registrar los datos de la carga aplicada y la deformación, dando como resultado la curva de carga deformación para saber el comportamiento. (Angulo & Lopez, 2008)



Figura 7 Rotura del cubo

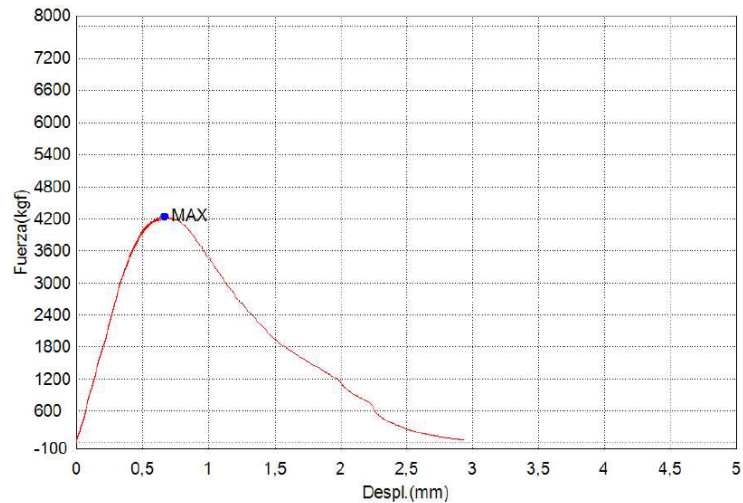


Figura 8 Resultado del esfuerzo-deformación

- **Análisis de Resultados:** La máquina también nos calcula la resistencia a la que soporta la muestra, una vez que se conocen dichos datos se pueden evaluar la calidad del mortero y si es adecuada para la necesidad del experimento.

2.3 Ensayo de viguetas

El ensayo de las viguetas lo realizamos para poder saber la resistencia del mortero a una fuerza que se aplique al centro de la muestra, que a diferencia del ensayo de los cubos que se aplica una fuerza en toda la cara del cubo, en este caso de la vigueta se le aplica directamente al centro de la misma y la vigueta se encuentra apoyada en los extremos. (Angulo & Lopez, 2008)

- **Muestras:** La vigueta tiene una medida de 40x40x160mm los cuales se fabrican mediante el vertido de la mezcla de mortero en los moldes.



Figura 9 Mezcla para viguetas

- **Curado de las muestras:** Las viguetas se curan generalmente de 7 a 28 días para así poder obtener su resistencia máxima, éstas fueron curadas directamente en el laboratorio



Figura 10 Viguetas de mortero

- **Horno:** Una vez curados totalmente se las lleva al horno todas las muestras y cada uno en su tiempo en específico, para posteriormente evaluarlos en el ensayo de compresión.



Figura 11 Viguetas después del horno

2.4 Ensayo de adherencia. Resistencia de unión tangencial en modelo tipo tríos.

Para la evaluación de la adherencia que lleguen a tener los ladrillos unidos con el mortero recurrimos al método propuesto por polaco (Rodas Plaza & Molina Campoverde, 2023).



Figura 12 Trio de ladrillos y ensayo a compresión

En tanto la guía citada indica, para el ladrillo obtenido de la fábrica Pinduisaca se deja un volado de 6,3 cm y m y 7,3 cm como el modelo de la figura 12, como producto final el trío tiene que ser curado y conservado durante el periodo de 28 días para posteriormente ser evaluado en el respectivo ensayo.

2.5 Ensayo de emisión de gases

Con ayuda de un medidor de gases se tomaron alrededor de 5 muestras tienen dos aparatos en la cual la primera consta de un tubo que va dentro del horno y el otro es el encargado de registrar el monóxido de carbono y el ácido sulfhídrico, el segundo en todas las muestras son de un valor 0. (Basset, 2019)



Figura 13 Ensayo de transmisión de gases

Las concentraciones seguras de monóxido de carbono en ambientes interiores generalmente se sitúan por debajo de 9 ppm para exposiciones prolongadas. Las concentraciones más altas pueden tolerarse durante períodos más cortos.

- 0-9 ppm: Concentración normal en ambientes exteriores y en interiores sin fuentes de combustión.
- 10-35 ppm: Niveles aceptables para exposiciones prolongadas en ambientes interiores.
- 36-100 ppm: Niveles elevados que pueden causar síntomas de exposición leve, especialmente en personas sensibles.
- 101-200 ppm: Niveles que pueden causar síntomas más graves y requerir evacuación del área afectada.
- 200 ppm o más: Niveles peligrosos que pueden resultar en síntomas graves, incluyendo la posibilidad de muerte, especialmente con exposiciones prolongadas.

2.6 Ensayo de compresión axial (paneles)

Al momento de realizar un ensayo a compresión en un muro de ladrillos es para saber las propiedades mecánicas de estos elementos, la compresión precisa de la capacidad de carga y el comportamiento bajo esfuerzos de compresión, este indispensable para diseñar estructuras eficientes, podemos conocer también la capacidad de absorción de energía, deformación, así como el tipo de fallos que pudiera tener. (I. E. S.T. P. “Pedro P. Diaz,” 2021)

En cuanto a los muros de mampostería comúnmente están diseñados para cargar axiales, siendo afectados por cargas si en el caso debido a las cargas laterales, esta resistencia al corte en el plano se puede determinar en por la resistencia entre la junta del mortero y la fricción causada por la carga vertical. Una vez seleccionado los elementos de mampostería las cuales son ladrillos, obtenidos de la fábrica Puinduisaca se comenzó el armado de los paneles y mortero dando dimensiones específicas, y se probará cuando el murete esté enlucido en un lado y en ambos lados. Las medidas son las siguientes:(Rodas Plaza & Molina Campoverde, 2023)

Dimensiones del murete (mm)		Dimensiones del Panel en 2 lados de enlucido	
Alto	680	ALTO	680
Ancho	600	ANCHO	600
Espesor	145	ESPESOR	160

Tabla 3 Dimensiones de los paneles

- Estos paneles fueron expuestos al fuego a los 5 min, 10 min, 15min, una vez que pasaron por el horno, a continuación, las muestras se las colocara en la máquina para poder aplicarle la carga axial para que ejerza presión sobre la misma.
- Durante el ensayo la maquina va a comenzar a registrar los datos de la carga aplicada y la deformación, con esto obtendremos la curva de carga deformación para así conocer la calidad de la mampostería una vez siendo expuesta al fuego directamente para saber si se cumple con los diseños correctos, así como garantizar la seguridad y durabilidad.



Figura 14 Paneles después del ensayo a compresión

CAPÍTULO III --DISCUSIÓN Y RESULTADOS

3.1 Resultados de ensayos temperatura

PANELES HORNO

La temperatura máxima alcanzada fue de **851°C**, la misma que se logró con dos sopletes impulsados con dos tanques de gas (Figura 15) y uno de los sopletes conectado a un Blower (Figura 16), esta temperatura oscilaba en los inicios de la toma de la misma ya que tuvimos influencias de vientos, la válvula del gas se tuvo que volver a encender en algunas ocasiones, por lo que la temperatura variaba algunos grados en los ensayos que se realizó. Pero cabe mencionar que en un incendio estructural la temperatura puede variar desde unos $\pm 600^{\circ}\text{C}$ en los alrededores del fuego hasta $\pm 1000^{\circ}\text{C}$ en el centro del incendio. Las temperaturas alcanzadas fueron las óptimas y las planteadas para realizar los ensayos, ya que, como se mencionó, son temperaturas similares a incendios y en las condiciones que la mampostería deja de ser funcional y fracasa. Los paneles reciben el fuego directamente solo por el lado del enlucido, es decir que el otro lado del panel recibe el calor de la temperatura del horno.



Figura 15 Horno



Figura 16 Blower

- **Enlucido en dos lados del panel**

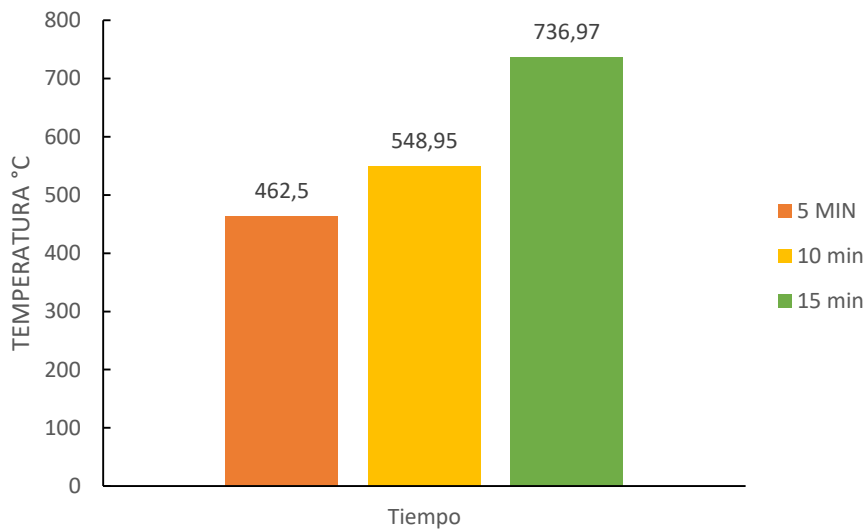


Ilustración 5 Grafica Tiempo-temperatura (dos lados del panel)

En el ensayo número uno de los paneles enlucidos a ambos lados la temperatura promedio es de 381.9 °C y la temperatura máxima de 520°C. El panel resiste muy bien ante la aplicación del fuego. No presenta mayor daño en su estructura no presenta grietas y conserva el enlucido original en su totalidad.

En el ensayo número dos de los paneles enlucidos a ambos lados la temperatura promedio es de 397.45°C y la temperatura máxima de 571°C. El panel empieza a presentar grietas en el enlucido del lado que recibe el fuego directamente. Pierde la adherencia del enlucido en casi toda la cara que recibe el fuego directamente, el panel deja de funcionar como un elemento compuesto.

En el ensayo número tres de los paneles enlucidos a ambos lados la temperatura promedio es de 582.3 °C y la temperatura máxima de 851°C. A la temperatura que se llegó en este ensayo es la sugerida ya que es la temperatura que oscila un incendio en el centro del mismo; a partir de esta temperatura en adelante dependiendo del tiempo que dure normalmente la mampostería fracasa.



Ilustración 6 Horno -2lados enlucido

- **Enlucido en un solo lado del panel**

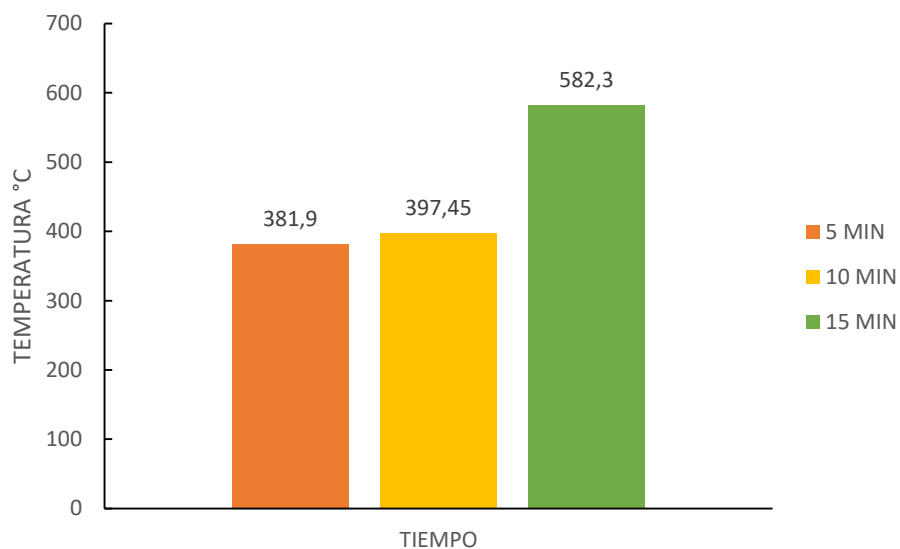


Ilustración 7 Gráfica tiempo-temperatura (un solo lado enlucido)

Cabe mencionar que, previo a los ensayos de los paneles enlucidos a un solo lado, el horno estuvo encendido. Por consiguiente, los paneles se insertaron con una temperatura relativamente alta, razón por la cual se alcanzaron temperaturas elevadas de forma más rápida en comparación a los primeros paneles enlucidos en ambos lados.

La temperatura promedio en el primer ensayo de 5 minutos fue de 462.5°C, con una máxima de 578°C. Por su parte, la temperatura promedio en el ensayo de 10 minutos fue de 397.45°C y la temperatura máxima de 641°C. Esto evidencia que no existe una variación muy significativa entre los paneles expuestos por 5 y 10 minutos, respectivamente.

En contraste, en el ensayo de 15 minutos se obtuvo una temperatura promedio de 582.3°C y una máxima de 815°C. No obstante, el panel demostró una buena resistencia ante la aplicación directa del fuego, a pesar de haber presentado grietas en toda su superficie.



