

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



**Evaluación de la resistencia a compresión del concreto con arcilla  
expandida expuesto al fuego**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR**

**Frank Stephano Diaz Baldera**

**ASESOR**

**Wilson Martin Garcia Vera**

<https://orcid.org/0000-0001-6108-0946>

**Chiclayo, 2024**

**Evaluación de la resistencia a compresión del concreto con arcilla  
expandida expuesto al fuego**

PRESENTADA POR  
**Frank Stephano Diaz Baldera**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO CIVIL**

APROBADA POR

Jorge Enrique Alvarez Ruffran

PRESIDENTE

Manuel Alejandro Borja Suarez

SECRETARIO

Wilson Martin Garcia Vera

VOCAL

## **Dedicatoria**

En primer lugar, deseo agradecer a Dios por su constante cuidado hacia mí y mi familia. Agradezco a mis padres, Franklin y Katherine, por la invaluable formación y educación que me brindaron; sin ellos, no habría alcanzado el punto en el que me encuentro ahora en la vida. Quiero reconocer el apoyo incondicional de mis hermanos, Bruno y Diego, quienes siempre me alentaron a superarme cada día.

Por último, no puedo pasar por alto recordar y honrar la memoria de mi querido abuelo José, que en paz descansa, la herencia y conocimiento que me ha transmitido han dejado una marca indeleble en mi existencia.

## **Agradecimientos**

Agradezco de corazón a Dios y a mi familia, pilares esenciales en mi vida personal y académica. Reconozco con gratitud a mis docentes de la USAT por la sólida formación profesional que me ha permitido avanzar con éxito en esta investigación.

Un agradecimiento especial al Ing. Wilson García, mi asesor, por su guía experta y valiosos consejos, fundamentales para el desarrollo de este proyecto.

## TESIS - DIAZ BALDERA FRANK

---

### INFORME DE ORIGINALIDAD

---

**22%**

INDICE DE SIMILITUD

**22%**

FUENTES DE INTERNET

**2%**

PUBLICACIONES

**10%**

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

---

### FUENTES PRIMARIAS

---

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>5%</b>
<b>2</b>	<b>Submitted to Universidad Andina del Cusco</b> Trabajo del estudiante	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.uta.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>repositorio.uss.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>tesis.usat.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>Submitted to Universidad Cesar Vallejo</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>repositorio.usanpedro.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>9</b>	<b>tesis.ucsm.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>

---

## Índice

Resumen .....	12
Abstract .....	13
Introducción .....	14
Revisión De Literatura .....	17
Materiales y Métodos .....	33
Resultados y Discusión .....	52
Conclusiones .....	92
Recomendaciones.....	93
Referencias .....	94
Anexos.....	97

## Lista de figuras

<b>Figura N°01:</b> Tamices utilizados en el ensayo.....	36
<b>Figura N°02:</b> Muestra seca utilizada en el ensayo. ....	36
<b>Figura N°03:</b> Muestra seca retenida en cada tamiz.....	36
<b>Figura N°04:</b> Peso de la muestra húmeda. ....	37
<b>Figura N°05:</b> Peso de la muestra seca.....	37
<b>Figura N°07:</b> Peso unitario suelto húmedo 2 del agregado fino. ....	38
<b>Figura N°06:</b> Peso unitario suelto húmedo 1 del agregado fino. ....	38
<b>Figura N°09:</b> Peso unitario compactado húmedo 1 del agregado fino.....	38
<b>Figura N°08:</b> Peso unitario compactado húmedo 1 del agregado fino.....	38
<b>Figura N°11:</b> Peso de la muestra SSS. ....	39
<b>Figura N°10:</b> Fiola con la muestra. ....	39
<b>Figura N°13:</b> Muestra saturada en el horno. ....	39
<b>Figura N°12:</b> Muestra seca.....	39
<b>Figura N°15:</b> Tamices utilizados en el ensayo.....	40
<b>Figura N°14:</b> Peso de la muestra cuarteada. ....	40
<b>Figura N°17:</b> Peso de la muestra seca. ....	41
<b>Figura N°16:</b> Peso de la muestra húmeda + tara.....	41
<b>Figura N°19:</b> Peso unitario suelto húmedo 2 del agregado grueso. ....	42
<b>Figura N°18:</b> Peso unitario suelto húmedo 1 del agregado grueso. ....	42
<b>Figura N°21:</b> Peso unitario compactado húmedo 2 del agregado grueso. ....	42
<b>Figura N°20:</b> Peso unitario compactado húmedo 1 del agregado grueso. ....	42
<b>Figura N°23:</b> Peso de la muestra seca. ....	43
<b>Figura N°22:</b> Peso de la muestra SSS. ....	43
<b>Figura N°25:</b> Peso de la muestra sumergida. ....	43
<b>Figura N°24:</b> Eliminación del agua de la superficie de la piedra.....	43
<b>Figura N°26 y 27:</b> Horno artesanal donde las muestras serán expuestas al fuego. ....	44
<b>Figura N°28 y 29:</b> Colocación de las muestras dentro del horno.....	45

<b>Figura N°30:</b> Exposición al fuego de las muestras. ....	45
<b>Figura N°31:</b> Retiro de las muestras quemadas con ayuda de una pinza. ....	45
<b>Figura N°32 y 33:</b> Muestras expuestas al fuego.....	45
<b>Figura N°34:</b> Cronómetro. ....	46
<b>Figura N°36:</b> Medición de temperatura. ....	47
<b>Figura N°35:</b> Termómetro infrarrojo. ....	47
<b>Figura N°37:</b> Asentamiento del concreto.....	47
<b>Figura N°38:</b> Temperatura del concreto.....	48
<b>Figura N°39:</b> Peso unitario del concreto. ....	49
<b>Figura N°40 y 41:</b> Probetas vaciadas. ....	50
<b>Figura N°42:</b> Compresora. ....	50
<b>Figura N°43:</b> Curva granulométrica del agregado fino.....	52
<b>Figura N°44:</b> Curva granulométrica del agregado grueso.....	55
<b>Figura N°45:</b> Curva granulométrica de la arcilla expandida.....	58
<b>Figura 47:</b> Muestra de piedra al volumen .....	69
<b>Figura 46:</b> Muestra de arcilla expandida al volumen.....	69
<b>Figura N°48:</b> Curva de F'c 210 – C.P y Concreto con 10%, 15% y 20% de Arcilla Expandida.....	72
<b>Figura N°49:</b> Curva de F'c 210 – Concreto Patrón y Concreto Patrón expuesto al fuego.....	74
<b>Figura N°50:</b> Curva de F'c 210 – Concreto con 10% A.E y Concreto con 10% A.E expuesto al fuego 75	
<b>Figura N°51:</b> Curva de F'c 210 – Concreto con 15% A.E y Concreto con 15% A.E expuesto al fuego 76	
<b>Figura N°52:</b> Curva de F'c 210 – Concreto con 20% A.E y Concreto con 20% A.E expuesto al fuego 77	
<b>Figura 53:</b> Concreto Patrón – 14 días.....	79
<b>Figura 54:</b> Concreto Patrón – 28 días.....	79
<b>Figura 55:</b> con 10% A.E – 14 días .....	80
<b>Figura 56:</b> con 10% A.E – 28 días .....	80
<b>Figura 57:</b> con 15% A.E – 14 días .....	81
<b>Figura 58:</b> con 15% A.E – 28 días .....	81

<b>Figura 59:</b> con 20% A.E – 14 días .....	82
<b>Figura 60:</b> con 20% A.E – 28 días .....	82
<b>Figura 62:</b> Concreto Patrón – 28 días.....	83
<b>Figura 61:</b> Concreto Patrón – 14 días.....	83
<b>Figura 64:</b> con 10% A.E – 28 días .....	83
<b>Figura 63:</b> con 10% A.E – 14 días .....	83
<b>Figura 65:</b> con 15% A.E – 14 días .....	84
<b>Figura 66:</b> con 15% A.E – 28 días .....	84
<b>Figura 68:</b> con 15% A.E – 28 días .....	84
<b>Figura 67:</b> con 15% A.E – 14 días .....	84
<b>Figura 69 y 70:</b> Fisuras y grietas.....	85
<b>Figura 71:</b> Cambio de color del concreto.....	85

## Lista de Tablas

<b>Tabla N°01:</b> Módulo de fineza del agregado fino .....	22
<b>Tabla N°02:</b> Módulo de fineza del agregado grueso.....	25
<b>Tabla N°03:</b> Muestra para ensayo de resistencia a la compresión .....	33
<b>Tabla N°04:</b> Muestra para ensayo de resistencia a la compresión .....	34
<b>Tabla N°05:</b> Variables y Operacionalización.....	34
<b>Tabla N°06:</b> Recolección de datos de la granulometría del agregado fino .....	36
<b>Tabla N°07:</b> Recolección de datos del contenido de humedad del agregado fino .....	37
<b>Tabla N°08:</b> Recolección de datos del peso unitario suelto y compactado del agregado fino	38
<b>Tabla N°09:</b> Recolección de datos del peso específico y grado de absorción del agregado fino	39
<b>Tabla N°10:</b> Recolección de datos de la granulometría del agregado grueso.....	40
<b>Tabla N°11:</b> Recolección de datos del contenido de humedad del agregado grueso.....	41
<b>Tabla N°12:</b> Recolección de datos del peso unitario suelto y compactado del agregado grueso	42
<b>Tabla N°13:</b> Recolección de datos del peso específico y grado de absorción del agregado grueso .....	43
<b>Tabla N°14:</b> Recolección de datos del asentamiento .....	48
<b>Tabla N°15:</b> Recolección de datos de la temperatura .....	48
<b>Tabla N°16:</b> Recolección de datos del peso unitario del concreto fresco.....	49
<b>Tabla N°17:</b> Recolección de datos de Resistencia a la compresión.....	51
<b>Tabla N°18:</b> Granulometría del agregado fino.....	52
<b>Tabla N°19:</b> Contenido de humedad del agregado fino .....	53
<b>Tabla N°20:</b> Peso unitario suelto y compactado del agregado fino .....	53
<b>Tabla N°21:</b> Peso específico y absorción del agregado fino.....	54
<b>Tabla N°22:</b> Granulometría del agregado grueso.....	55
<b>Tabla N°23:</b> Contenido de humedad del agregado grueso.....	56
<b>Tabla N°24:</b> Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso .....	56

<b>Tabla N°25:</b> Peso específico y absorción del agregado grueso.....	57
<b>Tabla N°26:</b> Granulometría de la Arcilla Expandida.....	58
<b>Tabla N°27:</b> Contenido de humedad de la Arcilla expandida.....	59
<b>Tabla N°28:</b> Resistencia a la compresión promedio .....	60
<b>Tabla N°29:</b> Contenido de aire atrapado .....	60
<b>Tabla N°30:</b> Volumen unitario de agua .....	61
<b>Tabla N°31:</b> Relación agua/cemento por resistencia .....	61
<b>Tabla N°32:</b> Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.....	63
<b>Tabla N°33:</b> Dosificación con 10% de A.E .....	68
<b>Tabla N°34:</b> Dosificación con 15% de A.E .....	68
<b>Tabla N°35:</b> Dosificación con 20% de A.E .....	68
<b>Tabla N°36:</b> Asentamiento.....	70
<b>Tabla N°37:</b> Pesos unitarios del concreto fresco.....	70
<b>Tabla N°38:</b> Temperaturas del concreto .....	71
<b>Tabla N°39:</b> Datos de exposición al fuego del concreto .....	71
<b>Tabla N°40:</b> Resistencia a compresión del concreto en $f'c$ – 10%, 15% y 20% de Arcilla Expandida.....	72
<b>Tabla N°41:</b> Resistencia a compresión del concreto en % – 10%, 15% y 20% de Arcilla Expandida.....	72
<b>Tabla N°42:</b> Resistencia a compresión del Concreto patrón expuesto al fuego .....	73
<b>Tabla N°43:</b> Resultados en porcentajes .....	73
<b>Tabla N°44:</b> Resistencia a compresión del Concreto con 10% A.E expuesto al fuego .....	74
<b>Tabla N°45:</b> Resultados en porcentajes .....	75
<b>Tabla N°46:</b> Resistencia a compresión del Concreto con 15% A.E expuesto al fuego .....	76
<b>Tabla N°47:</b> Resultados en porcentajes .....	76
<b>Tabla N°48:</b> Resistencia a compresión del Concreto con 20% A.E expuesto al fuego .....	77
<b>Tabla N°49:</b> Resultados en porcentajes .....	77

<b>Tabla N°50:</b> Comparación de resultados en % entre Concreto patrón expuesto al fuego – 10%, 15% y 20% A.E expuestos al fuego.....	78
<b>Tabla N°51:</b> Comparación de las propiedades físicas de la Arcilla Expandida (A.E) .....	86
<b>Tabla N°52:</b> Comparación del asentamiento (slump) .....	86
<b>Tabla N°53:</b> Comparación de la Temperatura (C°).....	87
<b>Tabla N°54:</b> Comparación del peso unitario del concreto en estado fresco .....	88
<b>Tabla N°55:</b> Comparación de la resistencia a compresión del concreto f'c – 14 días .....	88
<b>Tabla N°56:</b> Comparación de la resistencia a compresión del concreto f'c – 28 días .....	89
<b>Tabla N°57:</b> Comparación de la resistencia a compresión del concreto expuesto al fuego f'c – 14 días .....	90
<b>Tabla N°58:</b> Comparación de la resistencia a compresión del concreto expuesto al fuego f'c – 28 días .....	91

## Resumen

El propósito principal de este estudio consiste en establecer el porcentaje óptimo de sustitución de la arcilla expandida por el agregado grueso en un concreto de resistencia  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ . Este concreto será sometido a altas temperaturas para posteriormente evaluar su resistencia a compresión y determinar si la presencia de arcilla expandida mejora esta propiedad mecánica. Se llevará a cabo la sustitución de la piedra chancada por arcilla expandida en proporciones del 10%, 15% y 20%. El proceso se empezó con la evaluación de las propiedades de los agregados naturales, con el fin de realizar el diseño de mezcla y luego elaborar las muestras del concreto estándar y del concreto alterado. El ensayo que se realizó tanto a los testigos expuestos y no expuestos al fuego fue la Resistencia a la compresión a los 14 y 28 días de proceso de endurecimiento. Se determinó que conforme el porcentaje de arcilla expandida aumente al ser reemplazado el agregado grueso la reducción en la resistencia a compresión del concreto expuesto a altas temperaturas se atenúa, por lo cual el porcentaje adecuado fue de 20% de arcilla expandida con una reducción de 7.11% al ser quemado 30 min y de 10.46% a los 60 min de exposición al fuego.

**Palabras clave:** Concreto, Arcilla Expandida, Resistencia, Fuego.

### **Abstract**

The main purpose of this study is to establish the optimal percentage of replacement of expanded clay with coarse aggregate in concrete with resistance  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ . This concrete will be subjected to high temperatures to subsequently evaluate its compressive strength and determine if the presence of expanded clay improves this mechanical property. The crushed stone will be replaced with expanded clay in proportions of 10%, 15% and 20%. The process began with the evaluation of the properties of the natural aggregates, to carry out the mix design and then prepare the samples of the standard concrete and the altered concrete. The test that was carried out on both the witnesses exposed and not exposed to fire was the compressive strength after 14 and 28 days of the hardening process. It was determined that as the percentage of expanded clay increases when the coarse aggregate is replaced, the reduction in the compressive strength of the concrete exposed to high temperatures is attenuated, which is why the appropriate percentage was 20% expanded clay with a reduction of 7.11. % when burned for 30 min and 10.46% after 60 min of exposure to fire.