Ilustración 8 Panel después de 10min en el horno

3.3. Resultados de ensayos emisión de gases

ENSAYO EMISION DE GASES		
	Monoxido de Carbono	
	CO	UNIDAD
Muestra 1	503	PPM
Muestra 2	533	PPM
Muestra 3	497	PPM
Muestra 4	734	PPM
Muestra 5	756	PPM
Promedio	604,6	PPM

Tabla 4 Promedio entre las emisiones de gases

Según la Tabla 4, se tomaron alrededor de 5 muestras, cada vez que uno de los paneles ingresaba al horno, como se puede observar las muestras de monóxido son demasiado elevadas obteniendo un promedio de 604.6 PPM

En el ensayo de las emisiones de gases que elaboramos en el CITT pudimos obtener la presencia única de CO ya que el fuego provenía directamente de tanques de gas doméstico, esto de cierta manera no nos muestra lo que queremos obtener, ya que en un incendio

estructural de una vivienda es obvio que se llegaran a tener muchos más gases provenientes de materiales como plásticos, maderas, etc. que se deberán evaluar para ver lo dañinos que pueden llegar a ser junto con el CO, que como podremos ver en la siguiente tabla, las condiciones que se pueden soportar y lo que pueden causar a un respectivo tiempo.











Concentración de carbono (CO)	Tiempo de exposición	Signos y síntomas	Síntomas desarrollados
44 ppm (0.0040%)	6 a 8 horas	Máxima concentración permitida. Los labios y uñas toman un color rojo brillante.	
200 ppm (0.02%)	2 a 3 horas	Cefalea leve	
400 ppm (0.4%)	1 a 2 horas	Cefalea frontal	
800 ppm (0.08%)	Dentro de 45 minutos	Mareos, náuseas y convulsiones. Insensibilidad durante 2 horas.	
1.600 ppm (0.16%)	Dentro de 20 minutos	Cefalea, taquicardia, mareos y náuseas.	
	En menos de 2 horas	Muerte	
3.200 ppm (0.32%)	5 a 10 minutos	Cefalea, mareos y náuseas.	
	Dentro de los 30 minutos	Muerte	
6.400 ppm (0.64%)	1 a 2 minutos	Dolor de cabeza y mareos. Convulsiones y paro respiratorio.	
	Menos de 20 minutos	Muerte	
12.800 ppm (1.28%)	-	Inconsciencia después de 2 o 3 respiraciones. Muerte en menos de 3 minutos.	

Ilustración 9 Rangos admisibles de Monóxido de Carbono

3.3. Resultados de ensayo de compresión

- Adherencia de trio de ladrillos

ENSAYO ADHERENCIA			
MUESTRAS ADHERENCIA TRIO			
			
Descripcion	Tiempo en el horno	Maxima Fuerza (kN)	Maxima Desplazamiento (mm)
<i>Trio Patron</i>	<i>NO SE INGRESO AL HORNO</i>	<i>29,48</i>	<i>1,237</i>
<i>Trio de Ladrillos 1</i>	<i>5 min</i>	<i>20,78</i>	<i>3,05</i>
<i>Trio de ladrillos 2</i>	<i>10 min</i>	<i>10,34</i>	<i>2,85</i>
<i>Trio de ladrillos 3</i>	<i>15 min</i>	<i>3,70</i>	<i>0,244</i>

Tabla 5 Ensayo de Adherencia Trio

Según la Tabla 5 una vez que se realizaron los ensayos a compresión de la adherencia trio, se puede observar la comparación entre las muestras cada una en diferentes tiempos expuestas al horno, lo cual primeramente se hizo un modelo patrón, siendo la fuerza que soporta de 29.48 kN en cuanto a la adherencia no se obtuvo mayor resistencia ya que al concluir el ensayo estos se separaron, como se observa que comienza a degradarse llegando al punto 3.70 kN cuando el trio de ladrillo está sometido al horno por 15 min, viendo que si está siendo afectado de manera significativa.



Ilustración 10 Ensayo de Adherencia-trio Modelo Patrón



Ilustración 11 Adherencia trio a los 5-10 min en el horno

- Cubos de mortero

ENSAYO A COMPRESION					
MUESTRAS CUBO DE MORTERO					
					
Descripcion	Tiempo en el horno	Muestra	Maxima Fuerza (kN)	Promedio Maxima Fuerza(kN)	Resistencia a la compresión Mpa
<i>Cubo Patron</i>	<i>NO SE INGRESO AL HORNO</i>	1	39,8	40,54	15,91
		2	41,7		16,68
		3	40,2		16,07
<i>Cubo 1</i>	<i>5 min</i>	1	8,8	11,4377451	3,52
		2	12,9		5,16
<i>Cubo 2</i>	<i>10 min</i>	1	9,3	11,24	3,71
		2	12,2		4,90
<i>Cubo 3</i>	<i>15 min</i>	1	12,3	12,16	4,91
		2	12,0		4,79

Tabla 6 Ensayo a compresión de cubos de mortero

De acuerdo a la Tabla 6. Se hicieron 2 muestras por cada tiempo expuesto al horno, teniendo primeramente un cubo patrón el cual alcanzo a soportar una fuerza de 40.54 kN, en cambio en las muestras de los cubos expuestos al horno en sus 5 y 10 min tenemos una variación de aproximadamente la mitad de la fuerza y en el cubo a los 15 min tenemos una fuerza de 12.16 kN. Dando a conocer que el mortero se vuelve más frágil mientras más este expuesto al fuego.

En cuanto a la resistencia del mortero este debe variar entre 15 y 17 MPa, como se observa en la tabla el cubo patrón si cumple con estas condiciones, al contrario que los demás cubos que si se ingresaron al horno estos pierden totalmente la resistencia, con valores que no pasan más del 4.9 MPa.

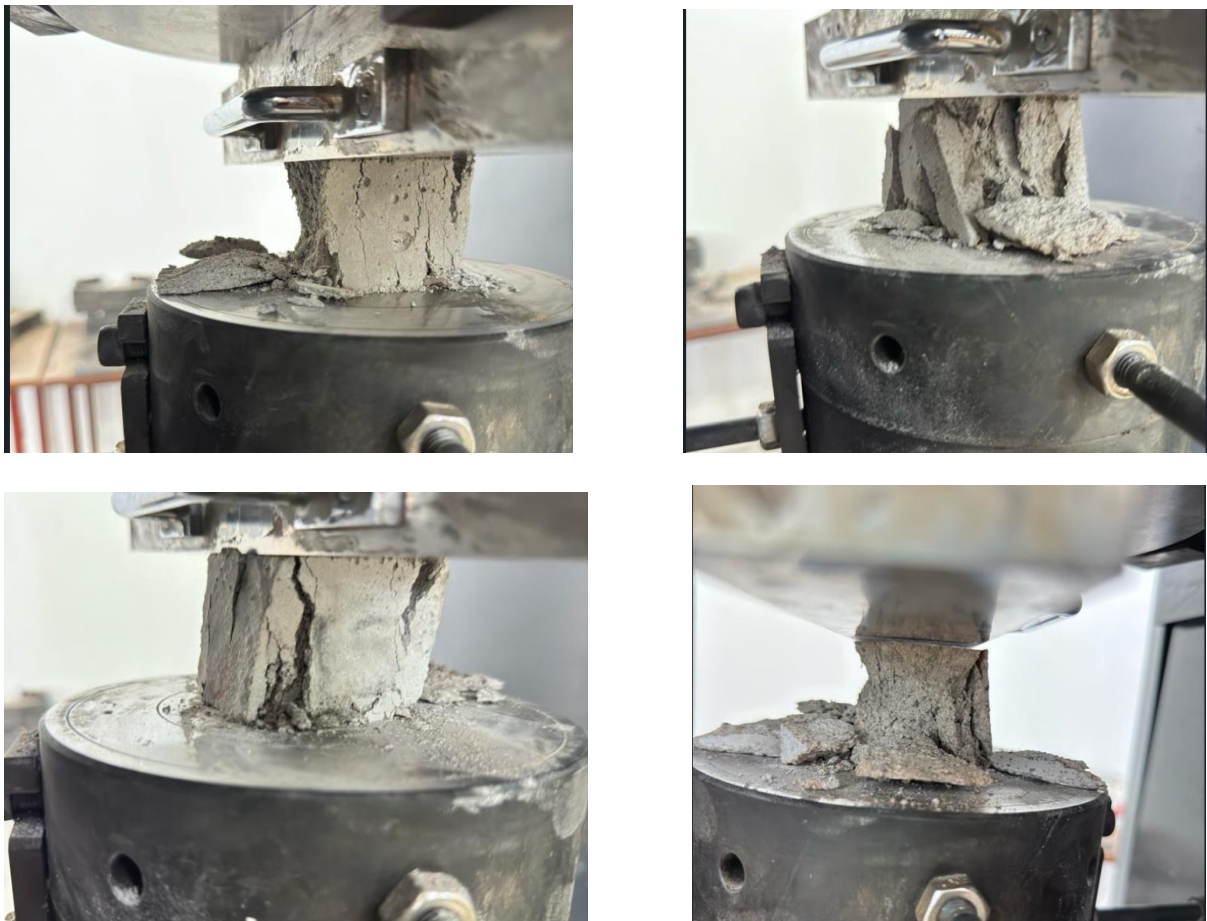


Ilustración 12 Ensayo a compresión de los cubos de mortero

- **Viguetas de mortero**

Una vez realizado el ensayo se tomó alrededor de 3 muestras por cada vigueta, en sus diferentes tiempos a sus 5, 10 y 15 min esto se lo realizo en la máquina para obtener la fuerza a flexión que se produce ya que los valores a los que alcanza su rotura es muy pequeña en comparación con los demás ensayos.

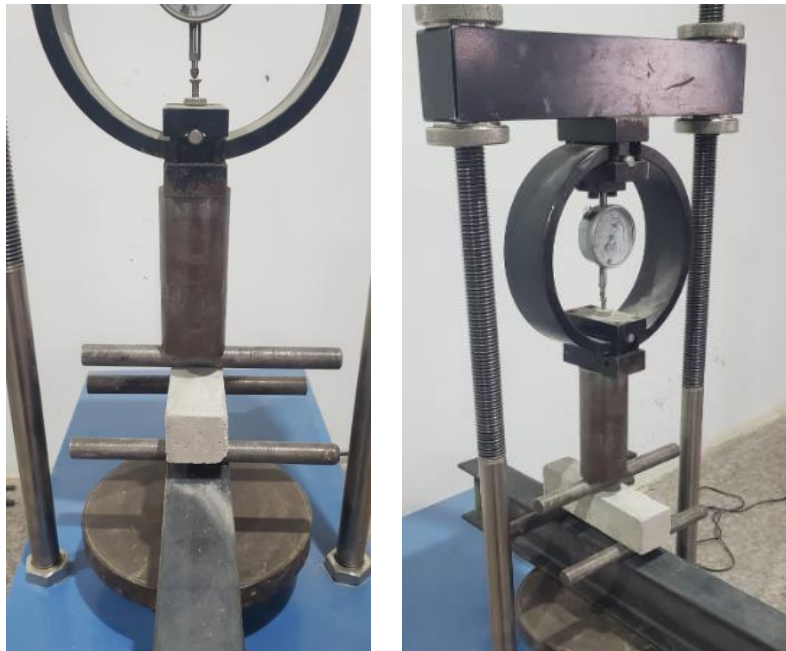


Figura 17 Ensayo flexión de viguetas

Se utilizó la siguiente formula de la INEN 198, aquí se describe la determinación de la resistencia a la flexión y a la compresión de los morteros, en el ítem 6.6.1 nos presenta la siguiente ecuación:

$$Rf = 1.5 \frac{Pf * I}{b^3} \quad (1)$$

Donde:

Rf = Resistencia a la flexión, MPa

Pf = Carga de rotura a la flexión en N

I = Distancia entre apoyos en mm

b = Arista de sección cuadrada del prisma, en mm

Teniendo como resultado la siguiente tabla en la cual se especifica cada uno de los datos se procede a sacar un promedio entre las muestras para tener un valor más real aproximado de la resistencia a flexión.

El análisis de los ensayos realizados en las viguetas muestra un comportamiento escalonado en los valores de resistencia. Es decir, la vigueta modelo que no fue expuesta al fuego presentó la mayor resistencia. En contraste, la vigueta con 15 minutos de exposición al fuego registró la menor resistencia. La vigueta con 10 minutos de exposición al fuego quedó con un valor de resistencia intermedio entre los otros dos casos superior a la de 15 minutos de exposición pero inferior a la vigueta de 5 minutos .

Tiempo de curado	Tiempo en el horno	fuerza (N)	Resistencia a la flexion	Promedio (MPa)	Kgf/cm2
28 días	PATRON	1873,4	5,27	5,27	53,69
	5 min	1410,23	4,75	4,36	44,45
		1689,46	3,97		
	10 min	394,86	1,11	3,54	36,08
		1257,93	3,54		
	15 min	623,32	1,75	2,32	23,70
		1029,47	2,90		

Tabla 7 Resistencia a la flexión de las viguetas a los 28 días

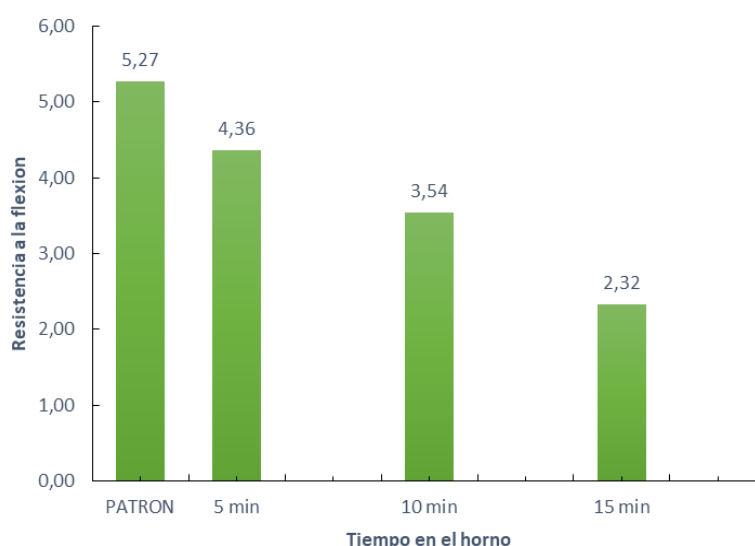


Ilustración 13 Ensayo a flexión en las viguetas 28

3.4 PANELES

Panel enlucido en un solo lado

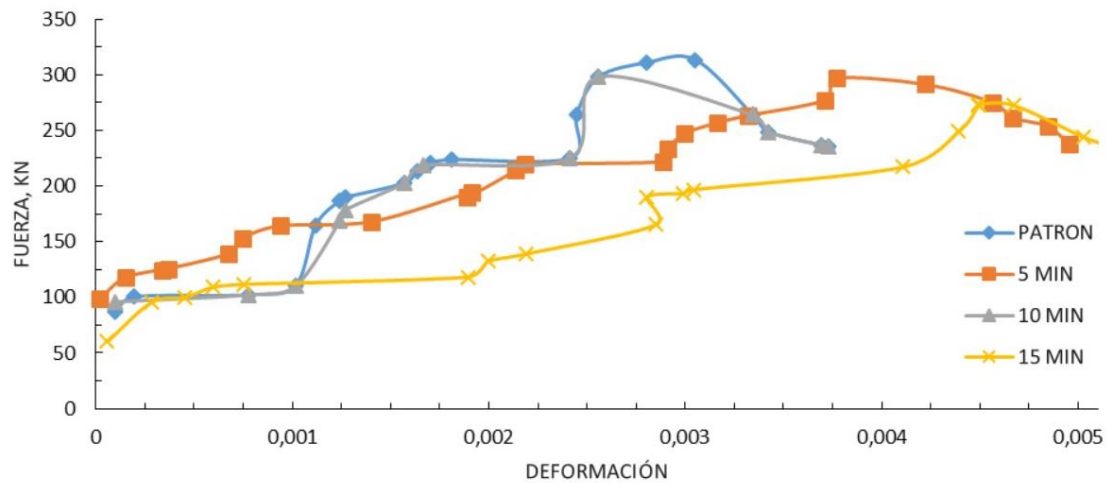


Ilustración 14. Resultados a compresión de los paneles enlucidos en un solo lado.

Panel enlucido en 1 solo lado Modelo Patrón

Se realizó un panel patrón para poder hacer la comparación necesaria entre los demás paneles que van estar expuestos al fuego. Llegamos a una fuerza máxima de **313.448 kN**, en el cual ya se mostró la rotura completamente del panel.

Panel enlucido en 1 solo lado 5min en el horno

Se puede observar que existen picos como de rotura y sigue la gráfica subiendo esto se da ya que la maquina a compresión en la que fue ensayada, al llegar a un punto de una junta de mortero existía la rotura inmediata pero el ensayo seguía ya que el ladrillo no se rompía en su totalidad este alcanzo una fuerza máxima de **296.751 kN**.

En la figura 18 el panel a los 5 min expuestos a horno el enlucido en un solo lado se pierde totalmente quedando el panel sin enlucido al momento de realizar el ensayo a compresión se puede ver que al momento de aplicarle la fuerza con el pistón existe una rotura por la mitad del panel partiendo en dos algunos ladrillos.

Panel enlucido en 1 solo lado 10 min en el horno

Se puede observar que al llegar a una fuerza de aproximadamente de 225 kN existe una rotura y se mantiene hasta cierto punto y vuelve a subir llegando a su fuerza máxima **de 298.002 kN**, para que su rotura sea completa esto se le puede atribuir al pistón que al momento de aplicar la fuerza este llega a un punto de mortero en el cual la rotura es inminente.

En la figura 19 el panel ya se encuentra roto parcialmente el enlucido, tiene una rotura en la esquina del panel y los mismos al ser expuesto 10 min al horno el ladrillo se ve frágil, y como si se estuviera descomponiendo en pedazos, la rotura se dio de manera perpendicular partiendo en dos el panel.

Panel enlucido en 1 solo lado 15 min en el horno

Se puede observar que existe una variación con varios picos entre ellos esto va subiendo de forma gradual como se ve hay un pico significativo cuando la fuerza alcanza aproximadamente 160 kN ,para luego seguir ensayándolo teniendo una fuerza máxima de **273.34 kN** para alcanzar su rotura completa.

En la figura 20 el panel ya se encuentra sin el enlucido al ser expuesto 15 min al horno la adherencia entre el enlucido y el ladrillo es completamente nula, la rotura como se observa existe entre el ladrillo y el mortero, se pierde totalmente la adherencia y los ladrillos comienzan a quebrarse por la mitad de cada uno de ellos; al momento de quitar el pistón este se desvanece completamente provocando que el panel destruya. No soporta el tipo de carga.

Ensayos de cada uno de los paneles.



Figura 18 Paneles 5 min expuesto al horno (1lado enlucido)



Figura 19 Paneles a los 10 min en horno (1 enlucido)



Figura 20 Paneles 15 min en el horno (1lado enlucido)

Panel enlucido en 2 lados

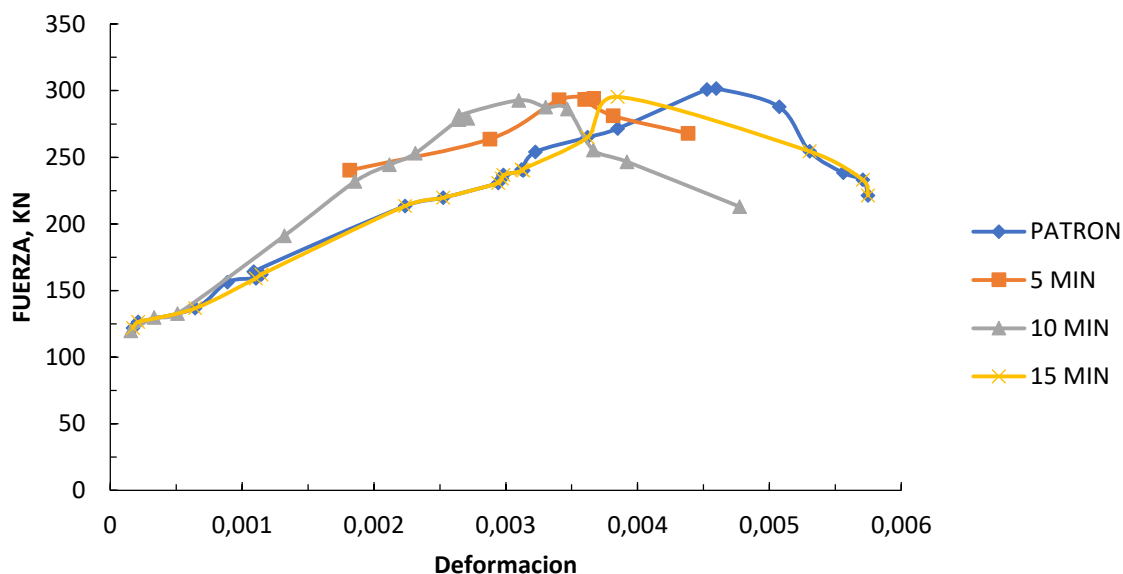


Ilustración 15 Gráfica Fuerza-Deformación

Panel enlucido en 2 lados modelo Patrón

Se realizó un panel patrón para poder hacer la comparación necesaria entre los demás paneles que van estar expuestos al fuego como se puede observar en la Ilustración 26. Llegamos a una fuerza máxima de **301.651 kN** que es la fuerza a la que el panel enlucido a los dos lados soporta antes de romperse.

Panel enlucido en 2 lados 5 min en el horno

Se puede observar que la fuerza toma un avance hasta unos 150kN muy rápidamente, esto nos indica que el pistón al contacto con la superficie superior del panel ya lo rompe. Posteriormente avanza la fuerza de manera uniforme hasta llegar a un pico de 250kN; todos estos picos y bajadas que nos muestran las figuras se pueden describir como momentos exactos en que los ladrillos empiezan a romperse. El panel logra soportar una fuerza máxima de **294.029kN** posteriormente el pistón deja de aplicar la fuerza pero a pesar de que el panel no se destruye, deja de ser funcional estructuralmente.

En la figura 21 podemos observar una grieta perpendicular a la base a lo largo de todo el panel, sin embargo no pierde la adherencia totalmente, el cuerpo sigue trabajando como un elemento

compuesto. Los ladrillos conforman su estructura inicial sin embargo al mínimo esfuerzo que sean expuestos, fracasaran.

Panel enlucido en 2 lados 10 min en el horno

Se observa que tenemos una de las aplicaciones de carga más uniforme que logramos conseguir, empezamos con una fuerza de 125kN, llegamos a la carga máxima aplicada de **293.758kN**.

En la figura 22 el panel presenta grietas perpendiculares a la base, pero no como en el caso anterior de los 5min_enlucido a los dos lados que se visualizó claramente tan solo un agrietamientos, en este caso se logra visualizar más de cuatro grietas que bajan tras la aplicación de la fuerza. Entonces el panel pierde en este caso la adherencia del enlucido por los dos lados, se repite el análisis en este caso en donde se puede decir que a partir de los 10 minutos que el panel se encuentra en el horno, al momento de ser ensayados en la prensa se nota que pierde ha adherencia del enlucido y deja de funcionar como un elemento compuesto.

Panel enlucido en 2 lados 15 min en el horno

Podemos ver que desde el momento que se aplica la fuerza del pistón hacia el panel, la fuerza es ascendente muy uniformemente hasta llegar casi sin variación descendente a la carga máxima que es de **295.356kN**.

En la figura 23 el panel este caso no reacciona como en los anteriores que no colapsaban por completo, todo lo contrario, podemos apreciar que el enlucido se deslinda en un 90% del panel, es decir que trabajan como elementos simple. El enlucido en este caso pierde la adherencia casi por completo y deja que los ladrillos traten de resistir la carga aplicada, sin embargo después del tiempo de 15 minutos en el horno los ladrillos también se vuelven vulnerables a cualquier carga que se aplique.

Ensayos de cada uno de los paneles.



Figura 21 Panel 2 lados enlucido 5 min en el horno



Figura 22 Paneles de 10 min en el horno



Figura 23 Paneles de 15 min en el horno

CAPÍTULO IV– CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Los ensayos realizados a cada uno de los paneles así como a los materiales que los conforman, obtuvimos valores que son útiles a la hora de diseñar algún elemento estructural que se encuentre sometido a ciertas circunstancias como es un incendio, teniendo de esta investigación las siguientes conclusiones:

- Basándonos en los resultados presentados, se evidencia una limitación en la integridad estructural que pueden proporcionar los enlucidos ante la exposición a altas temperaturas, dado que su adherencia y resistencia se ven perjudicadas provocando grietas y desprendimientos. Sin embargo, observamos que las juntas en los paneles no resultaron perjudicadas luego de estar expuestos al fuego. Más aún, nuestros ensayos con doble enlucido demostraron una mayor resistencia del sistema comparado con aquellos que solo tenían enlucido por un lado. Esto nos lleva a concluir que la aplicación de enlucidos a ambos lados del panel refuerza su protección ante el fuego. Se abre la oportunidad para desarrollar mejoras en las formulaciones de los morteros enfocadas en incrementar su capacidad de soportar temperaturas extremas. Los resultados positivos del doble enlucido pueden ser el punto de partida para optimizar las propiedades necesarias.
- Los resultados del ensayo de emisión de gases revelaron que la concentración de monóxido de carbono alcanzó los 604.6 ppm, un valor significativamente elevado. Concluimos que a medida que aumenta la exposición al gas, se provoca un daño acelerado. A partir de los 10 minutos de exposición, pueden surgir síntomas como náuseas y mareos, entre otros. Posteriormente, estos efectos pueden llegar a ser letales.

- En cuanto a las propiedades mecánicas se obtuvo que paneles con el enlucido en un solo lado, presentan una reducción de resistencia a la fuerza de compresión de un 5% (Panel 5min -2.910 kN, Panel 10min -2.92kN) con respecto al patrón (3.073kN), aunque con una diferencia de que el panel expuesto 15 min al horno perdió un 13% (2.680kN) mientras que al ensayar los paneles enlucidos en los dos lados, la variación de la resistencia a la fuerza de compresión es mínima con respecto al panel patrón, con un 3% de reducción en los dos primeros ensayos (Panel 5 min -2.88kN, Panel 10 min-2.87 kN) y en el último ensayo que estuvo expuesto a 15 min, tenemos una reducción de 2% (2.89 kN), en general los paneles enlucidos en un solo lado tuvieron mayores reducciones en la resistencia a la compresión que los enlucidos en ambos lados, esto indica que enlucir ambas caras mejora las propiedades mecánicas, además, a mayor tiempo de exposición al horno, mayores pérdidas de resistencia.
- El mortero patrón luego de ser ensayado tiene una resistencia de 16.67 MPa, lo que nos indica que cumple con el diseño inicial de 14.710MPa. Se realizaron varias muestras las mismas que fueron ingresadas al horno durante diferentes tiempos, al momento de realizar el ensayo los resultados nos indican que existe una resistencia menor a la esperada, por lo que podemos concluir que el elemento pierde humedad debilitando los materiales que lo conforman.
- La resistencia de unión tangencial en tipo tríos, nos da como resultado que la adherencia se pierde mientras más tiempo se encuentre en el horno de esta manera se puede comprobar que el trio que estuvo 15 min en el horno pierde una resistencia de 87% (3.70kN) , y el de 10 min en el horno pierde un 65% (10.34kN) y el de menor tiempo que es de 5 min pierde un 30% (20.79 kN) de su resistencia, estos porcentajes se los comparó con un patrón que su resistencia es de 29.49 kN siendo el equivalente al 100%.
- Los resultados de este estudio demuestran que la aplicación de enlucidos en paredes y paneles constructivos otorga importantes ventajas tanto en las propiedades mecánicas como en la resistencia al fuego de las edificaciones. El análisis de los diferentes paneles enlucidos evidencia que este recubrimiento refuerza la capacidad estructural de soportar cargas sin afectar significativamente su resistencia. Así también, al ser un material

incombustible, actúa como una barrera protectora ante la propagación de incendios, reduciendo el riesgo de debilitamiento y colapso.