**Keywords:** Concrete, Expanded Clay, Resistance, Fire.

## Introducción

Los incendios en edificios representan situaciones que comprometen tanto la seguridad de las personas que se encuentran en su interior como la integridad del propio inmueble. A nivel mundial, se han implementado regulaciones cada vez más rigurosas con el fin de prevenir y minimizar los daños causados por estos eventos [1]. Se sabe que los incendios son un riesgo frecuente en diversas estructuras, incluyendo edificios, puentes, carreteras y túneles, lo que hace que la evaluación y mejora de la resistencia al fuego de los materiales de construcción sea crucial. El concreto es uno de los materiales más utilizados en la construcción, pero su resistencia al fuego puede verse comprometida por la presencia de ciertos agregados.

Según los datos proporcionados por INDECI, se registraron 1327 incendios durante el año 2012, siendo la región de Lima la más afectada con 202 casos. Los incendios pueden ocurrir en cualquier lugar y debido a diversas circunstancias, por lo que es fundamental conocer el comportamiento de una estructura en términos de resistencia, emisión de gases tóxicos y facilidad de acceso para la ayuda, con el fin de reducir las pérdidas humanas [2].

A nivel global, la población está creciendo rápidamente, y nuestro país no es una excepción, lo que conlleva un aumento rápido en las necesidades humanas en todos los ámbitos. Estas necesidades incluyen la construcción de diversos tipos de infraestructuras como centros comerciales, viviendas, hoteles, gimnasios, cines, hospitales, empresas y escuelas, entre otros. Sin embargo, en el sector de la construcción, nos enfrentamos al problema de que las edificaciones, como viviendas, centros comerciales y empresas, están siendo afectadas cada vez más por incendios, un fenómeno que en su mayoría resulta difícil de controlar y se propaga de manera rápida, causando enormes pérdidas materiales y humanas.

Los incendios pueden ser causados por diversas razones, como fallas eléctricas, fugas de gases o líquidos inflamables, combustibles, velas o cigarrillos mal apagados, e incluso por la imprudencia de niños jugando con fósforos. Por lo tanto, siempre existe el riesgo de que ocurra un incendio, siendo aún mayor en lugares con gran afluencia de personas, como centros comerciales, hospitales y fábricas. Cuando se desata un incendio, su impacto destructivo puede ser devastador tanto para el edificio afectado como para las personas dentro de él, así como para las estructuras circundantes. [30]

Tomando en consideración diversos materiales de construcción como la madera o el plástico, el concreto se caracteriza por su incombustibilidad, lo que implica que no emite sustancias

tóxicas cuando se expone a altas temperaturas. Incluso cuando se somete a temperaturas de aproximadamente 800°C, el concreto mantiene su resistencia durante períodos relativamente largos, lo que reduce el riesgo de colapso. El impacto del fuego en el concreto depende de factores relacionados con las propiedades de la estructura afectada y la intensidad del incendio, que generalmente es prolongado y alcanza altas temperaturas. La porosidad de los agregados utilizados en el concreto desempeña un papel fundamental en su comportamiento ante el fuego. Asimismo, la temperatura, tamaño, permeabilidad y humedad de los agregados también son factores importantes. Los agregados más porosos pueden presentar mayor susceptibilidad a la expansión destructiva [4]

La arcilla expandida es un tipo de agregado ligero e inerte que se produce a nivel industrial y se utiliza como una alternativa tecnológicamente ventajosa a los agregados naturales en la fabricación de concretos estructurales y aislantes para la industria de la construcción. Este material ha sido conocido y utilizado desde tiempos antiguos, pero su producción a gran escala comenzó en la década de 1910. Desde entonces, su uso se ha difundido ampliamente a nivel mundial [5]. Por otra parte, actúa como un agente de aislamiento térmico en el concreto. Su estructura porosa y su baja conductividad térmica ayudan a reducir la transferencia de calor en el material, lo que contribuye a aumentar la resistencia del concreto al fuego. Al retrasar el aumento de temperatura, se proporciona un mayor margen de tiempo antes de que se alcancen niveles críticos de debilitamiento estructural.

En este proyecto se formula como problemática: ¿Cómo afecta la incorporación de arcilla expandida en la resistencia a compresión del concreto expuesto al fuego?

La presente investigación dará conocimiento como el concreto se comporta después de a ver estado expuesto a elevadas temperaturas lo cual es crucial para garantizar seguridad de las estructuras y prevenir el colapso prematuro. Es crucial entender cómo varían las características mecánicas del concreto, como su resistencia a la compresión, cuando se expone al fuego, ya que esto es fundamental para el diseño de edificaciones y estructuras que sean capaces de resistir dichas condiciones.

Es fundamental mejorar la seguridad pública mediante esta investigación de la resistencia del concreto con arcilla expandida frente al fuego, debido a que el uso de esta arcilla en el concreto tiene ventajas ambientales, ya que es un material ligero y aislante térmico. Entender cómo se comporta este tipo de concreto cuando se expone a altas temperaturas permite crear estrategias de prevención y mitigación más eficaces para proteger a las personas durante

incendios en edificaciones y estructuras construidas con este material. Además, al investigar y desarrollar mejores técnicas y materiales de construcción, se puede reducir el riesgo de colapsos prematuros y prevenir lesiones o pérdidas de vidas humanas.

Es importante resaltar que los hallazgos de este estudio se difunden entre la comunidad científica, los expertos en construcción y los encargados de la formulación de políticas. Esto promueve la difusión del conocimiento, la colaboración y la implementación de prácticas óptimas en el campo de la seguridad contra incendios, lo que resulta en beneficios para toda la sociedad en términos de prevención y respuesta eficaz ante este tipo de eventualidades.

Esta investigación tiene como Objetivo general: Determinar el efecto del fuego sobre la resistencia a compresión del concreto con  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  reemplazando parcialmente los agregados gruesos por arcilla expandida en un 10, 15 y 20%, con el fin de evaluar y comprender cómo este material afecta la capacidad del concreto para resistir altas temperaturas durante 30 y 60 min. Objetivos específicos: Elaborar probetas de concreto patrón y concreto reemplazando parcialmente los agregados gruesos con arcilla expandida con porcentajes 10, 15 y 20%, con  $f'c = 210$ . Evaluar la resistencia a compresión del concreto patrón y concreto reemplazando parcialmente con arcilla expandida con porcentajes 10, 15 y 20%, a los 14 y 28 días. Analizar los resultados obtenidos y evaluar el desempeño del concreto con arcilla expandida en términos de su resistencia a compresión después de haber estado expuesto al fuego. Determinar el porcentaje de porosidad de los agregados debido a que influye en la resistencia al concreto expuesto al fuego. Proponer recomendaciones para mejorar la resistencia al fuego de las estructuras de concreto mediante el uso de arcilla expandida.

## Revisión De Literatura

### Antecedentes

Hernández Nelson; en su investigación **“Efecto del fuego sobre la resistencia a compresión de un elemento de concreto de resistencia de diseño de 210 kg/cm<sup>2</sup>”** menciona que en la investigación se encontró que la resistencia a la compresión de un elemento de concreto disminuyó en un 19,98% después de la exposición al fuego, lo que afectó su capacidad portante. Se propuso un método de ensayo estandarizado para medir la resistencia a la compresión de cilindros de concreto después de la exposición al fuego. El concreto pierde sus propiedades y características cuando se somete al fuego, lo que reduce su capacidad resistente y la de la estructura en general. [1]

Baque Brayan et al; en esta investigación **“Estudio exploratorio de arcilla expandida y piedra pómez como agregados en la producción de concretos ligeros”** nos determina que las mezclas de concreto ligero que emplean arcilla expandida y piedra pómez en estado seco muestran propiedades físico-mecánicas mejoradas en comparación con aquellas que usan estos agregados en estado saturado y superficialmente seco. Además, la adición de fibras de polipropileno y humo de sílice aumenta la densidad y resistencia del concreto en un 30%. Este tipo de concreto se visualiza como una opción viable en la construcción de muros divisorios, paneles y bloques, sin embargo, no satisface los estándares necesarios para ser clasificado como concreto ligero estructural. Sin embargo, es posible mejorar sus propiedades mediante la incorporación de aditivos o sustituyendo parcialmente los agregados convencionales. En resumen, se evidencia el potencial del concreto ligero utilizando agregados de arcilla expandida y piedra pómez en el ámbito de la construcción. [6]

Según Ferreira Tinoco et al; en la investigación **“Elaboración y Evaluación de Placas Prefabricadas de Concreto Aligerado Con Arcilla Expandida para Uso Como Coberturas de Estructuras Pecuarias”** nos dicen que se ha determinado que las placas prefabricadas de concreto aligerado con arcilla expandida ofrecen un mayor confort térmico en comparación con las tejas cerámicas y de fibrocemento, tanto en verano como en invierno, según los parámetros evaluados. Sin embargo, únicamente durante el verano los tres materiales mostraron un buen rendimiento en relación con la humedad relativa. A pesar de esto, el uso de LWC puede ser considerado como una alternativa para reducir el calor en estructuras, especialmente en instalaciones pecuarias, donde se

logran resultados óptimos en términos de Índice de Temperatura Global Uniforme y Coeficiente de Transmisión de Radiación. Es necesario llevar a cabo más investigaciones para obtener una mejor comprensión de la relación costo-beneficio y poder alcanzar una producción a escala industrial en la fabricación de estas tejas. [7]

W Y Lee et al; en la investigación **“Forensic engineering of fire damaged concrete structures– a review”** nos explican que llevar a cabo una ingeniería contra incendios basada en el desempeño implica enfrentar un importante desafío, ya que implica tener un sólido conocimiento del proceso de diseño, los materiales de construcción, los escenarios de incendio que pueden afectar al edificio, así como la evaluación y las obras de rehabilitación más apropiadas que se deben adoptar. Como resultado del estudio, se obtiene la siguiente conclusión: “Cuanto menor sea la conductividad térmica del hormigón, mayor será la resistencia al aumento de temperatura cuando se expone al fuego”. [8]

P.Piloto et al; nos dicen en su investigación **“Temperature assessment on fire resistance experiments of partially encased beams”** que la resistencia al fuego se vio afectada por el nivel de carga. Se observó una disminución en la resistencia al fuego de 25 a 21 y 18 minutos a medida que la carga aumentaba del 40% al 60% y 80%, respectivamente. Estos resultados concuerdan con lo establecido en el Eurocódigo 4 parte 1-2. No se encontró evidencia de un efecto de unión por cizallamiento. En la serie de pruebas 3, se observó un mayor desplazamiento hacia el exterior del concreto, lo cual resultó en una temperatura más alta en la sección transversal, pero la resistencia al fuego determinada fue la misma que en la serie 2. Las diferencias de temperatura a lo largo de cada elemento fueron inferiores al 10% con respecto a la temperatura crítica promedio del elemento. La temperatura del refuerzo fue la más baja en todas las secciones. Se registraron dos evoluciones de temperatura diferentes en los experimentos, lo que indica que la temperatura no era uniforme. La distribución de temperatura a lo largo de cada elemento expuesto al fuego se mantuvo casi constante, lo que demuestra la uniformidad del calentamiento y el aislamiento en los soportes. [9]

Muhaned A. Shallal, Aqil Mousa K. Al Musawi nos confirman en su investigación **“Tests of residual shear transfer strength of concrete exposed to fire”** mediante este

estudio la importancia de utilizar hormigón de alto rendimiento en lugar de aumentar el número de patas de los estribos para resistir el esfuerzo cortante. Se encontró que el hormigón de alto rendimiento (Grupo B) mostró una mejor resistencia de transferencia de corte residual en comparación con el hormigón normal (Grupo A), manteniendo constantes otras condiciones como el número de patas de los estribos y la duración del fuego. Desde una perspectiva de ingeniería, aumentar el refuerzo de acero puede incrementar el riesgo de una falla súbita cuando las barras de acero alcanzan su punto de fluencia debido a las altas temperaturas. Luego de tres horas expuesto al fuego, el Grupo A, con una resistencia residual de 28 MPa, experimentó una pérdida de aproximadamente el 50%, 42% y 28% de su resistencia al corte y resistencia de transferencia para las muestras de hormigón simple con dos patas de estribo y cuatro patas de estribo, respectivamente. Por otro lado, el hormigón con una resistencia a la compresión de 44 MPa (Grupo B) perdió alrededor del 53%, 45% y 39% de su resistencia de transferencia al corte para las muestras de hormigón simple con dos patas de estribo y cuatro patas de estribo, respectivamente. Por lo tanto, el tiempo de exposición al fuego tuvo un efecto mayor en el Grupo B que en el Grupo A. A pesar de estos hallazgos, aún existen muchas preguntas sin respuesta en relación con las propiedades térmicas del hormigón, la mayoría de las cuales dependen de los componentes del agregado de la mezcla, como sus propiedades físicas y dimensiones [10]

G.Shyamala et al; en la investigación : **“Thermal behavior of Concrete subjected to elevated temperature: Case Studies”** nos muestran que en los siguientes descubrimientos se obtuvieron de investigaciones experimentales realizadas en concreto expuesto a altas temperaturas sostenidas utilizando diferentes formas de agregados. A medida que tanto la temperatura como el tiempo de exposición aumentan, se observa una disminución en la resistencia residual a la compresión del concreto simple. En edificios que estarían expuestos a altas temperaturas durante períodos prolongados, se recomienda evitar el uso de concreto con agregados de alta resistencia. Cuando la temperatura supera los 500 °C, todos los tipos de hormigón experimentan un rápido deterioro debido a la eliminación de agua de la cristalización y la conversión del cuarzo, lo que provoca una expansión repentina del material. La temperatura elevada provoca cambios significativos en el concreto, afectando propiedades estructurales como la resistencia a la compresión, a la tracción y a la flexión, entre otras. Estas conclusiones

se basan en una revisión exhaustiva de la literatura relacionada con las curvas de tiempo-temperatura, teniendo en cuenta diversos factores como la relación agua/cemento, la forma de los agregados, la edad de la muestra, la intensidad y duración del calentamiento, la carga aplicada durante la exposición a la temperatura y el enfriamiento posterior. La resistencia del concreto a altas temperaturas se ve influenciada por la composición de la mezcla de cemento y el contenido de humedad.[11]

Nikolay Ilyin et al; en su artículo “**Pipe-concrete columns of buildings and their fire-resistance determinativo**” nos afirman que es aconsejable emplear columnas de hormigón armado en la construcción contemporánea, especialmente en proyectos que implican la edificación de estructuras singulares y de gran envergadura que requieren altos niveles de seguridad. Al utilizar este tipo de construcciones, resulta fundamental tener conocimiento acerca de su resistencia real al fuego. Donde al final concluyen que la determinación cuantitativa de la resistencia al fuego de diseño de una columna de tubería de hormigón se explica a través de una ecuación analítica con siete variables, de la cual se deriva una fórmula de cálculo. El uso de métodos analíticos para evaluar la resistencia al fuego de la tubería-columna de hormigón reduce significativamente el tiempo necesario para realizar los cálculos termo técnicos y de termo estabilidad. Al emplear una descripción matemática simplificada de la resistencia de la columna de concreto de tubería frente al fuego estándar, se mejora la precisión del diseño en términos de resistencia al fuego. Esto puede ampliar la aplicación práctica de estas estructuras. [12]

### **Bases teóricas**

#### **- Concreto**

El concreto es un material muy empleado que se compone de una mezcla de cemento Portland, áridos finos y gruesos, aire y agua en proporciones adecuadas para alcanzar propiedades específicas, principalmente resistencia. La combinación de cemento y agua desencadena una reacción química que facilita la unión de las partículas agregadas. En algunos casos, se incorporan materiales adicionales con el fin de mejorar las propiedades del concreto. [13]

#### **- Concreto Simple**

Se trata de una mezcla que incluye cemento Portland, áridos finos, áridos gruesos y agua. Este tipo de concreto no contiene elementos de refuerzo y no se utiliza en elementos sujetos

a fuerzas de tracción o cortante. En su lugar, se utiliza principalmente para elementos estructurales que están apoyados en el suelo o que cuentan con el respaldo de otros elementos estructurales que proporcionan un soporte vertical continuo [13].