4.2 Recomendación.

- Basado en los resultados que obtuvimos en la investigación, se recomienda que se centren en posibles situaciones como en viviendas que no se encuentren en la urbe y se les complique a los bomberos el tiempo estimado de llegada, por lo que las futuras investigaciones deberían exponer sus paneles y sus muestras a temperaturas y tiempos mayores para complementar esta investigación.
- El uso de enlucidos en el revestimiento de paredes es altamente recomendable en todo tipo de construcciones, no solo por los beneficios estéticos que representa, sino principalmente por el incremento en robustez, durabilidad ante eventos extremos y protección contra el fuego que confiere a las edificaciones. La incorporación de esta técnica constructiva tradicional seguirá aportando enorme valor en la seguridad de futuras viviendas.

4.3 Bibliografía

- Academia Nacional de Bomberos de Chile. (n.d.). *El monóxido de carbono: una amenaza invisible*.
- Alvear, G. J. (2011). *CONVENIO ESPECÍFICO ENTRE LA APUNTES DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO*.
- Angulo, L., & Lopez, C. (2008). *REFORZAMIENTO DE MAMPOSTERÍA DE LADRILLO ARTESANAL*.
- Asociación Brasileira de normas técnicas. (2000). *Requisitos de resistencia al fuego de los elementos constructivos - Procedimiento* (pp. 1–15). ABNT - Asociación Brasileira de Normas Técnicas. www.abnt.org.br
- Basset, J. M. (2019). *Desarrollo de incendios con ventilación limitada y Explosiones de Gases de Incendio*.
- Covarrubias, M., & Ruvalcaba, F. (2016). *COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ESTRUCTURAL DE MUROS DE MAMPOSTERÍA SOMETIDOS A ALTAS TEMPERATURAS*.
- Esmeralda Galán, D., & Pino Launes, F.-X. (2011). *COMPORTAMIENTO DEL FUEGO SEGÚN TIPOLOGÍA DE FORJADO*. Escola Politecnica Superior d' Edificació de Barcelona.

- Fabián René, R.-A., & Mario, C.-N. (2017). *La Ingeniería Estructural de Fuego un enfoque nacional y ejemplo de aplicación.*
- Herrera Polino, V. E., & Celis Ibáñez, J. J. (2018). “*Estudio del Comportamiento Mecánico de un Concreto $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ expuesto al fuego – Lima, 2018.* Universidad César Vallejo.
- I. E. S.T. P. “Pedro P. Diaz.” (2021). *Ensayo de compresión del ladrillo.*
- Lagos Macari. (2015). *CRITERIOS QUE DETERMINAN LOS REQUERIMIENTOS DE RESISTENCIA AL FUEGO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES.*
- Mario Covarrubias Navarro. (2016). *COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ESTRUCTURAL DE MUROS DE MAMPOSTERÍA SOMETIDOS A ALTAS TEMPERATURAS.*
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2014). *MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL.* Dirección de comunicación social, MIDUV.
- Pavez, A. (2011, July). *Comportamiento del Hormigón ante incendio.* 40–45.
- Perez Sanchez, R. M. (2022). *Comportamiento mecánico de muros de albañilería con ladrillos artesanales con adición de cenizas de hornos, Pacaycasa, Ayacucho 2021.*
- Ripani Paula & Xargay Hernán. (2021). *RESISTENCIA A FUEGO EN ESTRUCTURAS DE ACERO Y HORMIGÓN ARMADO. DISPOSICIONES REGLAMENTARIAS.*
- Rodas Plaza, J., & Molina Campoverde, J. E. (2023). *INFLUENCIA DE LA SUPERFICIE DE CONTACTO LADRILLO-MORTERO Y LA RESISTENCIA DEL LADRILLO EN EL DESARROLLO DE LAS DEFORMACIONES ELASTOPLÁSTICAS DE LA MAMPOSTERÍA.* Universidad Católica de Cuenca.
- Señas L, M. P. (2010). *Evaluación de elementos estructurales de hormigón expuestos a un incendio.* www.cinpar2010.com.ar
- Sergi Jean-Pierre, S. A. (2016). *Guía de Autoinstrucción N° 1. El Fuego y los Incendios* (Alonso Segeur, Ed.).

4.4 Anexos



Ilustración 16 Ingreso de paneles al horno



Ilustración 17 Mezcla de mortero

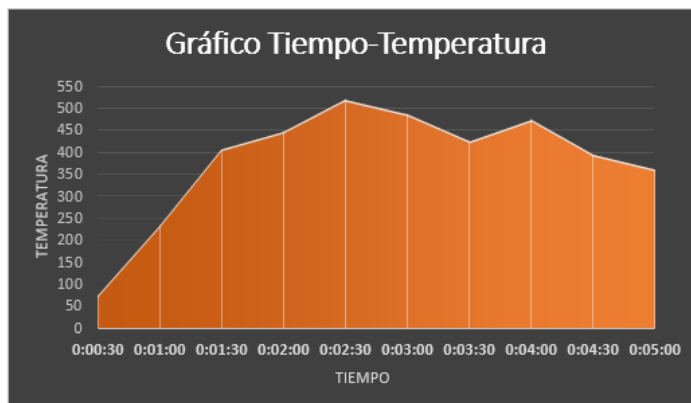


Ilustración 18 Muestra de adherencia

ENLUCIDO EN AMBOS LADOS

5 MINUTOS

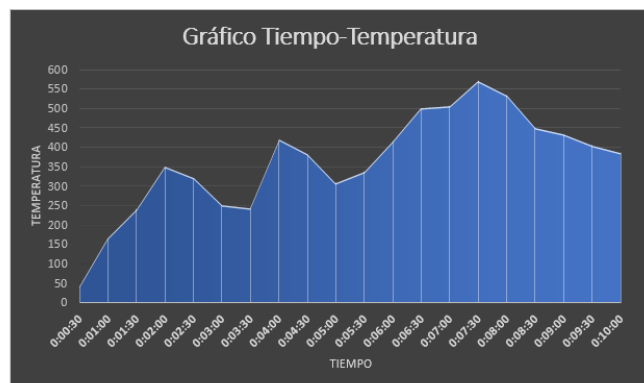
Tiempo	Temperatura
0:00:30	75
0:01:00	233
0:01:30	405
0:02:00	447
0:02:30	520
0:03:00	487
0:03:30	425
0:04:00	474
0:04:30	393
0:05:00	360



ENLUCIDO EN AMBOS LADOS

10 MINUTOS

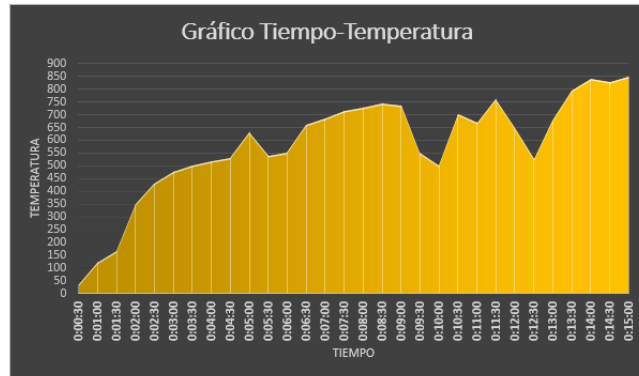
Tiempo	Temperatura
0:00:30	41
0:01:00	165
0:01:30	241
0:02:00	350
0:02:30	320
0:03:00	251
0:03:30	243
0:04:00	420
0:04:30	382
0:05:00	308
0:05:30	337
0:06:00	415
0:06:30	500
0:07:00	507
0:07:30	571
0:08:00	533
0:08:30	451
0:09:00	433
0:09:30	405
0:10:00	386



ENLUCIDO EN AMBOS LADOS

15 MINUTOS

Tiempo	Temperatura
0:00:30	36
0:01:00	121
0:01:30	165
0:02:00	350
0:02:30	429
0:03:00	478
0:03:30	501
0:04:00	516
0:04:30	530
0:05:00	633
0:05:30	541
0:06:00	553
0:06:30	660
0:07:00	684
0:07:30	715
0:08:00	729
0:08:30	746
0:09:00	736
0:09:30	550
0:10:00	503
0:10:30	702
0:11:00	670
0:11:30	763
0:12:00	646
0:12:30	525
0:13:00	676
0:13:30	793
0:14:00	839
0:14:30	829
0:15:00	851

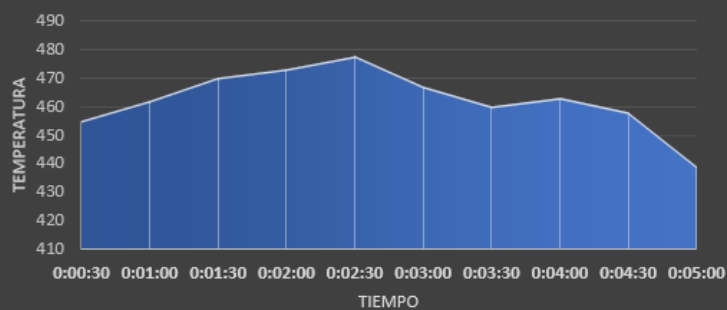


ENLUCIDO EN UN LADO

5 MINUTOS

Tiempo	Temperatura
0:00:30	455
0:01:00	462
0:01:30	470
0:02:00	473
0:02:30	478
0:03:00	467
0:03:30	460
0:04:00	463
0:04:30	458
0:05:00	439

Gráfico Tiempo-Temperatura

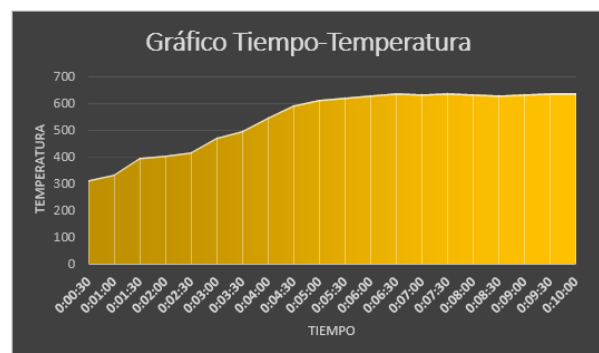


ENLUCIDO EN UN LADO

10 MINUTOS

Tiempo	Temperatura
0:00:30	314
0:01:00	334
0:01:30	397
0:02:00	406
0:02:30	421
0:03:00	475
0:03:30	500
0:04:00	550
0:04:30	596
0:05:00	615
0:05:30	626
0:06:00	633
0:06:30	640
0:07:00	639
0:07:30	642
0:08:00	637
0:08:30	635
0:09:00	638
0:09:30	640
0:10:00	641

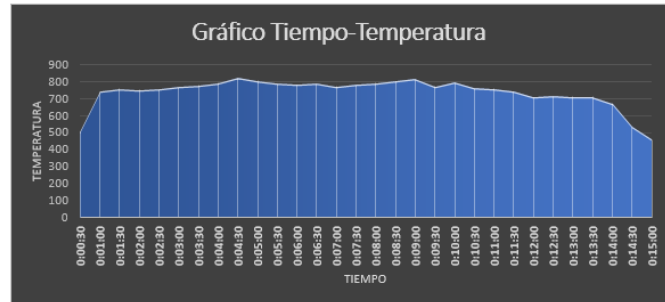
Gráfico Tiempo-Temperatura



ENLUCIDO EN UN LADO

15 MINUTOS

Tiempo	Temperatura
0:00:30	504
0:01:00	741
0:01:30	757
0:02:00	750
0:02:30	754
0:03:00	767
0:03:30	777
0:04:00	790
0:04:30	821
0:05:00	803
0:05:30	788
0:06:00	782
0:06:30	788
0:07:00	771
0:07:30	782
0:08:00	791
0:08:30	800
0:09:00	815
0:09:30	771
0:10:00	794
0:10:30	761
0:11:00	756
0:11:30	740
0:12:00	706
0:12:30	715
0:13:00	710
0:13:30	712
0:14:00	671
0:14:30	532
0:15:00	460



Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20231212_1556.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	12/12/2023	Fecha de ensayo	12/12/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Max_Fuerza	Max_ESFUERZO	Max._Desplazamiento	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	mm	%
1_1	3007,22	120,289	1,23750	2,47500
Media	3007,22	120,289	1,23750	2,47500
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

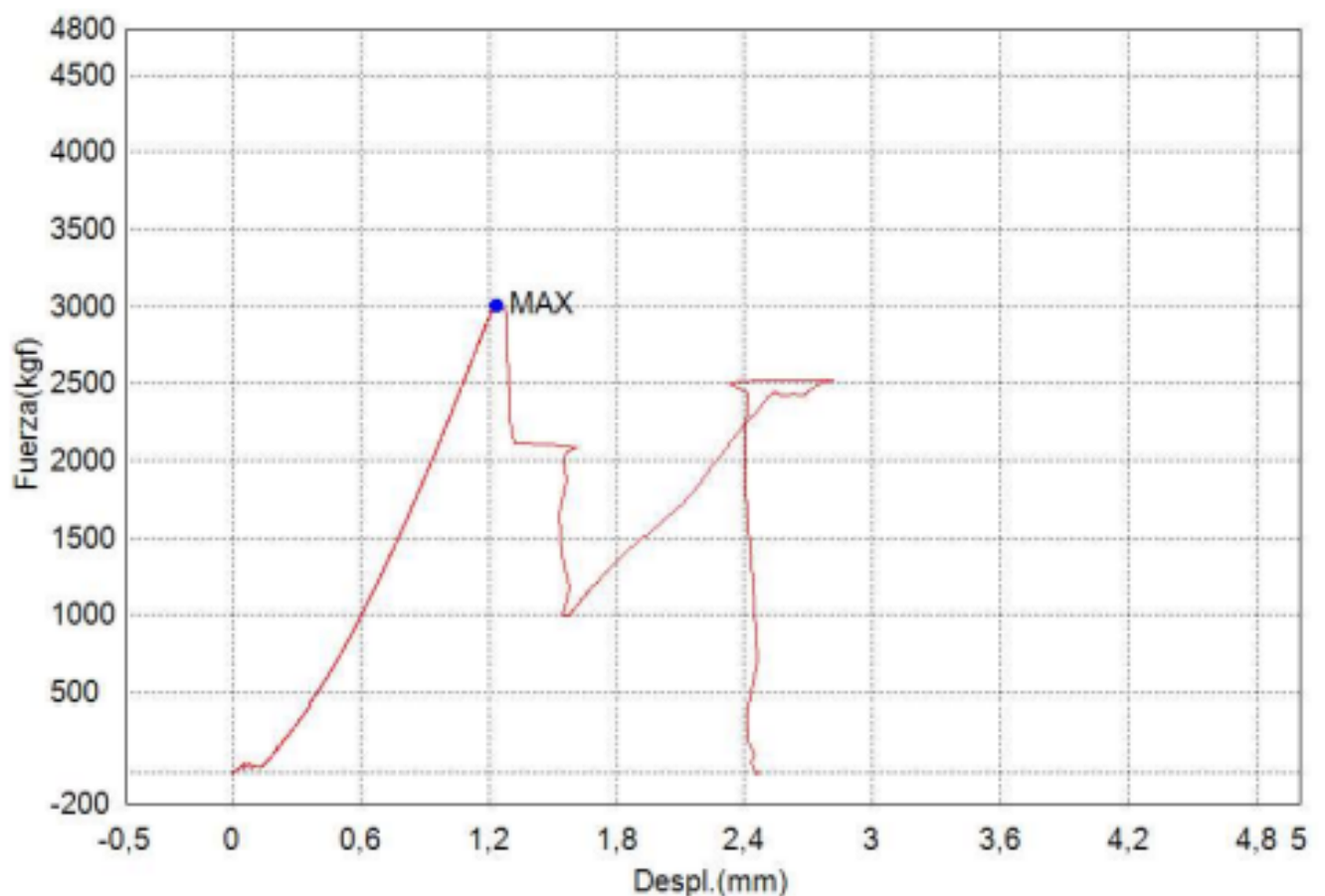


Figura 24 Adherencia patrón

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20231128_1051_xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	28/11/2023	Fecha de ensayo	28/11/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	0,25kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max_Fuerza Calc. at Entire Areas	Max_Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	2120	11,2
Media	2120	11,2
Desviacion Estandar	-.-	-.-
Rango	0,00000	0,00000

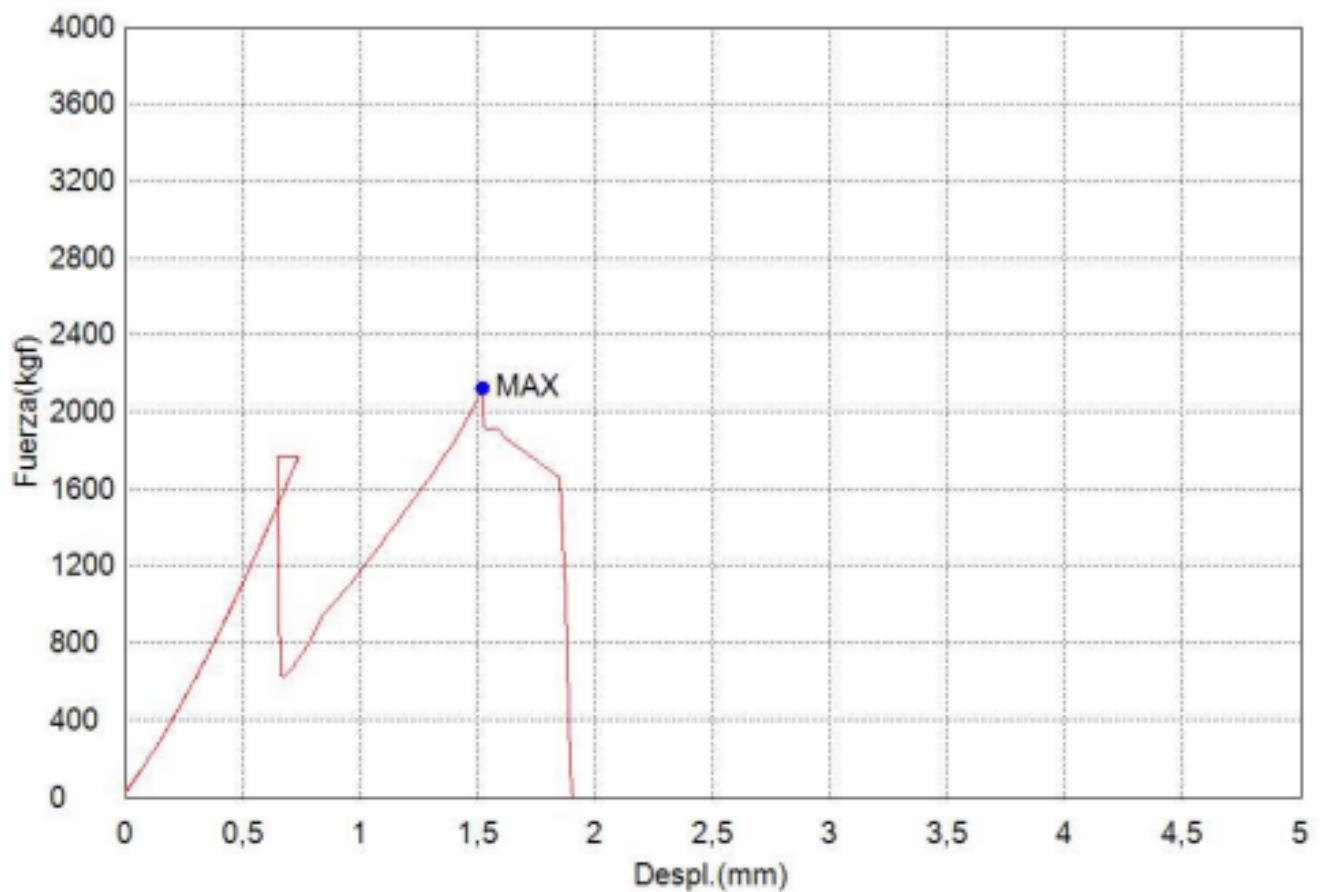


Figura 25 Adherencia 5min

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20231212_1549.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	12/12/2023	Fecha de ensayo	12/12/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Max_Fuerza	Max_ESFUERZO	Max._Desplazamiento	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	mm	%
1_1	1054,43	42,1770	2,85875	5,71750
Media	1054,43	42,1770	2,85875	5,71750
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

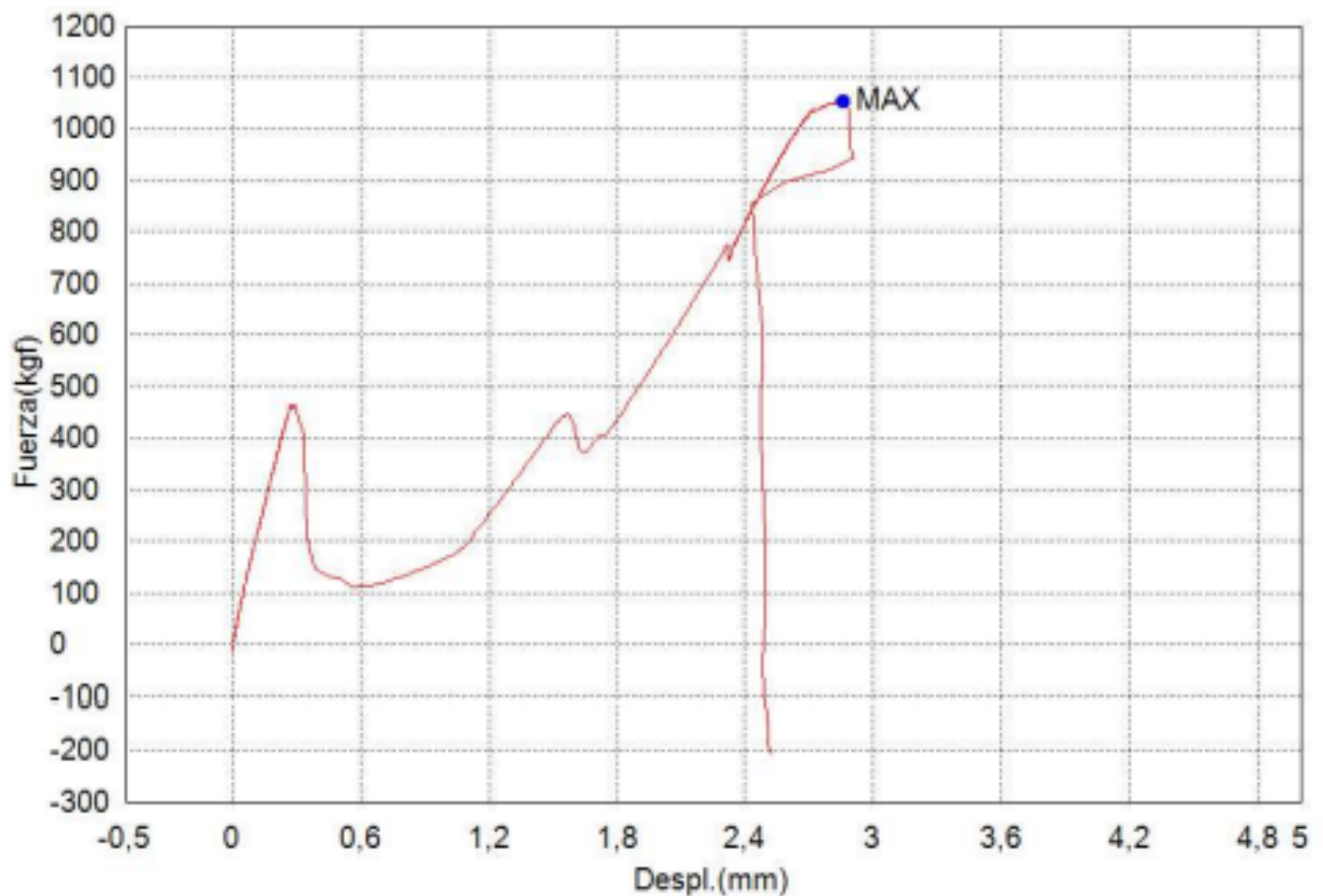


Figura 26 Adherencia 10 min

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20231212_1552.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	12/12/2023	Fecha de ensayo	12/12/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Max_Fuerza	Max_ESFUERZO	Max._Desplazamiento	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	mm	%
1_1	377,872	15,1149	0,24488	0,48975
Media	377,872	15,1149	0,24488	0,48975
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