#### - **Cemento Portland**

Según la NTP 334.009, el cemento Portland es una variedad de cemento hidráulico producido mediante la molienda del clínker, un compuesto principalmente por silicato de calcio hidráulico. Durante el proceso de molienda, suele añadirse uno o más tipos de sulfato de calcio al cemento Portland.

#### ***Cemento Pórtland = Clínter Pórtland + Yeso***

El cemento Portland es un polvo fino de tonalidad verde claro que, al ser combinado con agua, se convierte en una masa moldeable y plástica denominada pasta de cemento. Tras el proceso de fraguado y endurecimiento, esta pasta desarrolla una resistencia y durabilidad notables. [14]

#### Tipos de cemento Portland:

- Cemento Tipo I: Generalmente utilizado en proyectos de construcción de concreto y en trabajos de albañilería que no requieren especificaciones particulares.
- Cemento tipo II: Se recomienda el uso de este material en ambientes adversos, dado que brinda una resistencia moderada ante la acción de los sulfatos. Estos compuestos, presentes en aguas subterráneas o en el suelo, pueden deteriorar el concreto al entrar en contacto con él.
- Cemento Tipo III: Es de rápido endurecimiento y se aconseja su empleo cuando se busca acelerar el proceso de desencofrado. Durante el fraguado, genera una elevada liberación de calor, lo que lo hace adecuado para su aplicación en condiciones de clima frío.
- Cemento Tipo IV: Durante el proceso de fraguado, emite una cantidad reducida de calor, lo que lo hace recomendable para vertidos de grandes volúmenes de concreto, como en el caso de presas de concreto. En contraste, el Cemento Tipo V muestra una resistencia excepcional a la corrosión inducida por sales, siendo la opción idónea para aplicaciones donde el concreto estará expuesto al agua o a ambientes con alto contenido salino. Cabe resaltar que los cementos Tipo III y IV no se fabrican en Perú. [14]

No obstante, en el marco de este estudio se empleará el Cemento Portland Tipo I. La elección se basa en la norma NTP 334.009, que establece que el cemento Tipo I es adecuado para aplicaciones generales que no demandan propiedades particulares. Por otro lado, se descartan los cementos Portland Tipo II y V, que se recomiendan en casos donde exista presencia de sulfatos.

#### - Agregado Fino

La Norma Técnica Peruana (NTP) 400.011 define al agregado grueso como una mezcla de rocas o piedras que han sido desintegradas de forma natural o artificial. Este material ha sido sometido a un tamiz estándar de 9,5 mm (3/8 pulgadas) y cumple con los requisitos especificados en la normativa NTP 400.037.

Si el objetivo es determinar el módulo de fineza de un agregado fino utilizando la información proporcionada sobre los porcentajes retenidos y acumulados retenidos del mismo [13]:

**Tabla N°01:** Módulo de fineza del agregado fino

TAMIZ	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE ACUMULADO
1 1/2"	0	0
3/4"	0	0
3/8"	0	0
Nº 4	2	2
Nº 8	13	15
Nº 16	15	30
Nº 30	30	60
Nº 50	25	85
Nº 100	13	98
		Suma = 290

$$\text{Módulo de Fineza} = 290 / 100 = 2.9$$

*Fuente: Rivvas López, Enrique "Naturaleza y materiales del concreto"*

Para evaluar estos materiales, se realizan una serie de pruebas, que incluyen:

#### **Granulometría del Agregado Fino:**

El objetivo de este análisis es cuantificar los tamaños de las partículas de los agregados gruesos y finos en un estado seco, utilizando el método de tamizado. Se utilizaron herramientas y se siguió el procedimiento especificado en la norma NTP 400.012, el cual se describe a continuación:[15]

- Instrumentos
  - Tamices
  - Brocha
  - Cucharón

- Balanza
- Horno
- Recipientes

- Procedimiento

Inicialmente, se efectúa una división del agregado con el fin de seleccionar el cuarto más uniforme y homogéneo. Esta muestra debe tener un peso mínimo de 300 gramos para llevar a cabo el ensayo. Después, la muestra se introduce en un horno y se deja durante un período de 24 horas. Después de esto, se lava a través del tamiz N°200 y cualquier material restante se vuelve a colocar en el horno durante otras 24 horas. Posteriormente, se retira del horno y se somete a tamizado para determinar los pesos retenidos.

### **Contenido de Humedad:**

El propósito de esta prueba es calcular la cantidad de humedad presente en el agregado. Se utilizaron los equipos y el método descrito en la norma NTP 339.185. Los pasos a seguir son los siguientes: [16]

- Instrumentos
  - Cucharón
  - Balanza
  - Horno
  - Recipientes

- Procedimiento

El procedimiento comienza con una subdivisión del agregado para seleccionar el cuarto más uniforme, luego se procede a pesar esta cantidad, la cual dependerá de tu Tamaño Máximo Nominal (TMN). Posteriormente, se introduce en un horno a 110°C por un periodo de 24 horas. Al día siguiente, se retira la muestra y se permite que se enfríe antes de ser pesada nuevamente.

### **Peso Unitario Suelto y Compactado**

El objetivo de esta prueba es establecer la capacidad de compactación del agregado. Se emplearon los equipos y el procedimiento descritos en la norma NTP 400.017. Los pasos a seguir son los siguientes: [17]

- Instrumentos

- Moldes de 15cm de diámetro y 30 cm de altura
- Varilla lisa o Cucharon
- Balanza
- Martillo de goma
- Procedimiento

En primer lugar, se deja secar la muestra durante un período de 24 horas. Luego, se lleva a cabo una subdivisión para seleccionar 21.206 kg de muestra, lo cual representa el 200% de la capacidad del molde, conforme a lo indicado por la norma. Posteriormente, se procede a pesar el molde y, una vez obtenido el peso, se agrega el agregado al interior del molde, retirando el exceso con una regla lisa. Finalmente, se pesa la muestra junto con el molde. Para lograr una compactación adecuada, se realiza en tres capas, con cada una siendo compactada con una varilla golpeada 25 veces con un martillo de goma.

### **Peso Específico y Grado de Absorción**

El objetivo de esta prueba es calcular la capacidad de absorción de agua y la densidad de un agregado. Se utilizaron los equipos y el método descrito en la norma NTP 400.022. Los pasos a seguir son los siguientes: [18]

- Instrumentos o Horno
  - Recipientes
  - Cucharón
  - Balanza
  - Fiolas 28
  - Cono o Pisón
- Procedimiento

El procedimiento comienza dejando que la muestra se seque durante un período de 24 horas. Luego se procede a realizar una subdivisión para seleccionar una cierta cantidad de la muestra cuarteada que será saturada durante 24 horas. Después de este tiempo, se elimina el agua y se deja secar durante 2 horas, obteniendo así la muestra saturada superficialmente seca (SSS). Para determinar la condición de SSS, se utiliza el cono, se colocan tres capas y se utilizan 10 golpes por capa, excepto en la última donde se aplican 5 golpes. Si la altura resultante es mayor al 75% de la altura del cono, se considera que se ha obtenido la condición SSS. A continuación, se toman 500 gramos de la

muestra SSS seleccionada para realizar el ensayo de peso específico. Se procede a pesar las probetas y a colocar la muestra en ellas, seguidamente se añade agua hasta alcanzar la marca indicada en las probetas. Después de agitar para eliminar las burbujas, se deja reposar durante un período de 24 horas. Luego, se vierte en un recipiente y se elimina el exceso de agua utilizando un succionador. Posteriormente, la muestra se coloca en un horno durante 24 horas. Finalmente, se retira la muestra del horno y se procede a pesarla.

### - Agregado Grueso

La NTP 400.011 define el agregado grueso como aquel que queda retenido en el tamiz normalizado de 4,75 mm (Nº 4) y que cumple con los límites establecidos en la norma NTP 400.037. Este tipo de agregado se obtiene mediante la desintegración natural o artificial de la roca. Para calcular el módulo de fineza de un agregado grueso, se utilizan los datos disponibles sobre los porcentajes retenidos y acumulados retenidos del mismo [13]:

**Tabla N°02:** Módulo de fineza del agregado grueso

TAMIZ	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE ACUMULADO
1 1/2"	0	0
3/4"	50	50
3/8"	30	80
Nº 4	20	100
Nº 8	0	100
Nº 16	0	100
Nº 30	0	100
Nº 50	0	100
Nº 100	0	100
		Suma = 730
Módulo de Fineza = 730 / 100 = 7.3		

*Fuente: Rivvas López, Enrique "Naturaleza y materiales del concreto"*

Es fundamental que este agregado se ajuste a los estándares establecidos en la Norma NTP 400.037 o en las especificaciones de la ASTM C33. [13]

### **Granulometría del Agregado Grueso**

El propósito de esta prueba es cuantificar los tamaños de las partículas de los agregados gruesos y finos en un estado seco, utilizando el método de tamizado. Los equipos y el procedimiento para realizar esta prueba cumplen con lo establecido en la norma NTP 400.012 y son los siguientes:[15]

- Instrumentos
  - Tamices
  - Rastrillo
  - Cucharón
  - Balanza
  - Horno
  - Recipientes
- Procedimiento

El procedimiento inicia con la subdivisión del agregado para seleccionar el cuarto más uniforme. Luego, se pesa la cantidad determinada por el Tamaño Máximo Nominal (TMN). Esta muestra es colocada en un horno a 110°C durante 24 horas. Al día siguiente, se retira, se deja enfriar y se vuelve a pesar. Posteriormente, se pasa a través de los tamices, registrando los pesos retenidos en cada uno de ellos.

### **Contenido de Humedad**

El objetivo de este análisis es calcular la cantidad de humedad presente en un agregado. Los equipos y los procedimientos empleados para realizar esta prueba se rigen por lo establecido en la norma NTP 339.185 y son los siguientes:[16]

- Instrumentos
  - Cucharon
  - Balanza
  - Horno
  - Recipientes
- Procedimiento

El procedimiento comienza con una subdivisión del agregado para seleccionar el cuarto más uniforme. Luego, se pesa la cantidad determinada por el Tamaño Máximo Nominal (TMN). Esta muestra se coloca en un horno a 110°C durante 24 horas. Al día siguiente, se retira, se deja enfriar y luego se pesa nuevamente.

### **Peso Unitario Suelto y Compactado**

El objetivo de esta prueba es establecer la capacidad de compactación del agregado. Los equipos y el procedimiento utilizados para realizar este ensayo se rigen por lo establecido en la norma NTP 400.017 y son los siguientes:[17]

- Instrumentos
  - Molde de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura
  - Varilla lisa
  - Cucharón
  - Balanza
  - Martillo de Goma

- Procedimiento

Primero, se deja que la muestra se seque durante 24 horas. Luego, se lleva a cabo una subdivisión para seleccionar 21.206 kg de muestra, lo cual representa el 200% de la capacidad del molde según lo indica la norma. Posteriormente, se pesa el molde y una vez obtenido el peso, se agrega el agregado al interior del molde y se retira el exceso utilizando una regla lisa. Al finalizar, se pesa la muestra junto con el molde. Para obtener los pesos unitarios compactados, se lleva a cabo el proceso en tres capas, compactando cada una con una varilla golpeada 25 veces, aplicando 15 golpes con un martillo de goma.

### **Peso Específico y Grado de Absorción**

El propósito de esta prueba es calcular la cantidad de agua que puede absorber un agregado, junto con su densidad. Los equipos y el procedimiento utilizados para realizar este ensayo están regidos por lo establecido en la norma NTP 400.021 y son los siguientes:[19]

- Instrumentos
  - Horno
  - Cucharón
  - Canastilla
  - Balanza
  - Recipientes

- Procedimiento

El procedimiento inicia con una subdivisión y el peso mínimo del material dependerá del Tamaño Máximo Nominal (TMN). Luego, se procede a lavar el material y se coloca en un recipiente para saturarlo durante 24 horas. Después, se deja reposar el agua y se procede a obtener la muestra saturada superficialmente seca (SSS). Esta se seca utilizando una franela y luego se pesa. Seguidamente, se pesa tanto la canastilla sumergida como la no sumergida. Luego, se coloca el material en la canastilla y se pesa junto con esta mientras está sumergida. Finalmente, se retira el agregado y se coloca en el horno durante 24 horas para luego ser pesado y obtener el Peso Seco de la Muestra.

#### - **Agua**

Las aguas que son seguras para el consumo humano y no tienen sabores u olores desagradables son adecuadas para utilizar en la preparación de concreto. Aunque, hay situaciones en las que se pueden emplear aguas no potables siempre y cuando cumplan con ciertos criterios. En Perú, es común emplear aguas no potables, especialmente en proyectos ubicados en zonas rurales o en las periferias de las ciudades. [14]

#### - **Arcilla Expandida**

Este material aislante, obtenido a partir de una expansión en un horno rotatorio a 1200 °C, es un producto natural que se distingue por ser liviano, no combustible, resistente al fuego y permanente en el tiempo. Su composición interna consiste en una espuma cerámica con microporos. Tiene una densidad reducida y una alta resistencia superficial, lo que le confiere rigidez. Además, no acumula sales, lo que resulta en una conductividad eléctrica baja y un pH neutro [20].

#### - **Ventajas de la Arcilla Expandida**

Se encuentran [21]:

**Ligera, aislante y resistente:** La porosidad interna de este material le otorga una característica de ligereza, con una densidad a partir de 320 kg/m<sup>3</sup>. Además, posee propiedades termoaislantes destacables, con un coeficiente de conductividad térmica, y también es fonoabsorbente. La estructura rígida y clinkerizada que envuelve a los granos proporciona una gran rigidez y resistencia a la compresión.

**Incombustible y resistente al fuego:** Este material es completamente mineral y se caracteriza por ser incombustible, cumpliendo con la clasificación Euroclase A1. Además

de su resistencia al fuego, su uso es ampliamente utilizado incluso como material refractario.

**Sumamente estable y duradera:** Este material no se descompone, no se ve afectado por la acción de parásitos como hongos, roedores e insectos, y presenta una alta resistencia a ácidos, bases, disolventes y ciclos de hielo/deshielo. Además, es estable en términos dimensionales, no sufre deformaciones y mantiene sus propiedades sin cambios a lo largo del tiempo, siendo prácticamente indestructible.

**Natural e ideal para la bioconstrucción:** La utilización de materias primas naturales, junto con un proceso de producción ambientalmente amigable, y la ausencia total de emisiones nocivas, incluso en situaciones de incendio.

**Versátil:** Es utilizado extensamente en el sector de la construcción, tanto en aplicaciones en seco como con el uso de conglomerantes como el cemento, la cal y las resinas. Es común su uso en la fabricación de hormigón, bloques y elementos prefabricados. Además, se utiliza en aplicaciones agrícolas y horticultura, así como en obras geotécnicas e infraestructuras.

#### - **Propiedades de la Arcilla Expandida**

Se encuentran [22]:

**Ligereza:** La propiedad esencial de las arcillas expandidas ligeras es su capacidad de expansión, alcanzando hasta 5 veces su volumen inicial. Esto implica que su densidad se reduce 5 veces en comparación con la arcilla natural. Por ejemplo, si la arcilla natural tiene una densidad de 1500 kg/m<sup>3</sup>, la arcilla expandida más liviana tendría una densidad de 300 kg/m<sup>3</sup>.