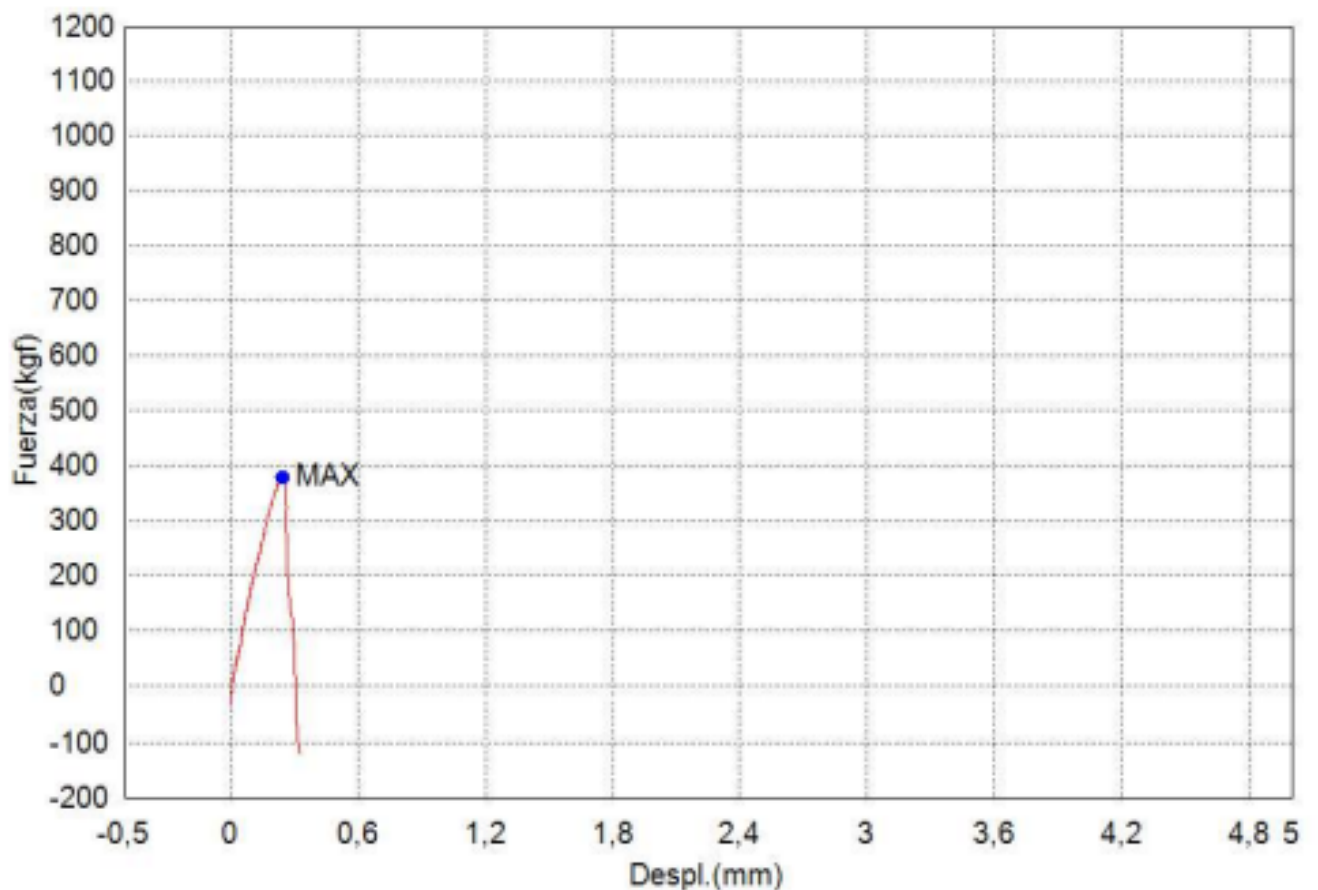


Figura 27 Adherencia 15 min

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20231212_1533.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	12/12/2023	Fecha de ensayo	12/12/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Max_Fuerza	Max_ESFUERZO	Max._Desplazamiento	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	mm	%
1_1	4054,68	162,187	2,52200	5,04400
Media	4054,68	162,187	2,52200	5,04400
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

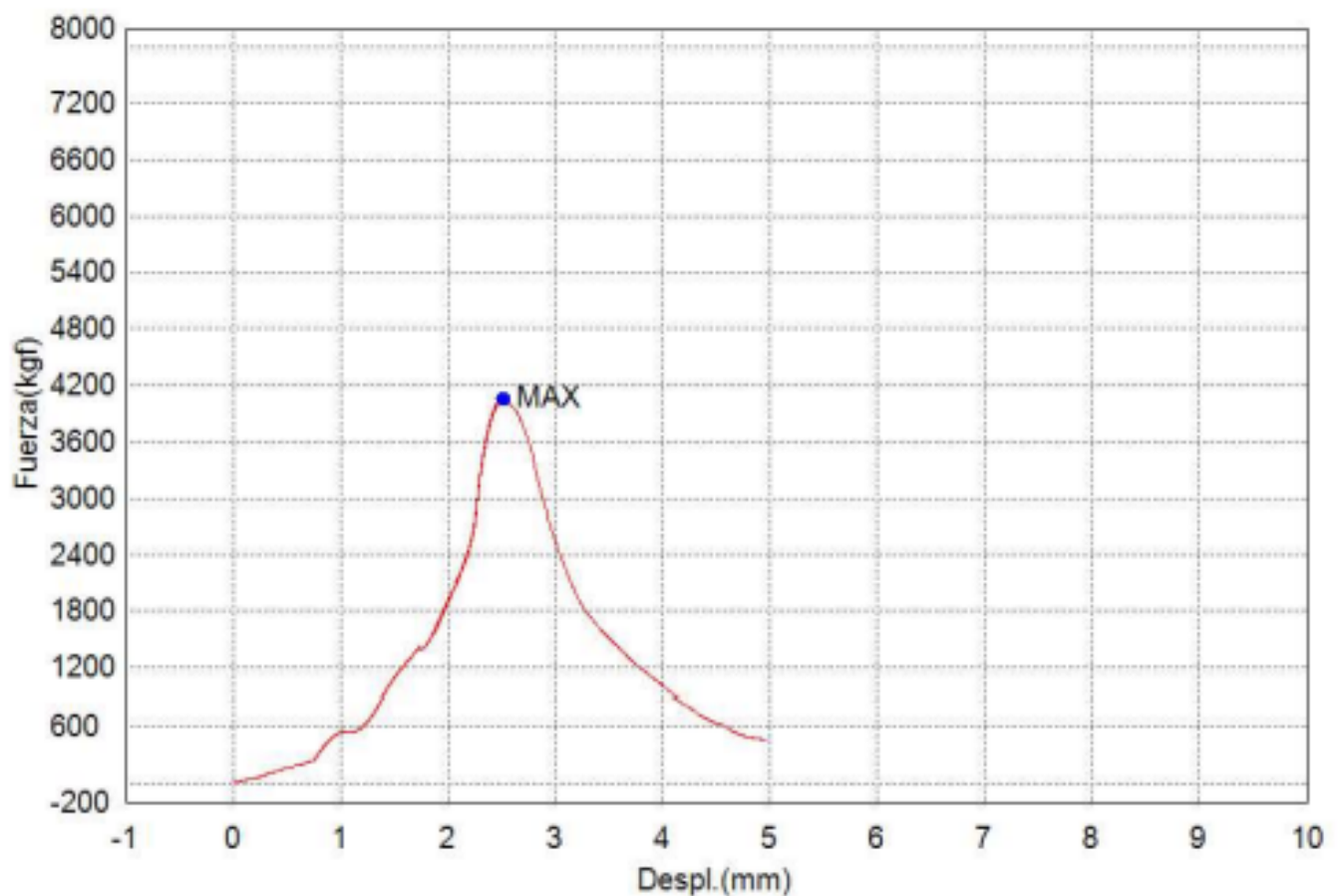


Figura 28 Cubo Patrón 1

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20231128_1124.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	28/11/2023	Fecha de ensayo	28/11/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Max_Fuerza	Max_ESFUERZO	Max._Desplazamiento	Max._Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	mm	%
1_1	4252,42	170,097	0,66750	1,33500
Media	4252,42	170,097	0,66750	1,33500
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

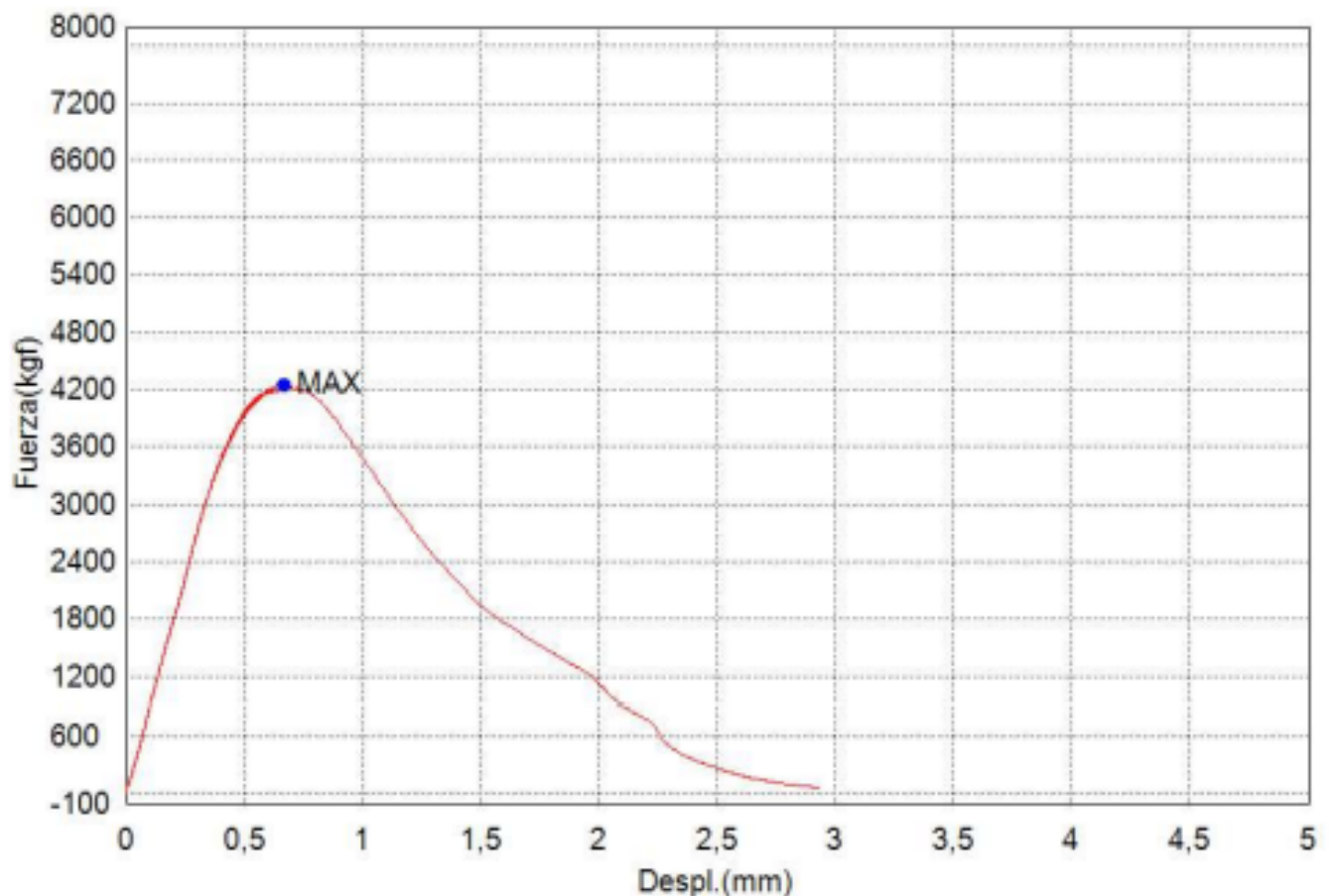


Figura 29 Cubo Patrón muestra 2

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20231128_1135.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	28/11/2023	Fecha de ensayo	28/11/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Plana
N°de partidas:	1	N°de muestras:	1

Nombre	Max_Fuerza	Max_ESFUERZO	Max._Desplazamiento	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	mm	%
1_1	4096,66	163,866	0,56150	1,12300
Media	4096,66	163,866	0,56150	1,12300
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

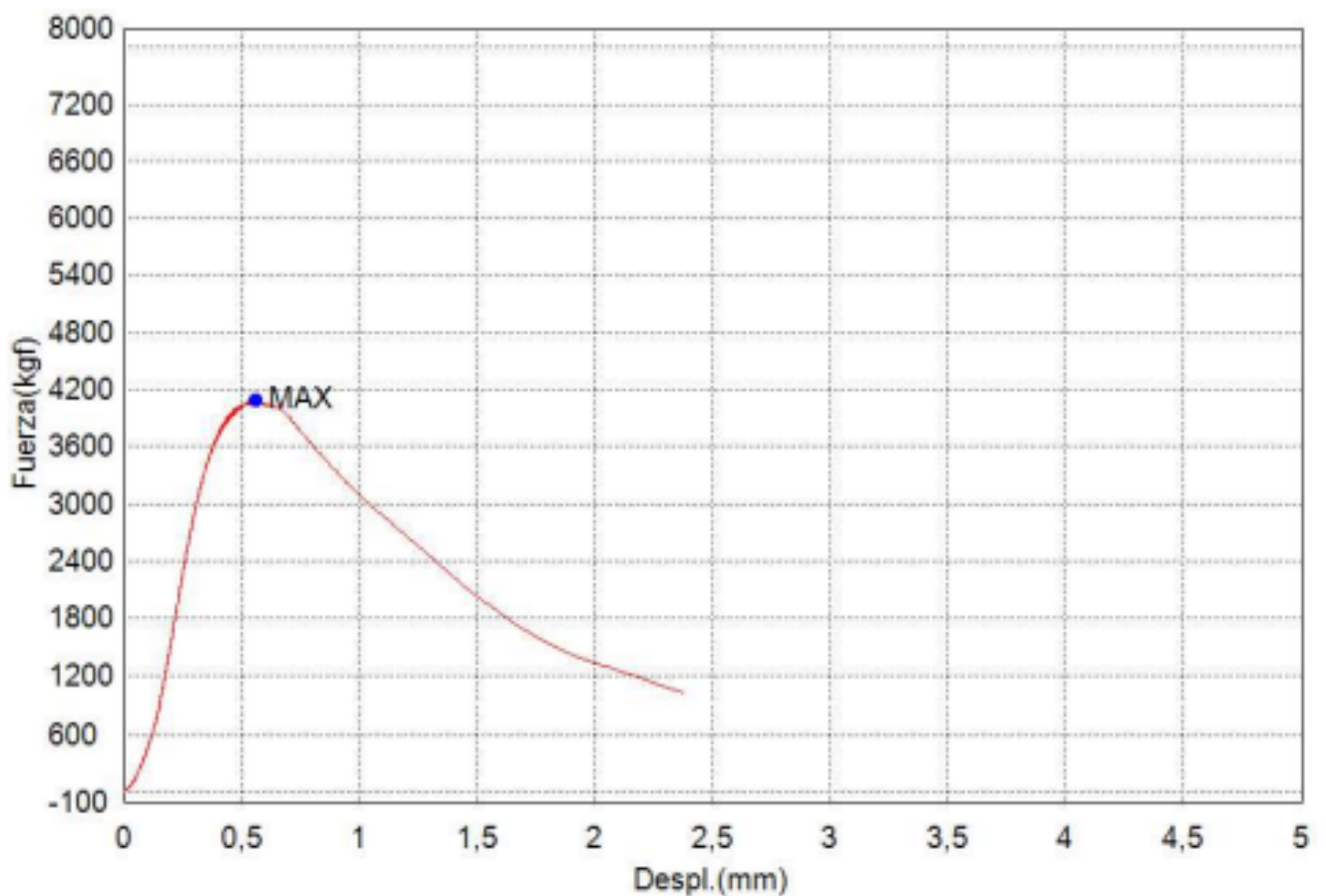


Figura 30 Cubo Patrón muestra 3

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20231212_1521.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	12/12/2023	Fecha de ensayo	12/12/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2.5kgf/cm2/sec	Forma	Plana
N° de partidas:	1	N° de muestras:	1