**Aislamiento Térmico:** El aire en reposo se reconoce como uno de los aislantes más eficientes conocidos. La arcilla expandida, gracias a su estructura reticular fina, forma numerosas pequeñas cámaras llenas de aire, lo que le otorga su característica distintiva de aislamiento.

**Aislante Acústico:** La arcilla expandida presenta un rendimiento sobresaliente como material aislante acústico, especialmente en lo que concierne al ruido de impacto transmitido a través de vibraciones de baja frecuencia. La estructura porosa del mortero de

arcilla expandida funciona como un amortiguador de vibraciones, lo que permite disipar la energía acústica de manera efectiva.

**Resistencia al fuego:** La arcilla expandida se identifica como una cerámica con características refractarias. Su punto de fusión excede los 1200°C, y al no contener materia orgánica en su estructura, no emite gases nocivos cuando se expone a altas temperaturas. Para esta investigación es muy importante esta propiedad debido a que la arcilla expandida permitirá al concreto tener una mejor resistencia a la compresión luego de haber estado expuesto a elevadas temperaturas.

**Durabilidad:** La arcilla expandida es un material químicamente inerte, lo que les proporciona estabilidad frente a reacciones químicas y una alta resistencia a las heladas. Es un material 100% natural y reciclable, y su durabilidad está garantizada.

#### - **Aplicaciones de la Arcilla Expandida**

Se encuentran [22]:

**Construcción Prefabricados:** Una de las aplicaciones más significativas de las arcillas expandidas es su uso en la fabricación de bloques prefabricados livianos. Estos bloques ofrecen numerosas ventajas, como una reducción de aproximadamente el 35% en los tiempos de construcción, así como propiedades excepcionales de aislamiento térmico y acústico.

**Aplicaciones Geotécnicas:** Las arcillas expandidas ofrecen una opción rentable para el relleno de suelos en aplicaciones geotécnicas. Su peso reducido, que es un 50% menor que el de los rellenos tradicionales, las convierte en una alternativa asequible. Además, las arcillas expandidas ayudan a reducir las presiones laterales, lo que permite la edificación de muros de retención más rentables.

**Construcción Obras Civiles:** El empleo de arcilla expandida como material de relleno en el concreto estructural resulta en una disminución de aproximadamente el 30% en el peso total de la estructura sin afectar su resistencia. Esto permite calcular secciones estructurales de menor tamaño en comparación con el uso de áridos pesados, lo que resulta en ahorro de materiales y costos de cimentación más bajos. Además, el mayor volumen de carga por camión con arcillas expandidas se traduce en ahorros significativos en los fletes. Estas

arcillas son fáciles de transportar en la obra, tanto el agregado como los hormigones frescos, lo que también contribuye a ahorrar tiempo y mano de obra. En resumen, el uso de arcillas expandidas en el concreto estructural supone un ahorro significativo en el costo final de la obra.

### **Propiedades del concreto en estado fresco**

#### **- Trabajabilidad del Concreto**

La plasticidad del concreto en su estado fresco hace referencia a su habilidad para ser transportado, colocado y compactado correctamente sin que se segregue. Esta característica es fundamental ya que determina la facilidad con la que se puede manipular y terminar el concreto. [23]

El procedimiento de este ensayo se basó en la norma NTP 339.035 y tiene como objetivo establecer los pasos necesarios para llevar a cabo una adecuada medición del asentamiento o slump. Esta evaluación resulta fundamental para la formulación y análisis de un diseño de mezcla de concreto.

Para realizar este ensayo se requiere el uso de un cono en el cual se verterá el concreto fresco en tres partes. Después de cada verter, se realizará una acción de varillado para prevenir la creación de vacíos en la mezcla. Después de realizar la compactación con la varilla, se retirará el cono y se medirá la discrepancia de altura entre la pila de material y el cono de Abrams. Esta medición servirá para comparar y ajustar la dosificación hasta lograr el nivel de asentamiento requerido por el diseño de mezcla, justo antes de verter el concreto en los moldes de los elementos. [24]

#### **- Temperatura**

La evaluación de esta característica se realizó siguiendo las pautas establecidas en la normativa NTP 339.184. Este estándar se utiliza para determinar la temperatura de las mezclas de concreto en su estado fresco. Para llevar a cabo este procedimiento, se emplea un recipiente donde se deposita el concreto recién preparado, junto con un dispositivo de medición de temperatura debidamente calibrado para garantizar una lectura precisa. El dispositivo debe permanecer sumergido en el concreto durante al menos dos minutos, hasta que la temperatura se estabilice, momento en el cual se registra el valor correspondiente. [25]

### - **Peso Unitario**

Este procedimiento de ensayo se centra en la determinación del peso unitario del concreto recién mezclado. Se llevó a cabo conforme a la norma NTP 339.046, la cual detalla los pasos y herramientas necesarias. Para realizar este ensayo, se requiere una balanza, una varilla lisa, un molde cilíndrico, un enlazador y un martillo de goma.

El proceso comienza con la pesada inicial del molde cilíndrico. Posteriormente, se llena el molde con el concreto en tres capas, compactando cada una mediante 25 golpes con una varilla y de 10 a 15 golpes con un martillo de goma para eliminar cualquier espacio vacío. Una vez que se completa la compactación, se vuelve a pesar el molde con la muestra y se registra el nuevo peso obtenido.[26]

### **Propiedades del concreto en estado endurecido**

#### - **Resistencia a la compresión**

Se refiere al límite máximo de presión que un cilindro de concreto puede resistir, y esto determinará cómo se comporta la muestra al fracturarse en un equipo de pruebas de compresión. Es en este proceso que se calcula de manera precisa la resistencia que presenta el concreto ante fuerzas compresivas. [27]

Este método consiste en aplicar una carga de compresión axial a los cilindros moldeados a una velocidad específica hasta que se produzca la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se calcula dividiendo la carga máxima registrada durante el ensayo por el área de la sección transversal del espécimen. Este procedimiento se realizó siguiendo las directrices establecidas en la norma NTP 339.034.[28]

## Materiales y Métodos

### - Tipo y Nivel de Investigación

En cuanto al enfoque de este estudio, se ha adoptado un enfoque cuantitativo, lo que implica que se recopilarán datos numéricos y se realizarán análisis estadísticos para respaldar las conclusiones. Además, este tipo de investigación se caracteriza por su enfoque experimental, ya que implica la realización de pruebas y experimentos para recopilar datos y obtener resultados.

### - Población y muestra

Dado que el objeto de estudio no está presente físicamente, no se trata de una muestra probabilística, ya que no hay una población de la cual extraer una muestra de manera aleatoria, sino que depende de las dosificaciones y de la interrelación de las variables que se van a medir donde saldrán las 96 probetas de concreto con variaciones en los porcentajes de arcilla expandida, temperatura y tiempo de exposición, estas dos últimas variables se obtienen mediante una curva referencial sobre las temperaturas que llegan a alcanzar los materiales de construcción expuestos al fuego las cuales están normadas por la ASTM E119 [29].

**Tabla N°03:** Muestra para ensayo de resistencia a la compresión

f'c = 210 kg/cm2					
Ensayos	Probetas	Tiempo de rotura de probetas/ # de probetas		Parcial	Total
		14 días	28 días		
Resistencia a la compresión	Concreto simple patrón ( sin arcilla expandida)	6	6	12	48
	Concreto simple patrón (10% arcilla expandida)	6	6	12	
	Concreto simple patrón (15% arcilla expandida)	6	6	12	
	Concreto simple patrón (20% arcilla expandida)	6	6	12	

*Fuente: Propia*

**Tabla N°04:** Muestra para ensayo de resistencia a la compresión

f'c = 210 kg/cm2							
Ensayos	Probetas	Tiempo de rotura de probetas, tiempo de exposición al fuego/ # de probetas				Parcial	Total
		14 días		28 días			
		30 min	60 min	30 min	60 min		
Resistencia a la compresión	Concreto simple patrón ( sin arcilla expandida)	3	3	3	3	12	48
	Concreto simple patrón (10% arcilla expandida)	3	3	3	3	12	
	Concreto simple patrón (15% arcilla expandida)	3	3	3	3	12	
	Concreto simple patrón (20% arcilla expandida)	3	3	3	3	12	

Fuente: Propia

**Operacionalización de variables****Tabla N°05:** Variables y Operacionalización

Variable	Indicador	Dimensiones	Unid. De Medida	Rango de Variabilidad	Método de medición (instrumento, ensayo, NTP)	
<b>Var. Independiente (Y)</b>						
La incorporación de arcilla expandida	Cantidad de arcilla expandida	-	% en peso, % en volumen	10%, 15% y 20%	Balanza	
<b>Var. Dependiente (X)</b>						
Resistencia a compresión del concreto expuesto al fuego	Resistencia a la compresión	-	kg/cm2	-	NTP 339.034	
<b>Var. Intervinientes</b>						
Concreto	Estado fresco	Trabajabilidad	kg/cm2	-	NTP 339.035	
		Peso Unitario	kg/m3	-	NTP 339.046	
		Temperatura	°C	-	NTP 339.184	
	Estado endurecido	Ensayo de resistencia a la compresion	kg/cm2	-	NTP 339.034	
		Exposición al fuego	Temperatura de exposicion al fuego	°C	800-950	ACI 216.1-07/ ASTM E 119
			Tiempo de exposición al fuego	min.	30 y 60	ACI 216.1-07/ ASTM E 119
Agregados Naturales	Agregado fino	Granulometría	%	-	NTP 400.012	
		Contenido de humedad	%	-	NTP 339.185	
		Peso unitario suelto	kg/m3	-	NTP 400.017	
		Peso unitario compactado	kg/m3	-	NTP 400.017	
		Peso específico	g/cm3	-	NTP 400.022	
	Agregado Grueso	Grado de Absorción	%	-	NTP 400.022	
		Granulometría	%	-	NTP 400.012	
		Contenido de humedad	%	-	NTP 339.185	
		Peso unitario suelto	kg/m3	-	NTP 400.017	
		Peso unitario compactado	kg/m3	-	NTP 400.017	
		Peso específico	g/cm3	-	NTP 400.021	
	Grado de Absorción	%	-	NTP 400.021		

Fuente: Propia

### - **Técnicas de Investigación**

En esta investigación, se empleará la observación como método para recabar información. Este enfoque implica registrar de manera sistemática y confiable las conductas o condiciones observadas en el entorno de estudio. Al utilizar la observación como técnica en este estudio, se busca obtener una comprensión más profunda de los comportamientos investigados, permitiendo generar datos concretos que respalden las conclusiones y contribuyan al conocimiento en el área de estudio. La herramienta utilizada para recopilar información en esta técnica se denomina ficha de monitoreo. Este formulario se utilizará específicamente para documentar los datos recopilados en el laboratorio relacionados con el concreto estándar y el concreto que contiene arcilla expandida, en diversas proporciones y en diferentes estados de fraguado.

### - **Métodos**

#### **Ensayos al agregado fino**

Se llevaron a cabo pruebas de granulometría, contenido de humedad, peso unitario suelto y compactado, así como peso específico y absorción, con el fin de verificar las características del agregado fino, que en este caso corresponde a la arena amarilla extraída de la cantera de Pátapo.

#### **Ensayo de granulometría:**

El propósito de este análisis es obtener de manera cuantitativa las medidas de las partículas de los agregados gruesos y finos de un material desecado, empleando tamices para su separación. Se llevó a cabo conforme a la norma NTP 400.012 [15], que establece un peso mínimo de muestra de 300 g, a pesar de que en este estudio se empleó una muestra que pesaba 585 gramos, seleccionada durante el proceso de cuarteo. A continuación, se incluyen algunas imágenes que ilustran diferentes etapas de este análisis realizado en el laboratorio.



**Figura N°01:** Tamices utilizados en el ensayo.



**Figura N°02:** Muestra seca utilizada en el



**Figura N°03:** Muestra seca retenida en cada

- Recolección de datos

**Tabla N°06:** Recolección de datos de la granulometría del agregado fino

Malla		Peso Ret.	(% Ret.	(% Acum. Ret.	(% Acum. Que Pasa	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)						
1/2"	12.700						
3/8"	9.500						
Nº 04	4.750						
Nº 08	2.360						
Nº 16	1.180						
Nº 30	0.600						
Nº 50	0.300						
Nº 100	0.150						
Fondo							

*Fuente: Propia*

### Contenido de Humedad:

El propósito de este análisis es determinar el contenido de agua presente en un agregado. Se siguió la guía proporcionada por la Norma NTP 339.185 [16], que sugiere comenzar con el proceso de cuarteo y elegir la muestra mejor graduada. En este caso, la muestra seleccionada tenía un peso de 2000.05g. A continuación, se muestran algunas imágenes del desarrollo de este análisis.



**Figura N°04:** Peso de la muestra



**Figura N°05:** Peso de la muestra

- Recolección de datos

**Tabla N°07:** Recolección de datos del contenido de humedad del agregado fino

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	
C.- Peso de recipiente	(gr.)	
D.- Contenido de humedad	(%)	
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	

*Fuente: Propia*

### Ensayos de Pesos unitarios sueltos y compactados:

El propósito de esta prueba es establecer la aptitud de compactación del agregado. Este proceso se llevó a cabo conforme la norma NTP 400.017 [17], que especifica que la muestra debe ser el doble de la capacidad del molde, lo que resultó en la utilización de 22.000 kg de material. Es importante destacar que este ensayo debe repetirse hasta que los pesos unitarios sueltos y compactados muestren una diferencia mínima en su peso, permitiendo así calcular un promedio entre ellos. A continuación, se enumeran los pesos empleados en este estudio.



**Figura N°06:** Peso unitario suelto húmedo 1 del agregado fino.



**Figura N°07:** Peso unitario suelto húmedo 2 del agregado fino.



**Figura N°08:** Peso unitario compactado húmedo 1 del agregado fino.



**Figura N°09:** Peso unitario compactado húmedo 1 del agregado fino.

- Recolección de datos

**Tabla N°08:** Recolección de datos del peso unitario suelto y compactado del agregado fino

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)		
2.- Peso del recipiente	(gr.)		
3.- Peso del material			
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )		
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )		
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )		

## 2.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)		
2.- Peso del recipiente	(gr.)		
3.- Peso del material			
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )		
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )		
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )		

*Fuente: Propia*

### Ensayo de Absorción y Peso Específico:

El objetivo de este ensayo es determinar la capacidad de absorción de agua y la densidad del agregado. Es relevante mencionar que el procedimiento de este ensayo se fundamentó en la norma NTP 400.022 [18], la cual detalla la forma de llevar a cabo esta evaluación. Para este estudio, se dispusieron 1000g de arena, los cuales se distribuyeron en dos fiolas. A continuación, se muestran las figuras más ilustrativas del proceso de esta prueba.



**Figura N°10:** Fiola con la muestra.



**Figura N°11:** Peso de la muestra SSS.



**Figura N°12:** Muestra seca.



**Figura N°13:** Muestra saturada en el horno.

- Recolección de datos

**Tabla N°09:** Recolección de datos del peso específico y grado de absorción del agregado fino

#### **I.- Datos.**

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso del Agua	(g)	
2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	
3.- Peso del Agua	(g)	
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	
5.- Peso del Frasco	(g)	
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	
7.- Volumen del frasco	(g)	

*Fuente: Propia*

## Ensayos al agregado grueso

### Ensayo de granulometría:

El fin de esta prueba es calcular de manera cuantitativa las dimensiones de las partículas de los agregados gruesos y finos de un material deseado se determinaron mediante pruebas de granulometría a través de la separación utilizando tamices. El procedimiento de esta prueba se basó en la norma NTP 400.012 [15], la cual detalla el proceso a seguir. Para este estudio, se trabajó con una muestra de 2.073 kg, que fue el peso obtenido de la muestra mejor graduada tras el cuarteo del agregado. A continuación, se muestran algunas imágenes que ilustran el proceso de esta prueba.