Nombre	Max_Fuerza	Max_ESFUERZO	Max_Desplazamiento	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	mm	%
1_1	898,148	35,9259	2,23325	4,46650
Media	898,148	35,9259	2,23325	4,46650
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

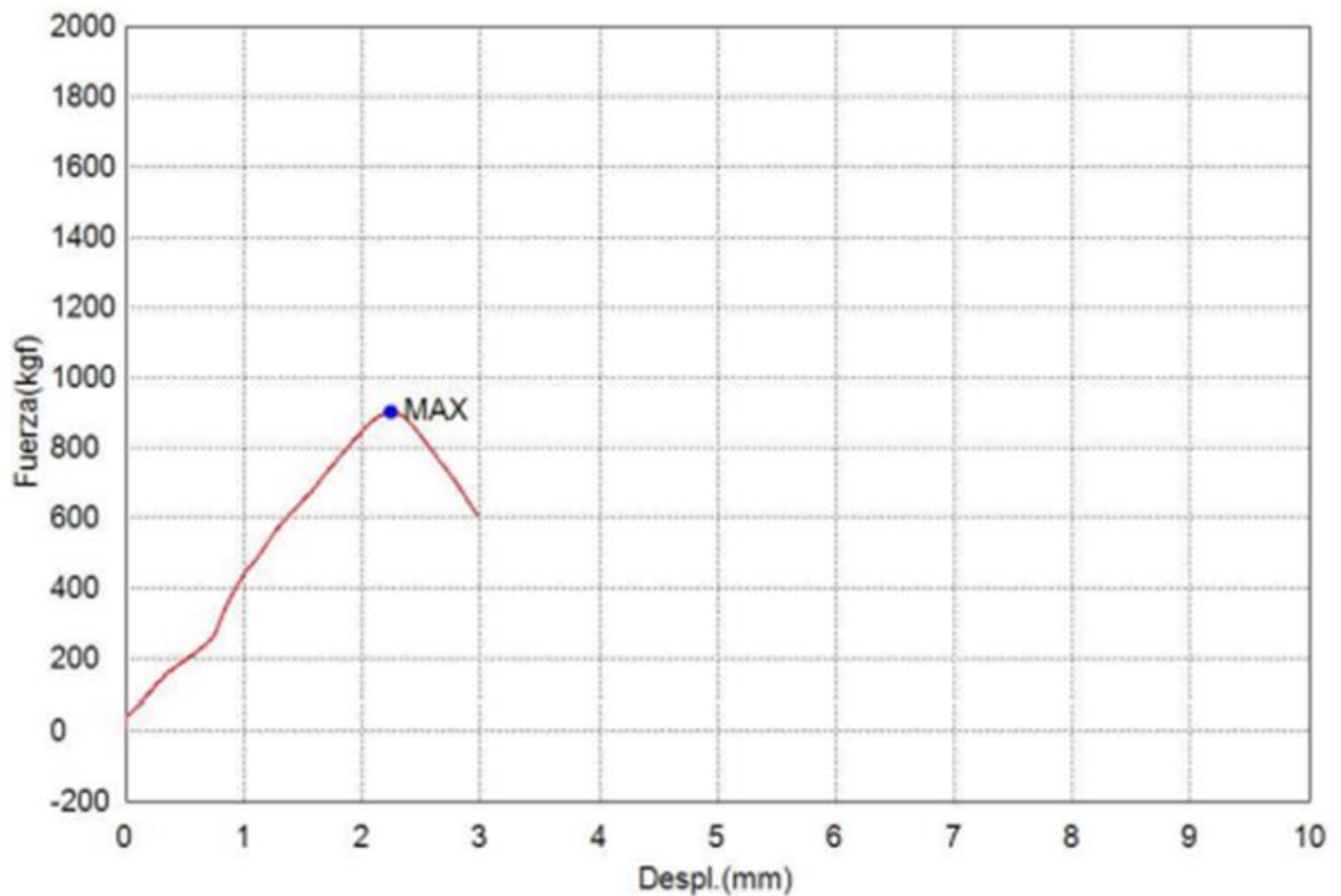


Figura 31 Cubo 5 min_1

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20231212_1525.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	12/12/2023	Fecha de ensayo	12/12/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Max_Fuerza	Max_ESFUERZO	Max._Desplazamiento	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	mm	%
1_1	1316.02	52.6408	1.09375	2.18750
Media	1316.02	52.6408	1.09375	2.18750
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

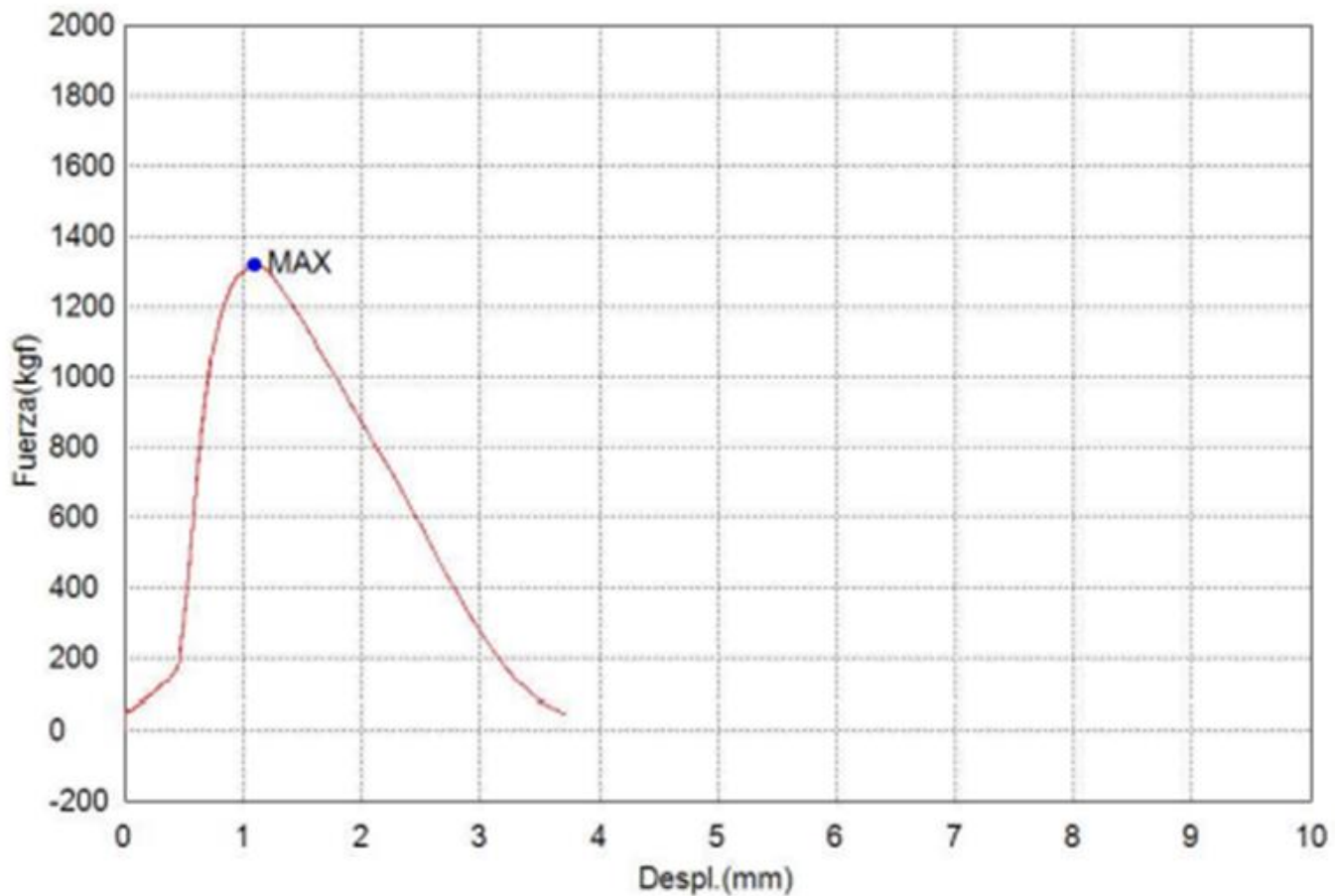


Figura 32 Cubo 5 min_2

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20231128_1124.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	28/11/2023	Fecha de ensayo	28/11/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Max_Fuerza	Max_ESFUERZO	Max._Desplazamiento	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	mm	%
1_1	945,637	37,8255	0,71638	1,43275
Media	945,637	37,8255	0,71638	1,43275
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

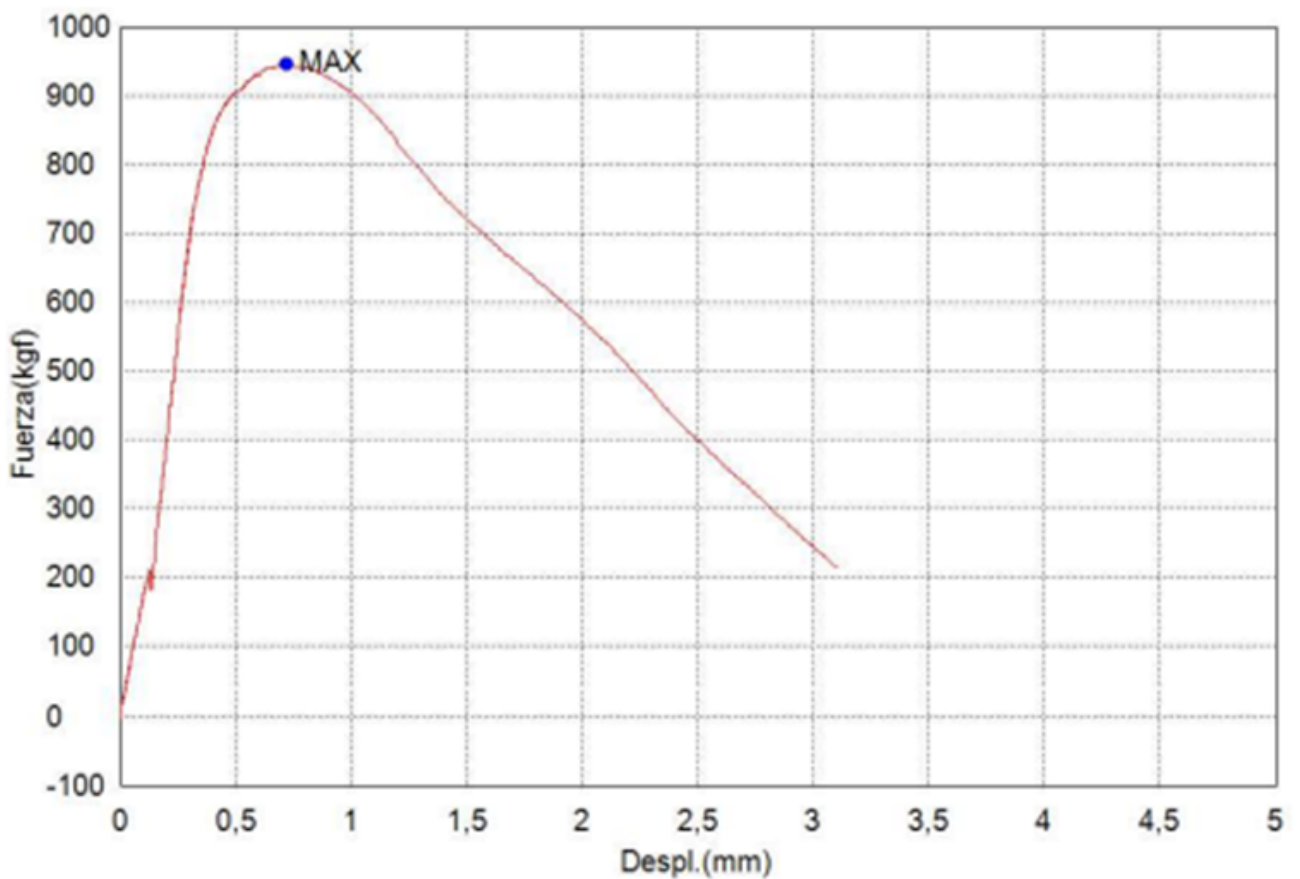


Figura 33 Cubo 10 min_1

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20231212_1528.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	12/12/2023	Fecha de ensayo	12/12/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Plana
N° de partidas:	1	N° de muestras:	1