**Figura N°14:** Peso de la muestra cuarteada.



**Figura N°15:** Tamices utilizados en el ensayo.

- Recolección de datos

**Tabla N°10:** Recolección de datos de la granulometría del agregado grueso

Malla		Peso Ret.	(%) Ret.	(%) Acum. Ret.	(%) Acum. Que Pasa	Especificaciones USO 89	
Pulg.	(mm.)						
2"	50.00						
1 1/2"	38.00						
1"	25.00						
3/4"	19.00						
1/2"	12.70						
3/8"	9.52						
N° 04	4.75						
N° 08	2.36						
N° 16	1.19						
Fondo							

*Fuente: Propia*

### Contenido de Humedad:

El objetivo de este análisis es cuantificar la cantidad de agua contenida en un agregado. El procedimiento de esta prueba se sustentó en la norma NTP 339.185 [16], que proporciona una guía sobre la cantidad de agregado según su Tamaño Máximo Nominal (TMN). En este estudio, se tomó una muestra de 4.720 kg. Seguidamente, se describe el procedimiento de pesaje del agregado en sus estados húmedo y seco.



**Figura N°16:** Peso de la muestra húmeda + tara.



**Figura N°17:** Peso de la muestra seca.

- Recolección de datos

**Tabla N°11:** Recolección de datos del contenido de humedad del agregado grueso

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	
C.- Peso de recipiente	(gr.)	
D.- Contenido de humedad	(%)	
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	

*Fuente: Propia*

### Ensayo de Pesos unitarios sueltos y compactados:

El propósito de esta prueba es evaluar la capacidad de compactación del agregado. Es relevante mencionar que se siguió el protocolo establecido en la norma NTP 400.17 [17] para asegurar una ejecución precisa. Conforme a esta norma, se emplea el 200% de la capacidad del molde, lo que resultó en el uso de 22.000 kg de agregado para obtener estos pesos. Luego, se presentan las imágenes de los pesos utilizados en esta investigación.



**Figura N°18:** Peso unitario suelto húmedo 1 del agregado grueso.



**Figura N°19:** Peso unitario suelto húmedo 2 del agregado grueso.



**Figura N°20:** Peso unitario compactado húmedo 1 del agregado grueso.



**Figura N°21:** Peso unitario compactado húmedo 2 del agregado grueso.

- Recolección de datos

**Tabla N°12:** Recolección de datos del peso unitario suelto y compactado del agregado grueso

<b>A.- PESO UNITARIO SUELTO</b>		
1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	
2.- Peso del recipiente	(gr.)	
3.- Peso del material		
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	
<b>B.- PESO UNITARIO COMPACTADO</b>		
1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	
2.- Peso del recipiente	(gr.)	
3.- Peso del material		
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	

*Fuente: Propia*

### Ensayo de Absorción y Peso Específico:

El propósito de esta prueba es determinar la capacidad de absorción de agua y la densidad de un agregado. Para llevar a cabo esta investigación, nos orientamos por la norma NTP 400.021 [19], que detalla el procedimiento de este ensayo. Se utilizó una cantidad de 4.990 kg, ya que el peso mínimo según nuestro Tamaño Máximo Nominal (TMN) era de 3 kg, conforme a lo indicado en la norma. A continuación, se presentan algunas fotografías del proceso de esta evaluación.



**Figura N°22:** Peso de la muestra SSS.



**Figura N°23:** Peso de la muestra seca.



**Figura N°24:** Eliminación del agua de la superficie de la piedra.



**Figura N°25:** Peso de la muestra sumergida.

- Recolección de datos

**Tabla N°13:** Recolección de datos del peso específico y grado de absorción del agregado grueso

#### **I.- Datos.**

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del canastilla	(g)	
4.- Peso de la canastilla	(g)	
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	

*Fuente: Propia*

### Exposición al fuego del concreto

La norma ASTM E119 [29] establece los procedimientos estándar para evaluar la resistencia al fuego de elementos de construcción. Esta norma especifica los métodos de prueba para determinar el tiempo que un elemento estructural puede resistir la exposición al fuego sin comprometer su integridad estructural. El resultado se expresa en términos de la clasificación de resistencia al fuego, que indica la capacidad del elemento para resistir el colapso estructural durante un período específico de exposición al fuego. La norma ASTM E119 [29] es ampliamente utilizada para evaluar la seguridad contra incendios de diversos materiales y sistemas de construcción. En el **Anexo 15** se puede visualizar los parámetros brindados por la normativa y así poder llevar a cabo un desarrollo correcto.

Este proceso se realizó solamente a 48 probetas de las 96 realizadas en total, para así poder comparar las variaciones que se obtienen mediante el ensayo de resistencia a la compresión. Esta técnica se realizó en un taller industrial ubicado en la Av. Dorado 2955 el cual cuenta con un horno artesanal a gas que alcanza las temperaturas requeridas en esta investigación donde se pueden exponer de manera conjunta las muestras ejecutadas, los testigos fueron trasladados desde la USAT hacia el taller en 4 grupos de 12 probetas según sus días de curado (14 y 28 días).



**Figura N°26 y 27:** Horno artesanal donde las muestras serán expuestas al fuego.



**Figura N°28 y 29:** Colocación de las muestras dentro del horno.



**Figura N°30:**  
Exposición al fuego de las muestras.



**Figura N°31:** Retiro de las muestras quemadas con ayuda de una pinza.



**Figura N°32 y 33:** Muestras expuestas al fuego.

### **Tiempo de exposición al fuego del concreto**

Para medir el tiempo de exposición al fuego, se utiliza un cronómetro o reloj. Desde el inicio del evento que genera calor hasta el momento en que se realiza la evaluación, el cronometraje preciso es esencial. Este instrumento permite a los ingenieros y profesionales de seguridad determinar con precisión la duración de la exposición al fuego.



**Figura N°34:**  
Cronómetro.

### **Temperatura de exposición al fuego del concreto**

Para medir la temperatura de exposición, se utiliza un termómetro infrarrojo. Este dispositivo sin contacto registra la radiación térmica emitida por la superficie del concreto. Durante un incendio, el termómetro infrarrojo proporciona lecturas precisas de la temperatura superficial, permitiendo a los ingenieros evaluar la resistencia del concreto y tomar decisiones informadas sobre la integridad estructural. Esta medida es esencial para diseñar estructuras que puedan soportar condiciones extremas y garantizar la seguridad en entornos sometidos a riesgos de fuego.



**Figura N°35:**  
Termómetro infrarrojo.

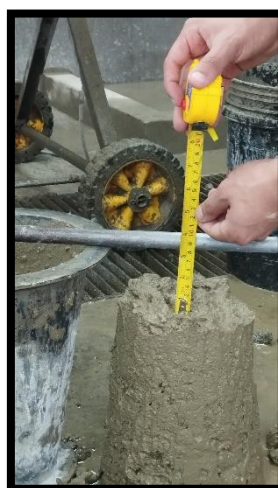


**Figura N°36:** Medición  
de temperatura.

## **Ensayos del estado fresco del concreto**

### Ensayo de Asentamiento o Slump

El propósito de este ensayo es evaluar la trabajabilidad del concreto en su estado fresco. Este procedimiento sigue la norma NTP 339.035 [24], que prescribe la cantidad de concreto necesaria para una probeta más un 30% adicional para posibles desperdicios, que se emplea específicamente para llevar a cabo este ensayo. Se siguieron los protocolos e instrumentos indicados en la normativa para llevar a cabo el procedimiento de manera precisa.



**Figura N°37:**  
Asentamiento del concreto.

- Recolección de datos

**Tabla N°14:** Recolección de datos del asentamiento

F'c	Descripcion	Asentamiento	Variación con patrón

*Fuente: Propia*

### Temperatura del concreto

Se utilizó la norma NTP 339.184 [25] como referencia para obtener la temperatura tanto del concreto patrón como del modificado en este estudio. Esta normativa establece el empleo de un dispositivo de medición de temperatura calibrado adecuadamente para garantizar una lectura precisa de la temperatura.



**Figura N°38:** Temperatura del concreto.

- Recolección de datos

**Tabla N°15:** Recolección de datos de la temperatura

F'c	Descripcion	Temperatura °C	Variación con Patrón

*Fuente: Propia*

### Peso unitario del concreto fresco

Este procedimiento de ensayo se enfoca en determinar la densidad del concreto recién mezclado. Se emplearon instrumentos y se realizó el procedimiento conforme a la norma NTP 339.046. [26]



**Figura N°39:** Peso unitario del concreto.

- Recolección de datos

**Tabla N°16:** Recolección de datos del peso unitario del concreto fresco

F'c	Descripcion	Peso del molde (g)	Peso del molde + Peso del concreto (g)	Volumen del molde (m3)	Peso Unitario del concreto (kg/m3)

*Fuente: Propia*

### Elaboración de probetas cilíndricas de concreto

El objetivo de este ensayo es fabricar probetas cilíndricas de concreto para evaluar su resistencia a la compresión. La preparación de estas probetas se realizó conforme a la norma NTP 339.033 [30], la cual describe el procedimiento adecuado para verter el concreto en las probetas cilíndricas utilizando los instrumentos apropiados. A continuación, se presentan imágenes de las probetas recién vertidas, a la espera de ser desencofradas y sometidas al proceso de curado.



**Figura N°40 y 41:** Probetas vaciadas.

### **Ensayos del estado endurecido del concreto**

#### Ensayo de Resistencia a la Compresión

El propósito de este ensayo es evaluar la capacidad del concreto para resistir esfuerzos axiales. Se llevó a cabo siguiendo la norma NTP 339.034 [28], que especifica el procedimiento y los instrumentos necesarios para realizar el ensayo de manera precisa. Se ensayaron 96 probetas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura mediante compresión a los 14 y 28 días de curado, de las cuales 48 probetas primeramente fueron expuestas al fuego para luego así realizarles este ensayo y poder hacer las evaluaciones con respecto si el material utilizado en este caso la arcilla expandida, favorece al concreto en esta propiedad mecánica después de haber estado expuesto a altas temperaturas. En la siguiente imagen se puede visualizar la prensa donde se realizó el ensayo a compresión.



**Figura N°42:** Compresora.

- Recolección de datos

**Tabla N°17:** Recolección de datos de Resistencia a la compresión

Muestra Nº	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Días	<b>f<sub>c</sub></b> kg/cm <sup>2</sup>

*Fuente: Propia*

## Resultados y Discusión

### Resultados

#### Propiedades del Agregado fino

##### Ensayo de Granulometría

Se obtuvo los siguientes datos:

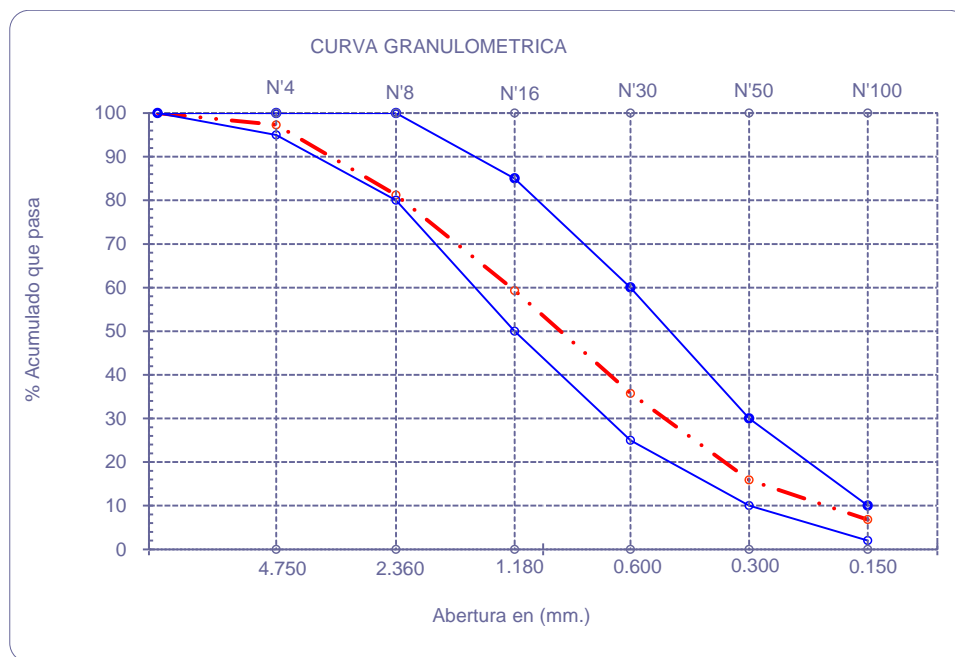
**Tabla N°18:** Granulometría del agregado fino

Malla		Peso Ret.	(%) Ret.	(%) Acum. Ret.	(%) Acum. Que Pasa	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)					100	100
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
N° 04	4.750	13.51	2.7	2.7	97.3	95	100
N° 08	2.360	80.4	16.1	18.8	81.2	80	100
N° 16	1.180	109.58	21.9	40.7	59.3	50	85
N° 30	0.600	117.83	23.6	64.3	35.7	25	60
N° 50	0.300	99.21	19.8	84.1	15.9	10	30
N° 100	0.150	45.4	9.1	93.2	6.8	2	10
Fondo		32.06	6.4	99.6	0.4		
Módulo de Fineza				3.038			
Abertura de malla de referencia				9.500			

*Fuente: Propia*

Dada la cantidad de material retenido en las mallas que van desde la N°4 hasta la N°100, podemos concluir que se trata de un agregado fino.

En cuanto a la gráfica, se obtuvo lo siguiente:



**Figura N°43:** Curva granulométrica del agregado fino

Como se puede observar en el gráfico, la distribución de tamaños de partículas se ajusta a los criterios definidos por la norma NTP 400.012 [15], lo que sugiere una graduación apropiada. Los detalles completos de este ensayo se encuentran especificados en el **Anexo 4**.

#### Ensayo de Contenido de Humedad

Se obtuvo los siguientes datos:

**Tabla N°19:** Contenido de humedad del agregado fino

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>2000.05</b>	<b>2000.05</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>1966.48</b>	<b>1966.48</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0.0
D.- Contenido de humedad	(%)	1.7	1.7
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>1.71</b>	

*Fuente: Propia*

Dado el alto contenido de humedad en la arena, se necesitaría ajustar la preparación del concreto para lograr el asentamiento deseado. La síntesis de este ensayo se encuentra disponible en el **Anexo 7**.

#### Ensayo de Peso Unitario Suelto y Compactado

Se obtuvo los siguientes datos:

**Tabla N°20:** Peso unitario suelto y compactado del agregado fino

##### **1.- PESO UNITARIO SUELTO**

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>7990</b>	<b>8000</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		7990	8000
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00553	0.00553
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1444	1445
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>1420</b>	

##### **2.- PESO UNITARIO COMPACTADO**

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>9360</b>	<b>9330</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		9360	9330
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00553	0.00553
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1691	1686
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>1660</b>	

*Fuente: Propia*

La ficha resumen de este ensayo se puede observar en el **Anexo 7**.

### Ensayo de Peso Específico y Absorción

Se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla N°21:** Peso específico y absorción del agregado fino

#### **I.- Datos.**

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso del Agua	(g)	<b>1002.7</b>	<b>1002.7</b>
2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	697.48	697.48
3.- Peso del Agua	(g)	305.2	305.2
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	692.61	692.61
5.- Peso del Frasco	(g)	<b>197.48</b>	<b>197.48</b>
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	<b>495</b>	<b>495</b>
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

#### **II.- Resultados**

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.542</b>
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm <sup>3</sup> )	2.567
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm <sup>3</sup> )	2.607
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	<b>0.98</b>

*Fuente: Propia*

Un porcentaje de absorción de 0.98% en la arena indica una elevada porosidad, factor clave al considerar la resistencia del concreto ante el fuego. La notable capacidad de absorber agua podría incrementar la conductividad térmica del material, haciendo que sea más propenso a los efectos del calor. Además, la presencia de poros significativos sugiere la posibilidad de generación de vapor durante la exposición al fuego, lo que podría contribuir al agrietamiento y pérdida de resistencia del concreto. Estos aspectos resaltan la importancia de cuidados adicionales al diseñar estructuras expuestas a condiciones de fuego, considerando la porosidad como un factor crítico en la selección de materiales.

La ficha resumen de este ensayo se puede observar en el **Anexo 6**.

## Propiedades del Agregado Grueso

### Ensayo de Granulometría

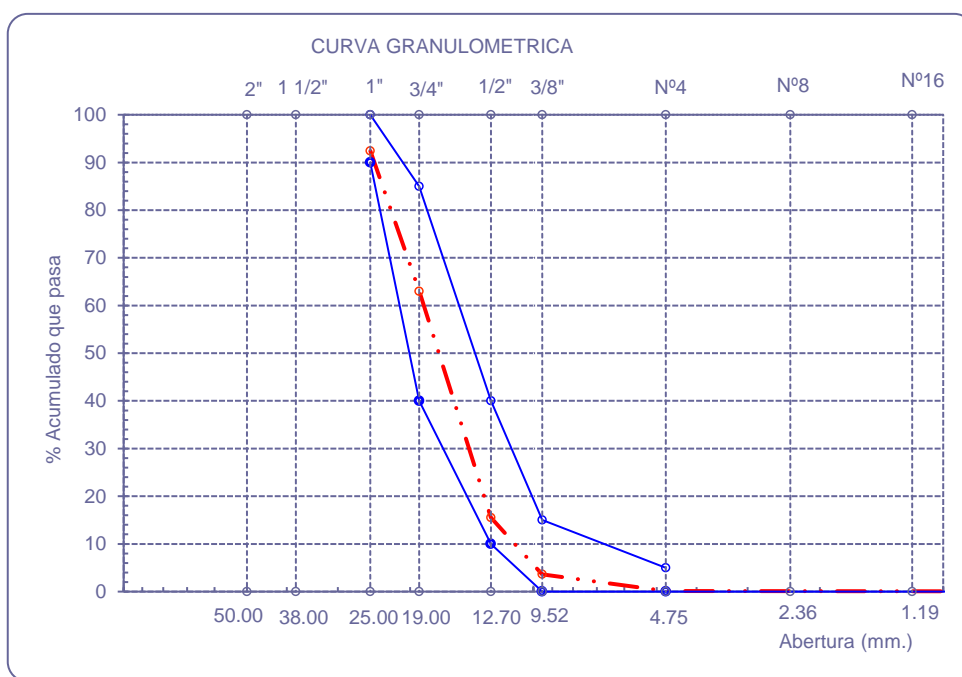
Se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla N°22:** Granulometría del agregado grueso

Malla		Peso Ret.	(% Ret.	(% Acum. Ret.	(% Acum. Que Pasa	Especificaciones USO 89	
Pulg.	(mm.)						
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.00	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	151.09	7.6	7.6	92.4	90.0	100.0
3/4"	19.00	585.86	29.4	37.0	63.0	40.0	85.0
1/2"	12.70	945.46	47.5	84.5	15.5	10.0	40.0
3/8"	9.52	237.17	11.9	96.4	3.6	0.0	15.0
Nº 04	4.75	70.21	3.5	99.9	0.1	0.0	5.0
Nº 08	2.36	0.00	0.0	99.9	0.1	0.0	0.0
Nº 16	1.19	0.00	0.0	99.9	0.1	0.0	0.0
Fondo		2.05	0.1	100.0	0.0		
Tamaño Maximo			1"	25.00			
Tamaño Maximo Nominal			3/4"	19.00			

*Fuente: Propia*

En lo que respecta a la curva granulométrica:



**Figura N°44:** Curva granulométrica del agregado grueso

Según lo observado en el gráfico, la distribución de tamaños de partículas del agregado grueso satisface los criterios establecidos por el HUSO 89, indicando una adecuada gradación. Los detalles resumidos de este ensayo están disponibles en el **Anexo 5**.

Ensayo de Contenido de Humedad

Se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla N°23:** Contenido de humedad del agregado grueso

I.- Datos			
A.- Peso de muestra húmeda	(gr.):	<b>4720.00</b>	<b>4720.00</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.):	<b>4700.00</b>	<b>4700.00</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.):	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%):	0.4	0.4
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%):	<b>0.43</b>	

*Fuente: Propia*

La ficha resumen de este ensayo se puede observar en el **Anexo 8**.

Ensayo de Peso Unitario Suelto y Compactado

Se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla N°24:** Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso

<b>A.- PESO UNITARIO SUELTO</b>			
1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.):	<b>7830</b>	<b>7750</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.):	0.0	0.0
3.- Peso del material		7830	7750
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> ):	0.00553	0.00553
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m <sup>3</sup> ):	1415	1400
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> ):	<b>1402</b>	
<b>B.- PESO UNITARIO COMPACTADO</b>			
1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.):	<b>8430</b>	<b>8440</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.):	0.0	0.0
3.- Peso del material		8430.0	8440.0
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> ):	0.00553	0.00553
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m <sup>3</sup> ):	1523	1525
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> ):	<b>1518</b>	

*Fuente: Propia*

La ficha resumen de este ensayo se puede observar en el **Anexo 8**.

### Ensayo de Peso Específico y Absorción

Se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla N°25:** Peso específico y absorción del agregado grueso

#### **I.- Datos.**

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	<b>4720</b>	<b>4720</b>
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	<b>4762</b>	<b>4762</b>
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del canastilla	(g)	<b>3840</b>	<b>3840</b>
4.- Peso de la canastilla	(g)	<b>920</b>	<b>920</b>
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	2920	2920

#### **II.- Resultados**

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.562</b>
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm <sup>3</sup> )	2.585
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm <sup>3</sup> )	2.622
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	<b>0.89</b>

*Fuente: Propia*

En este caso el porcentaje de absorción del 0.89% en la piedra chancada indica que tiene poros, pero en una cantidad moderada. Esto significa que, aunque hay algunos espacios vacíos en la piedra, no son tan significativos como en materiales más porosos. En términos prácticos, esto sugiere que, al diseñar estructuras, la piedra chancada podría ofrecer una resistencia más controlada al fuego en comparación con materiales más porosos. Aunque aún es importante considerar la porosidad, la probabilidad de problemas como la generación excesiva de vapor o el desprendimiento de partículas es menor. Es decir, la piedra chancada, con su moderada porosidad, sigue siendo un buen componente para la resistencia al fuego, pero deben considerarse cuidadosamente los factores de diseño.

La ficha resumen de este ensayo se puede observar en el **Anexo 6**.

## Propiedades de la Arcilla Expandida

### Ensayo de Granulometría de la Arcilla Expandida

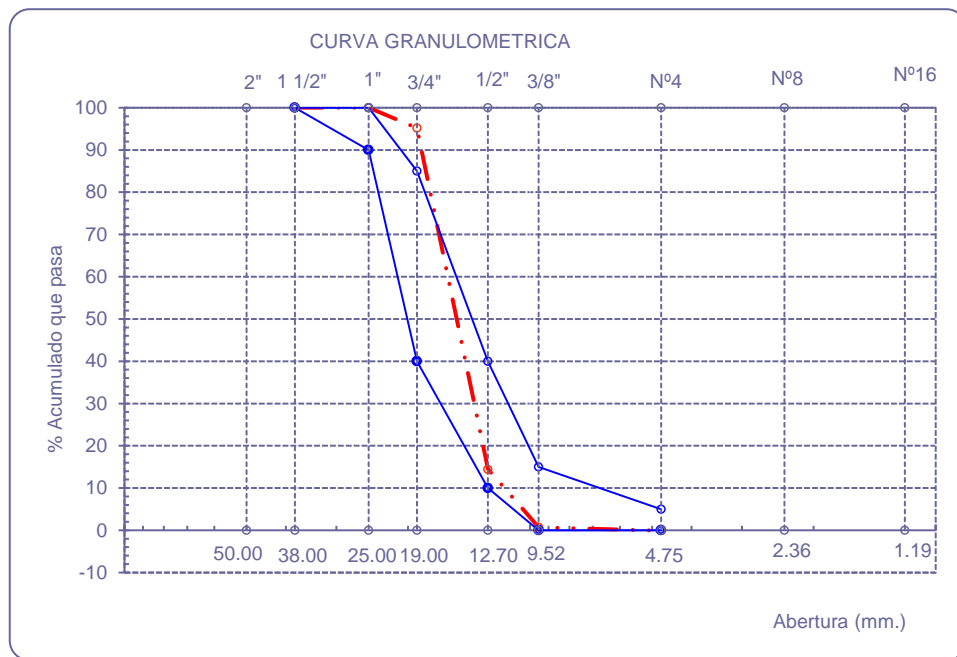
El tamaño de la arcilla empleada se puede obtener de la ficha técnica del mismo, aun así, se realizó este ensayo conforme la norma NTP 400.012 [15] para así corroborar la granulometría del material empleado. Para esta investigación se obtuvo los siguientes datos:

**Tabla N°26:** Granulometría de la Arcilla Expandida

Malla		Peso Ret.	(% Ret.)	(% Acum. Ret.)	(% Acum. Que Pasa)	Especificaciones USO 89	
Pulg.	(mm.)						
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	90.0	100.0
3/4"	19.00	13.95	4.8	4.8	95.2	40.0	85.0
1/2"	12.70	234.36	80.7	85.6	14.4	10.0	40.0
3/8"	9.52	39.86	13.7	99.3	0.7	0.0	15.0
N° 04	4.75	2.28	0.8	100.1	-0.1	0.0	5.0
N° 08	2.36	0.0	0.0	100.1	-0.1	0.0	0.0
N° 16	1.19	0.0	0.0	100.1	-0.1	0.0	0.0
Fondo		0.0	0.0	100.1	-0.1		
Tamaño Maximo			1"	25.00			
Tamaño Maximo Nominal			3/4"	19.00			

*Fuente: Propia*

En cuanto a su curva granulométrica se obtuvo lo siguiente:



**Figura N°45:** Curva granulométrica de la arcilla expandida

En la gráfica se observa que la Arcilla Expandida no cumple con los rangos establecidos por la normativa, ya que se observa que para la malla de 3/4", retuvo una cantidad de material superior a lo especificado, dado que solo se empleó la norma como punto de referencia para el proceso, no es obligatorio que se cumpla. Es importante destacar que el resumen de este ensayo se encuentra detallado en el **Anexo 9**.

#### Ensayo de Contenido de Humedad

**Tabla N°27:** Contenido de humedad de la Arcilla expandida

I.- Datos		M1	M2
A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>370.94</b>	<b>370.94</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>369.01</b>	<b>369.01</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	78.6	78.62
D.- Contenido de humedad	(%)	0.66	0.66
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>0.66</b>	

*Fuente: Propia*

Se nota que el contenido de humedad en la Arcilla Expandida es ligeramente mayor en comparación con la piedra chancada. Esto implica que absorberá un exceso de agua, lo que puede resultar en una ligera disminución en la trabajabilidad o consistencia del concreto, **Anexo 10**.

#### Peso Específico y Absorción

Estos datos se obtuvieron mediante la ficha técnica de la Arcilla Expandida utilizada la cual es de la marca ARGEX, este material está normado por la UNE-EN 13055-1:2003 y UNE-EN 13055-1/AC:2004 "Áridos ligeros para hormigón, mortero e inyectado". Los datos utilizados se encuentran en el **Anexo 11**.

#### **Elaboración del diseño de mezcla:**

Las proporciones en el diseño de la mezcla se basaron según ACI. Es importante destacar que la relación a/c no se ajustó en función de la durabilidad, sino que se enfocó exclusivamente en los valores de resistencia.

A continuación, se llevará a cabo el procedimiento del diseño de mezcla patrón para un concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .

#### **Paso 1: Determinación de la resistencia requerida**

Se utilizó la siguiente tabla:

**Tabla N°28:** Resistencia a la compresión promedio

Resistencia a la compresion especificada F'c	Resistencia promedio requerida F'cr
$F'c < 210 \text{ kg/cm}^2$	$F'cr = F'c + 70 \text{ kg/cm}^2$
$210 \text{ kg/cm}^2 \leq F'c \leq 350 \text{ kg/cm}^2$	$F'cr = F'c + 84 \text{ kg/cm}^2$
$F'c > 350 \text{ kg/cm}^2$	$F'cr = 1.10F'c + 50 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: ACI 211

Entonces, como el  $f'c$  es de 210, se utilizó el segundo criterio con un factor de seguridad de 85.

$$f' cr = 210 + 85$$

$$f' cr = 295 \text{ kg/cm}^2$$

### Paso 2: Selección del TMN del agregado grueso

Según nuestra granulometría del agregado grueso:

$$TMN = 3/4''$$

### Paso 3: Selección del asentamiento

Como el diseño se realizará para un concreto que estará expuesto al fuego, se consideró para diferentes edificaciones, por lo que se escogió un asentamiento máximo de:

$$Slump = 4''$$

### Paso 4: Contenido de Aire

Fue empleado únicamente el aire atrapado y no se incorporó, ya que el diseño no lo requiere. Se hizo uso de la siguiente tabla:

**Tabla N°29:** Contenido de aire atrapado

Contenido de Aire Atrapado	
Tamaño Maximo Nominal	Aire Atrapado
3/8''	3.0%
1/2''	2.5%
3/4''	2.0%
1''	1.5%
1 1/2''	1.0%
2''	0.5%
3''	0.3%
6''	0.2%

Fuente: ACI 211

Entonces, como el TMN fue de  $3/4''$ , se obtuvo lo siguiente:  $Aire = 2\%$ .

### Paso 5: Contenido de Agua

Se consultó la tabla que se detalla a continuación:

**Tabla N°30:** Volumen unitario de agua

Asentamiento	Agua en lit/m <sup>3</sup> , para los tamaños max. nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
<b>Concretos sin aire incorporado</b>								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	...
<b>Concretos con aire incorporado</b>								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	1	154	...

*Fuente: ACI 211*

Por lo que el TMN es de  $3/4''$ , entonces el slump a obtener será de 3" a 4", este es un concreto sin aire incorporado, obtendremos lo siguiente:

$$Agua = 205 \text{ lt/m}^3$$

### Paso 6: Relación agua cemento (a/c)

- Por resistencia:

Se consultó la tabla que se detalla a continuación:

**Tabla N°31:** Relación agua/cemento por resistencia

F'cr (28 días)	Relación a/c de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	...
450	0.38	...

*Fuente: ACI 211*

Por lo tanto, si el  $f'_{cr}$  se encuentra entre 250 y 300, se realizará lo siguiente:

$$\begin{array}{r}
 250 \text{ ———— } 0.62 \\
 295 \text{ ———— } X \\
 300 \text{ ———— } 0.55 \\
 \frac{X - 0.62}{295 - 250} = \frac{0.55 - 0.62}{300 - 250} \\
 a/c = 0.557
 \end{array}$$

- Por durabilidad:

Se optó por no tener en cuenta los valores de la relación agua-cemento en relación con la durabilidad, ya que en nuestra área no hay problemas de congelamiento y deshielo, y tampoco se espera la presencia de sulfatos debido a que estamos bastante lejos del mar.