Nombre	Max._Fuerza	Max._ESFUERZO	Max._Desplazamiento	Max._Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	mm	%
1_1	1248,86	49,9542	1,18150	2,36300
Media	1248,86	49,9542	1,18150	2,36300
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

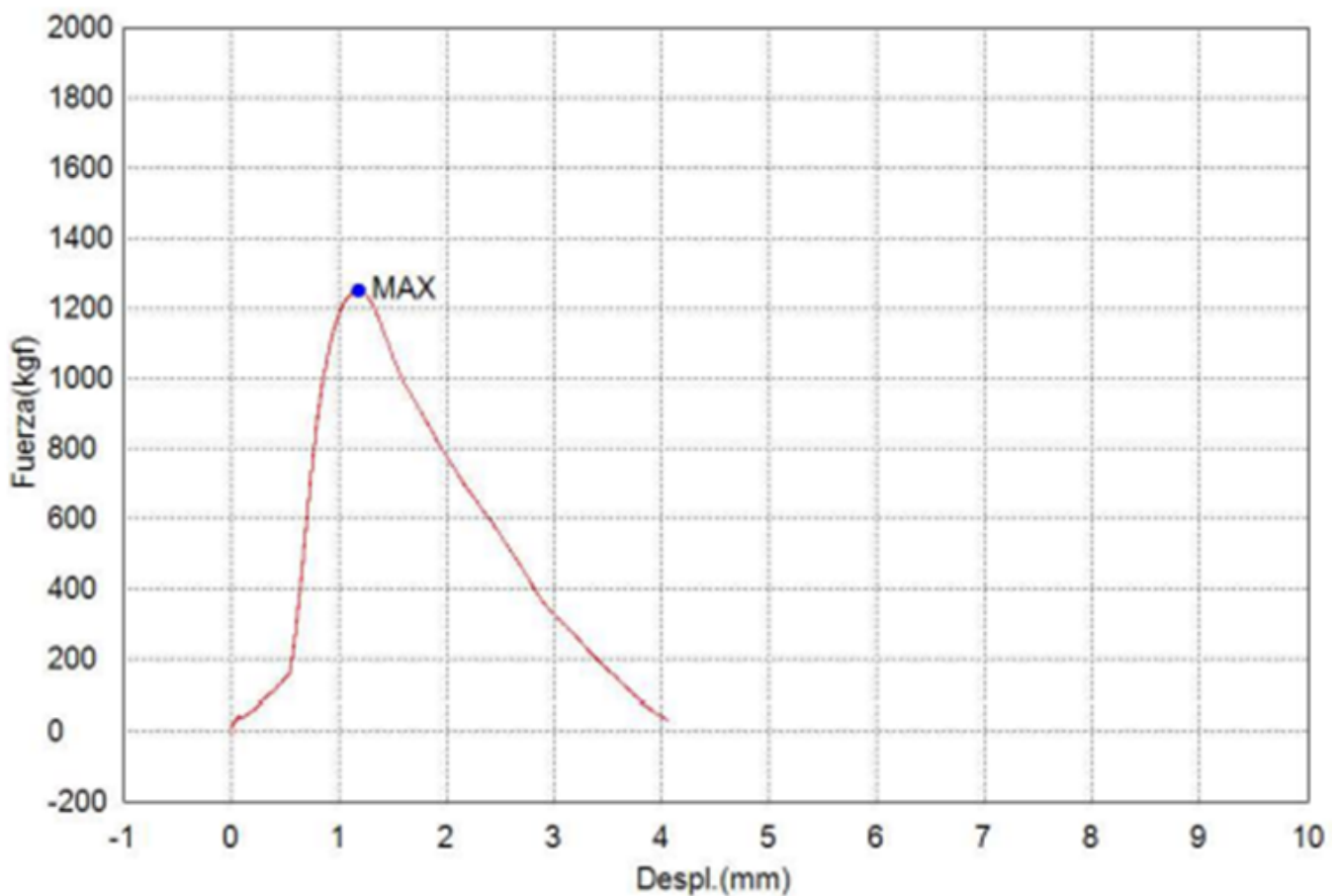


Figura 34 Cubo 10 min_2

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20231212_1542.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	12/12/2023	Fecha de ensayo	12/12/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Plana
N°de partidas:	1	N°de muestras:	1

Nombre	Max_Fuerza	Max_ESFUERZO	Max._Desplazamiento	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	mm	%
1_1	1251,35	50,0541	1,95125	3,90250
Media	1251,35	50,0541	1,95125	3,90250
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

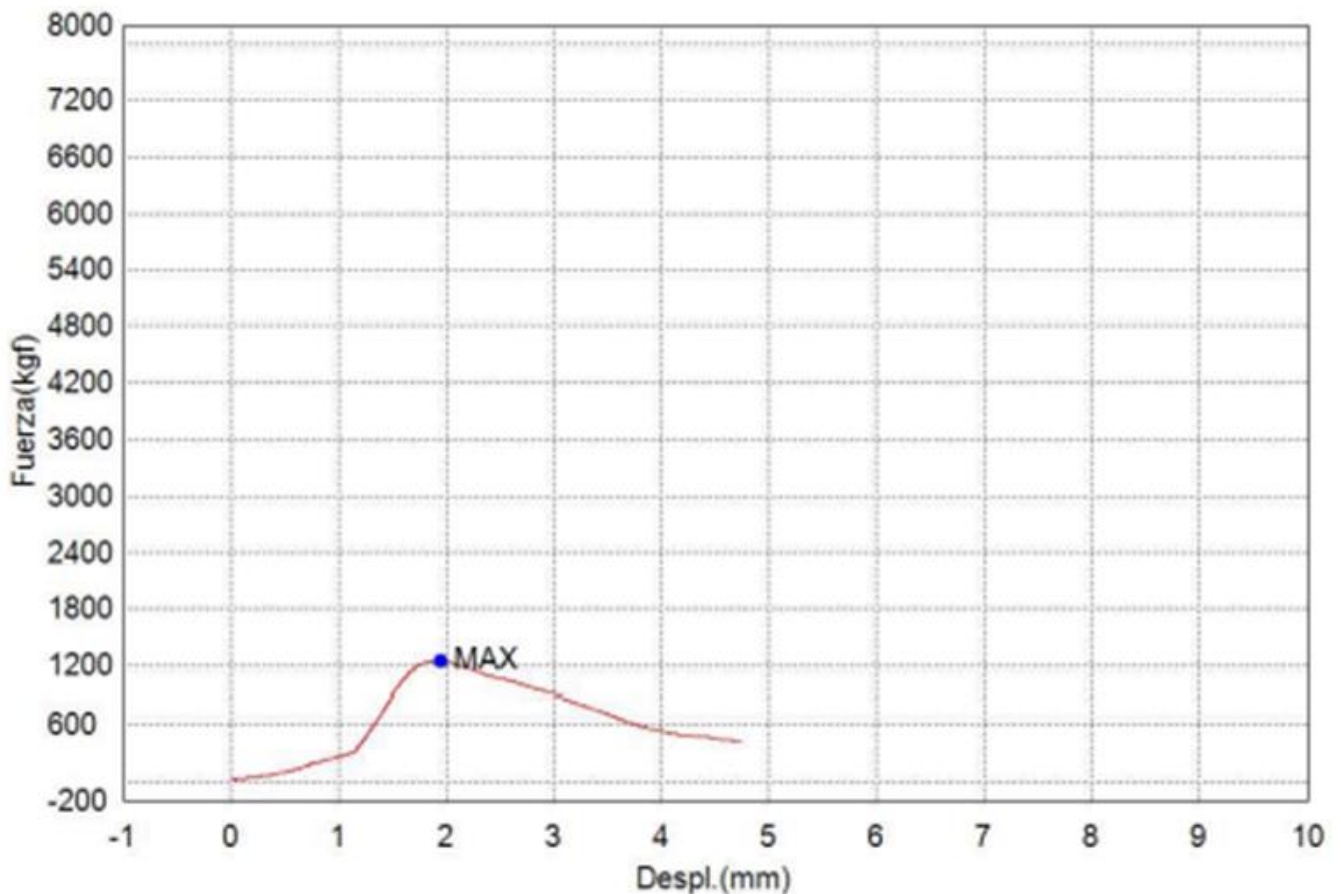


Figura 35 Cubo 15 min_1

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20231212_1537.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	12/12/2023	Fecha de ensayo	12/12/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Plana
N° de partidas:	1	N° de muestras:	1

Nombre	Max._Fuerza	Max._ESFUERZO	Max._Desplazamiento	Max._Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	mm	%
1_1	1220,75	48,8300	1,64788	3,29575
Media	1220,75	48,8300	1,64788	3,29575
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

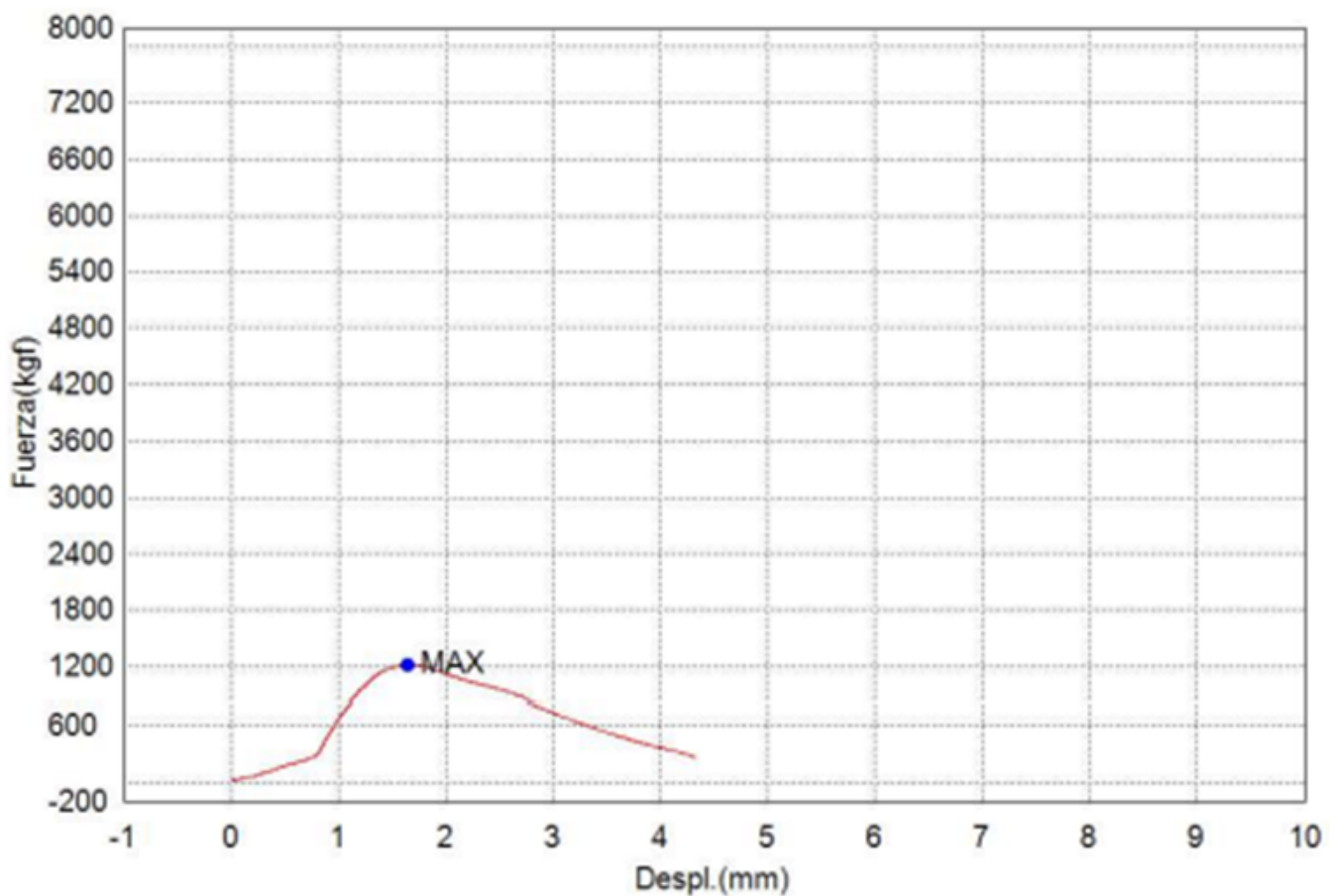


Figura 36 Cubo 15 min _2

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, **Carlos David Galarza Lituma** y **Emmanuel Esteban Molina Campoverde** portadores de las cédulas de ciudadanía N° **0106888027** y **0104931399**. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “**Comportamiento físico y mecánico de elementos expuestos al fuego: mampostería + enlucido (paneles de ladrillo)**” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, **28 de febrero del 2024**

F:

Carlos David Galarza Lituma

0106888027

F:

Emmanuel Esteban Molina Campoverde

0104931399