### Paso 7: Contenido de Cemento

Determinamos esta cantidad de cemento en peso, mediante:

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{\textit{Agua}}{a/c} \\
 C &= \frac{205}{0.557} \\
 C &= 368.04 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Ahora determinaremos la cantidad de cemento en bolsas:

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{\textit{Peso del cemento}}{\textit{Peso de una bolsa de cemento}} \\
 C &= \frac{368.04}{42.5} \\
 C &= 8.66 \text{ bls/m}^3
 \end{aligned}$$

### Paso 8: Peso de los agregados

- Cálculo del  $b/b_0$  y  $PS_{AG}$

Se consultó la tabla que se detalla a continuación:

**Tabla N°32:** Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto

TMN del agregado grueso	Vol. del Agregado grueso, seco y compactado, por unidad de vol. Del			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.56	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.7
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI 211

Por lo tanto, si el TMN del agregado grueso es 3/4" y el Módulo de Fineza del agregado fino es 3.038, se obtuvo lo siguiente:

$$\begin{array}{r} 0.62 \text{ ————— } 2.80 \\ 0.6 \text{ ————— } 3.00 \\ X \text{ ————— } 3.038 \end{array}$$

$$\frac{3.00 - 2.80}{0.6 - 0.62} = \frac{3.038 - 2.80}{X - 0.62}$$

$$b/b_0 = 0.596$$

Así mismo el peso seco del agregado grueso se obtendrá:

$$PS_{AG} = PUCS_{AG} * b/b_0$$

$$PS_{AG} = 1518 * 0.596$$

$$PS_{AG} = 904.73 \text{ kg/cm}^3$$

- Volúmenes Absolutos

Se resuelve a continuación:

➤ Cemento:

$$C = \frac{C_7}{\gamma_{\text{cemento}}}$$

$$C = \frac{368.04}{3150}$$

$$C = 0.117 \text{ m}^3$$

➤ Agua:

$$A = \frac{\text{Agua}}{\gamma_{\text{agua}}}$$

$$A = \frac{205}{1000}$$

$$A = 0.205 \text{ m}^3$$

➤ Aire:

$$\text{Aire} = \frac{\text{Aire}}{100}$$

$$\text{Aire} = \frac{2}{100}$$

$$\text{Aire} = 0.020 \text{ m}^3$$

➤ Agregado grueso:

$$AG = \frac{PS_{AG}}{\gamma_{AG}}$$

$$AG = \frac{904.73}{2562}$$

$$AG = 0.353 \text{ m}^3$$

➤ Agregado fino:

$$AF = 1 - \sum \text{volúmenes}$$

$$AF = 1 - 0.695$$

$$AF = 0.305 \text{ m}^3$$

- Cálculo de  $PS_{AF}$

$$PS_{AF} = AF * \gamma_{AF}$$

$$PS_{AF} = 0.305 * 2542$$

$$PS_{AF} = 775.31 \text{ kg/m}^3$$

### Paso 9: Condiciones secas

Se tiene los siguientes resultados:

$$C = 368.04 \text{ kg/m}^3$$

$$AF = 775.31 \text{ kg/m}^3$$

$$AG = 904.73 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua} = 205 \text{ lt/m}^3$$

### Paso 10: Corrección de humedad del agregado

Se tiene los siguientes resultados:

- Cálculo del  $PH_{AF}$

$$PH_{AF} = PS_{AF} * \left(1 + \frac{\%H_{AF}}{100}\right)$$

$$PH_{AF} = 775.31 * \left(1 + \frac{1.71}{100}\right)$$

$$PH_{AF} = 788.768 \text{ kg/m}^3$$

- Cálculo del  $PH_{AG}$

$$PH_{AG} = PS_{AG} * \left(1 + \frac{\%H_{AG}}{100}\right)$$

$$PH_{AF} = 904.73 * \left(1 + \frac{0.43}{100}\right)$$

$$PH_{AF} = 908.620 \text{ kg/m}^3$$

### Paso 11: Cálculo del agua efectiva

- Aportes de humedad
  - Cálculo del  $AP_{AF}$

$$AP_{AF} = PS_{AF} * \left( \frac{\%H_{AF} - \%A_{AF}}{100} \right)$$

$$AP_{AF} = 775.31 * \left( \frac{1.71 - 0.98}{100} \right)$$

$$AP_{AF} = 5.659 \text{ lt/m}^3$$

➤ Cálculo del  $AP_{AG}$

$$AP_{AG} = PS_{AG} * \left( \frac{\%H_{AG} - \%A_{AG}}{100} \right)$$

$$AP_{AG} = 904.73 * \left( \frac{0.43 - 0.89}{100} \right)$$

$$AP_{AG} = -4.162 \text{ lt/m}^3$$

➤ Cálculo del  $AP_T$

$$AP_T = AP_{AF} + AP_{AG}$$

$$AP_T = 5.659 - 4.162$$

$$AP_T = 1.497 \text{ lt/m}^3$$

• Agua efectiva

$$A_{ef} = Agua - AP_T$$

$$A_{ef} = 205 - 1.497$$

$$A_{ef} = 203.5 \text{ lt/m}^3$$

## Paso 12: Condiciones húmedas

Se tiene los siguientes resultados:

$$C = 368.04 \text{ kg/m}^3$$

$$AF = 788.77 \text{ kg/m}^3$$

$$AG = 908.62 \text{ kg/m}^3$$

$$Agua = A_{ef}/C = 23.5 \text{ lt/m}^3$$

**Paso 13: Dosificación en Peso**

*Cemento : Agregado fino : Agregado grueso/ Agua*

$$\frac{C_{12}}{C_{12}} : \frac{PH_{AF}}{C_{12}} : \frac{PH_{AG}}{C_{12}} / Agua_{12}$$

$$\frac{368.04}{368.04} : \frac{788.77}{368.04} : \frac{908.62}{368.04} / 23.5$$

$$1 : 2.14 : 2.47/23.5 \text{ (lt/bls)}$$

Se resalta que si el asentamiento de diseño cumple, se encuentra correcto el diseño de mezcla realizado, por lo contrario, si no llegara a cumplir se tendría que hacer un ajuste de proporción donde se seguirían los mismos pasos hasta obtener el valor requerido. Se llevó adelante el vaciado con una tanda para 3 probetas cilíndricas, en donde su dosificación en peso fue:

$$C = 9.08 \text{ kg}$$

$$AF = 12.03 \text{ kg}$$

$$AG = 16.07 \text{ kg}$$

$$Agua = 5.06 \text{ lt}$$

**Dosificación para probetas de concreto con porcentajes de arcilla expandida**

Se llevará a cabo el cálculo de manera similar a la anterior, pero en este caso, la cantidad de piedra se sustituirá en porcentajes de 10, 15 y 20%. Se aplicará una regla de tres simple para determinar la cantidad que se reemplazará del agregado grueso, con el objetivo de conocer la cantidad total de ripio.

$$\begin{array}{r} \text{Cantidad total AG: } 16.07 \text{ kg} \text{ ----- } 100\% \\ X \text{ ----- } 10\% \\ X = 1.607 \text{ kg} \end{array}$$

$$\text{Entonces: } 16.07 - 1.607 = 14.463 \text{ kg}$$

Este mismo procedimiento se calculó para todos los porcentajes de 10, 15 y 20%

**Tabla N°33:** Dosificación con 10% de A.E

CANTIDAD DE MATERIAL PARA PROBETAS CON 10% DE ARCILLA EXPANDIDA				
Material		Dosificación en Peso	Cantidad para 3 probetas	Cantidad con 10% de arcilla expandida
C	kg	1	9.08	9.08
AF	kg	2.14	12.03	12.03
AG	kg	2.47	16.07	14.46
Agua	lt	23.5	5.06	5.06

*Fuente: Propia*

**Tabla N°34:** Dosificación con 15% de A.E

CANTIDAD DE MATERIAL PARA PROBETAS CON 15% DE ARCILLA EXPANDIDA				
Material		Dosificación en Peso	Cantidad para 3 probetas	Cantidad con 15% de arcilla expandida
C	kg	1	9.08	9.08
AF	kg	2.14	12.03	12.03
AG	kg	2.47	16.07	13.66
Agua	lt	23.5	5.06	5.06

*Fuente: Propia*

**Tabla N°35:** Dosificación con 20% de A.E

CANTIDAD DE MATERIAL PARA PROBETAS CON 20% DE ARCILLA EXPANDIDA				
Material		Dosificación en Peso	Cantidad para 3 probetas	Cantidad con 20% de arcilla expandida
C	kg	1	9.08	9.08
AF	kg	2.14	12.03	12.03
AG	kg	2.47	16.07	12.86
Agua	lt	23.5	5.06	5.06

*Fuente: Propia*

En esta situación, para determinar la cantidad de arcilla expandida a reemplazar, dado que existe una diferencia de densidades entre el agregado grueso y la arcilla expandida, no se puede realizar un reemplazo basado en el peso, si no en el volumen.

Para llevar a cabo el reemplazo del agregado grueso por la arcilla expandida, se realiza de la siguiente forma:

- Elegir un recipiente adecuado para realizar la sustitución.
- Medir las dimensiones del recipiente.
- Completar el recipiente con la cantidad en kilogramos que se va a sustituir del agregado grueso.
- Determinar el volumen correspondiente a la cantidad que se requiere reemplazar del agregado grueso.
- Extraer la proporción de agregado grueso del recipiente y reemplazarla en volumen con la arcilla expandida.
- Ejecutar el mismo procedimiento en un recipiente adecuado con las diversas cantidades calculadas que se sustituirán al agregado grueso: 10%, 15% y 20% de arcilla expandida.



**Figura 46:** Muestra de arcilla expandida al volumen



**Figura 47:** Muestra de piedra al volumen

## Propiedades del Estado Fresco del Concreto

### Ensayo Trabajabilidad del Concreto

Se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla N°36:** Asentamiento

F'c	Descripcion	Asentamiento (pulg)	Variación con patrón (pulg)
210 kg/cm <sup>2</sup>	Patrón	4	0
	10% Arcilla Expandida	3.25	0.75
	15% Arcilla Expandida	3	1
	20% Arcilla Expandida	2.5	1.5

*Fuente: Propia*

Examinando los datos obtenidos, se concluye que, al reemplazar la piedra chancada por la Arcilla Expandida, la consistencia del concreto disminuirá. Esto se debe a que la arcilla expandida absorberá mayor agua en comparación con el agregado convencional, lo que resulta en una disminución progresiva en la consistencia del concreto. Los resultados pueden verificarse mediante el panel fotográfico adjunto en el **Anexo 9**.

### Peso unitario del Concreto

Se obtuvo los siguientes datos:

**Tabla N°37:** Pesos unitarios del concreto fresco

F'c	Descripcion	Peso del molde (g)	Peso del molde + Peso del concreto (g)	Volumen del molde (m <sup>3</sup> )	Peso Unitario del concreto (kg/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Promedio (kg/m <sup>3</sup> )
210 kg/cm <sup>2</sup>	Patrón	380	12850	0.00552	2260.55	2276.87
	Patrón	380	12970	0.00552	2282.31	
	Patrón	380	13000	0.00552	2287.75	
	10% Arcilla Expandida	380	12570	0.00552	2209.80	2224.30
	10% Arcilla Expandida	380	12710	0.00552	2235.17	
	10% Arcilla Expandida	380	12670	0.00552	2227.92	
	15% Arcilla Expandida	380	12740	0.00552	2240.61	2214.63
	15% Arcilla Expandida	380	12500	0.00552	2197.11	
	15% Arcilla Expandida	380	12550	0.00552	2206.17	
	20% Arcilla Expandida	380	12510	0.00552	2198.92	2199.52
	20% Arcilla Expandida	380	12550	0.00552	2206.17	
	20% Arcilla Expandida	380	12480	0.00552	2193.48	

*Fuente: Propia*

Al analizar los resultados obtenidos, se concluye que el peso unitario varía en función de la cantidad de Arcilla Expandida que se utilice como reemplazo. Según se aprecia en la tabla, los que contienen 20% de Arcilla Expandida tienen un peso menor. Por lo tanto, al sustituir la piedra chancada por Arcilla Expandida, se observa que el concreto tiende a tener un peso ligeramente inferior al usual. Estos resultados pueden ser corroborados mediante el panel fotográfico incluido en el **Anexo 10**.

### Temperatura del concreto

Se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla N°38:** Temperaturas del concreto

F'c	Descripcion	Temperatura °C	Variación con Patrón
210 kg/cm2	Patrón	28.3	0
	10% Arcilla Expandida	28.1	0.2
	15% Arcilla Expandida	27.9	0.4
	20% Arcilla Expandida	27.3	1

*Fuente: Propia*

Al analizar los datos de temperatura, se observa que tanto el concreto patrón y el concreto con Arcilla Expandida muestran variaciones. Estas últimas presentan temperaturas inferiores. Por este motivo, se realizó un cálculo de cada variación para cada tipo de concreto.

El concreto patrón exhibe la temperatura más elevada, mientras que el concreto con un 20% de Arcilla Expandida muestra la temperatura más baja. Los resultados pueden ser verificados en el panel fotográfico del **Anexo 11**.

### **Exposición al fuego del concreto**

**Tabla N°39:** Datos de exposición al fuego del concreto

<b>Tiempo (min)</b>	30	60	-	-
<b>Temperatura (C°)</b>	831.3	886.8	805.1	944.2

*Fuente: Propia*

Se visualiza en esta pequeña tabla los datos obtenidos durante la exposición al fuego de los testigos, los tiempos fueron obtenidos mediante un cronómetro y las temperaturas con el uso de un termómetro infrarrojo donde podemos ver que las temperaturas alcanzadas son las esperadas en base a la norma ASTM E119 [29] y la temperatura promedio de un incendio debido que esta investigación trata de semejarse a un caso real ante este tipo de situaciones que perjudican las estructuras, por lo que podemos decir que fue una exposición al fuego adecuada para el motivo de este proyecto de investigación. Estos datos pueden ser corroborados en el panel fotográfico del **Anexo 12**.

## Propiedades del Estado Endurecido del Concreto

### Ensayo de Resistencia a la compresión

Comparación del Concreto Patrón - Concreto con 10%, 15% y 20% de Arcilla Expandida.

**Tabla N°40:** Resistencia a compresión del concreto en  $f'c$  – 10%, 15% y 20% de Arcilla Expandida

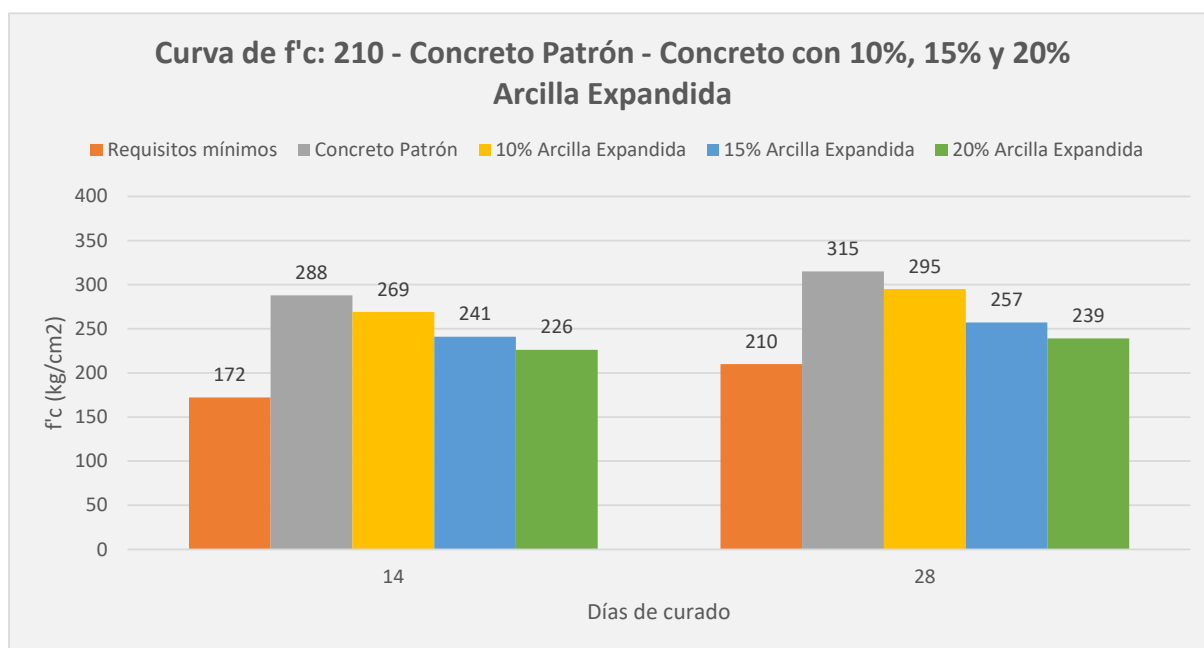
Día	$f'c$				
	Requisitos Mínimos	Concreto Patrón	10% Arcilla Expandida	15% Arcilla Expandida	20% Arcilla Expandida
14	172	288	269	241	226
28	210	315	295	257	239

Fuente: Propia

**Tabla N°41:** Resistencia a compresión del concreto en % – 10%, 15% y 20% de Arcilla Expandida

Día	%				Disminuye		
	Concreto Patrón	10% A.E	15% A.E	20% A.E			
14	100%	93.41%	83.69%	78.48%	6.59%	16.31%	21.52%
28	100%	93.62%	81.56%	75.85%	6.38%	18.44%	24.15%

Fuente: Propia



**Figura N°48:** Curva de  $F'c$  210 – C.P y Concreto con 10%, 15% y 20% de Arcilla Expandida

Como se puede visualizar en la figura N°48, el concreto patrón al igual que el concreto con 10%, 15% y 20% de Arcilla Expandida superan los requisitos mínimos de resistencia a la compresión. Haciendo una comparativa se puede mencionar que a los 14 y 28 días de curado la mayor resistencia se encuentra en el concreto patrón lo cual era de esperarse debido a que la Arcilla Expandida es un material ligero, estas alcanzaron a los 288 kg/cm<sup>2</sup> y 315 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Mientras más porcentaje de piedra chancada era reemplazada por la Arcilla Expandida esta disminuye más, a los 14 días el concreto con 10% de Arcilla expandida alcanza los 269 kg/cm<sup>2</sup>, con 15% llega a 241 kg/cm<sup>2</sup> y con 20% alcanza los 226 kg/cm<sup>2</sup>, de igual manera se observa que a los 28 días el concreto con 10% de Arcilla Expandida llega a 295 kg/cm<sup>2</sup>, con un 15% está en 257 kg/cm<sup>2</sup> y con 20% de este material se está en 239 kg/cm<sup>2</sup>.

Ensayo de Resistencia a la compresión del concreto expuesto al fuego

*Comparación del Concreto Patrón - Concreto Patrón expuesto al fuego durante 30 y 60 min.*

**Tabla N°42:** Resistencia a compresión del Concreto patrón expuesto al fuego

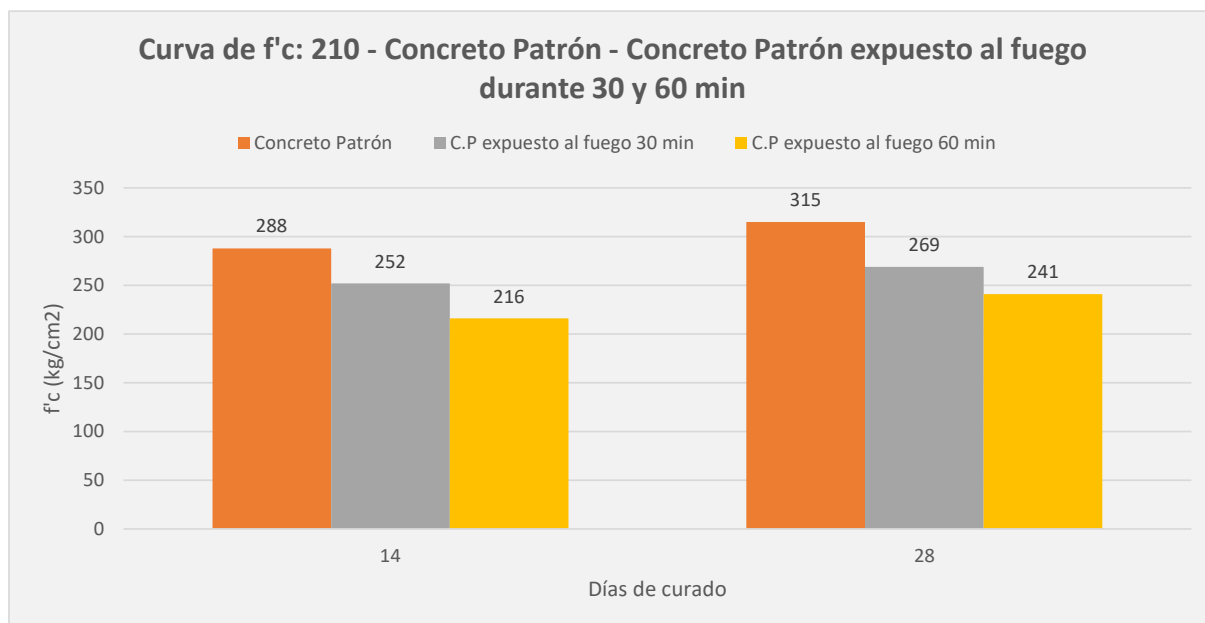
Día	f'c		
	Concreto Patrón	C.P (30 min)	C.P (60 min)
14	288	252	216
28	315	269	241

*Fuente: Propia*

**Tabla N°43:** Resultados en porcentajes

Día	%			Disminuye	
	Concreto Patrón	C.P (30 min)	C.P (60 min)		
14	100%	87.50%	75.00%	12.50%	25.00%
28	100%	85.40%	76.51%	14.60%	23.49%

*Fuente: Propia*



**Figura N°49:** Curva de F'c 210 – Concreto Patrón y Concreto Patrón expuesto al fuego

Como bien se sabe el concreto al estar expuesto al fuego llega a disminuir en su resistencia a la compresión, por lo cual en los resultados de 14 días de curado podemos notar que el Concreto patrón al haber estado expuesto al fuego durante 30 min disminuye de 288 kg/cm<sup>2</sup> a 252 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual es un 12.5% menos. En el caso de su exposición durante el tiempo de 60 min, la resistencia baja hasta 216 kg/cm<sup>2</sup>, ósea 25% por debajo de la inicial. A los 28 días el concreto patrón expuesto a temperaturas altas disminuye hasta 269 kg/cm<sup>2</sup> y 241 kg/cm<sup>2</sup>, en los tiempos de 30 y 60 min respectivamente. También nos vamos a dar cuenta que el concreto entre más tiempo este expuesto al fuego su resistencia disminuirá aún más como nos da a notar los resultados obtenidos.

*Comparación del Concreto con 10% A.E - Concreto con 10% A.E expuesto al fuego durante 30 y 60 min.*

**Tabla N°44:** Resistencia a compresión del Concreto con 10% A.E expuesto al fuego

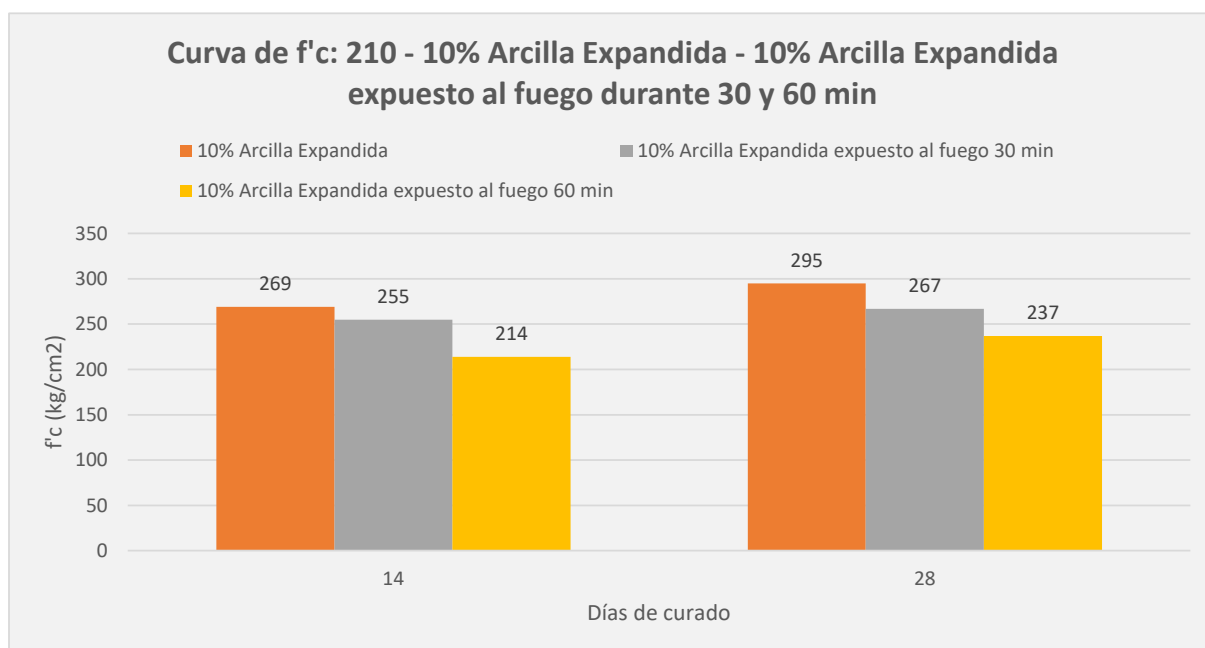
Día	f'c		
	10% Arcilla Expandida	10% A.E (30 min)	10% A.E (60 min)
14	269	255	214
28	295	267	237

*Fuente: Propia*

**Tabla N°45: Resultados en porcentajes**

Día	%			Disminuye	
	10% Arcilla Expandida	10% A.E (30 min)	10% A.E (60 min)		
14	100%	94.80%	79.55%	5.20%	20.45%
28	100%	90.51%	80.34%	9.49%	19.66%

*Fuente: Propia*



**Figura N°50: Curva de F'c 210 – Concreto con 10% A.E y Concreto con 10% A.E expuesto al fuego**

En este gráfico podemos observar, el concreto con 10% A.E tiene una breve mejora en comparación con el patrón en cuanto a su resistencia a compresión luego de haber estado expuesto al fuego, en los resultados obtenemos que a los 14 días sus resistencias son de 255 kg/cm<sup>2</sup> y 214 kg/cm<sup>2</sup> y para los 28 días de curado del concreto con 10% A.E se tienen 267 kg/cm<sup>2</sup> y 237 kg/cm<sup>2</sup>, con sus respectivos periodos de exposición al fuego. Las disminuciones a los 14 días son de 5.20% y 20.45%, en donde notamos que a los 30 min de haber estado expuesto al fuego este concreto no disminuye en tanto porcentaje, a los 60 min aún baja en un porcentaje considerable. En cuanto a los 28 días este concreto es afectado y baja en un 9.49% y 19.66%.

*Comparación del Concreto con 15% A.E - Concreto con 15% A.E expuesto al fuego durante 30 y 60 min.*

**Tabla N°46:** Resistencia a compresión del Concreto con 15% A.E expuesto al fuego

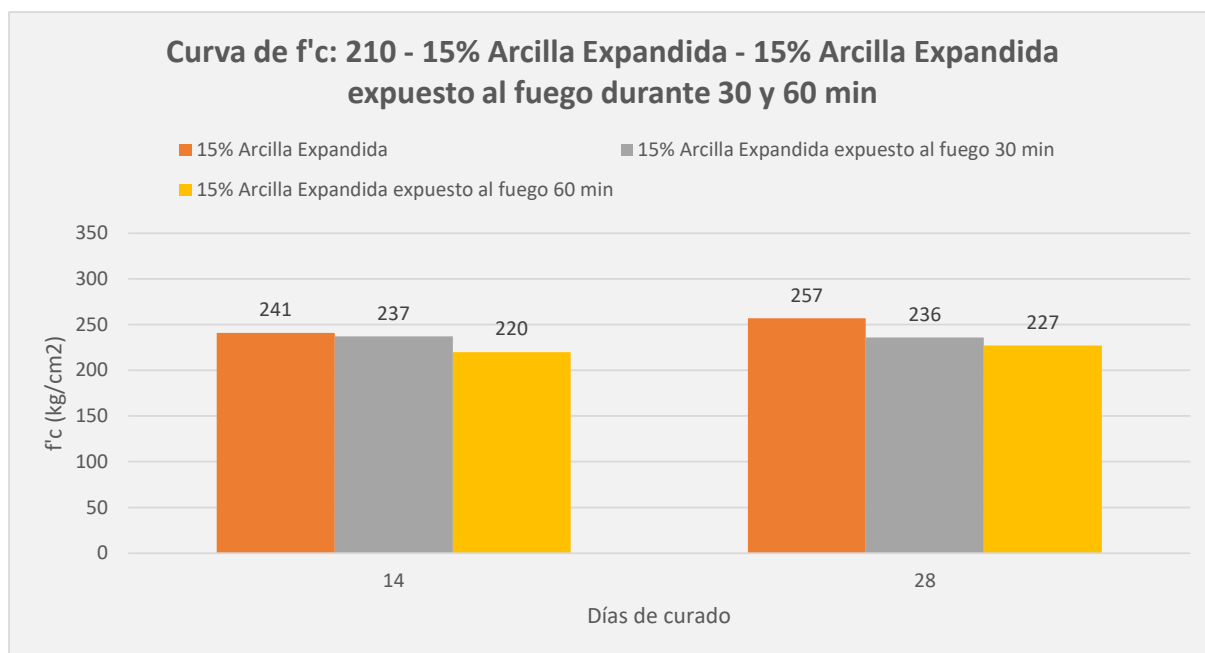
Día	f'c		
	15% Arcilla Expandida	15% A.E (30 min)	15% A.E (60 min)
14	241	237	220
28	257	236	227

*Fuente: Propia*

**Tabla N°47:** Resultados en porcentajes

Día	%			Disminuye	
	15% Arcilla Expandida	15% A.E (30 min)	15% A.E (60 min)		
14	100%	98.34%	91.29%	1.66%	8.71%
28	100%	91.83%	88.33%	8.17%	11.67%

*Fuente: Propia*



**Figura N°51:** Curva de F'c 210 – Concreto con 15% A.E y Concreto con 15% A.E expuesto al fuego

En la figura N°51 se puede ver que el concreto con 15% A.E a los 14 días de curado disminuye de 241 kg/cm<sup>2</sup> a 237 kg/cm<sup>2</sup> después de haberse quemado en un tiempo de 30 min, lo que es un 1.66%. En cambio, a los 60 min de haber estado expuesto llega a 220 kg/cm<sup>2</sup> con una variación de 8.71%, donde se puede concluir que la resistencia a compresión no baja tanto como las anteriores. En cuanto al concreto con 15% A.E a

los 28 días tiene una variación de 8.17% y 11.67% debido a que las resistencias fueron de 236 kg/cm<sup>2</sup> y 227 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. La mayor resistencia en el concreto con 15% A.E fue de 271 kg/cm<sup>2</sup>, y los que fueron expuestos al fuego en los diferentes tiempos mencionados fueron de 241 kg/cm<sup>2</sup> y 238 kg/cm<sup>2</sup>.

*Comparación del Concreto con 20% A.E - Concreto con 20% A.E expuesto al fuego durante 30 y 60 min.*

**Tabla N°48:** Resistencia a compresión del Concreto con 20% A.E expuesto al fuego

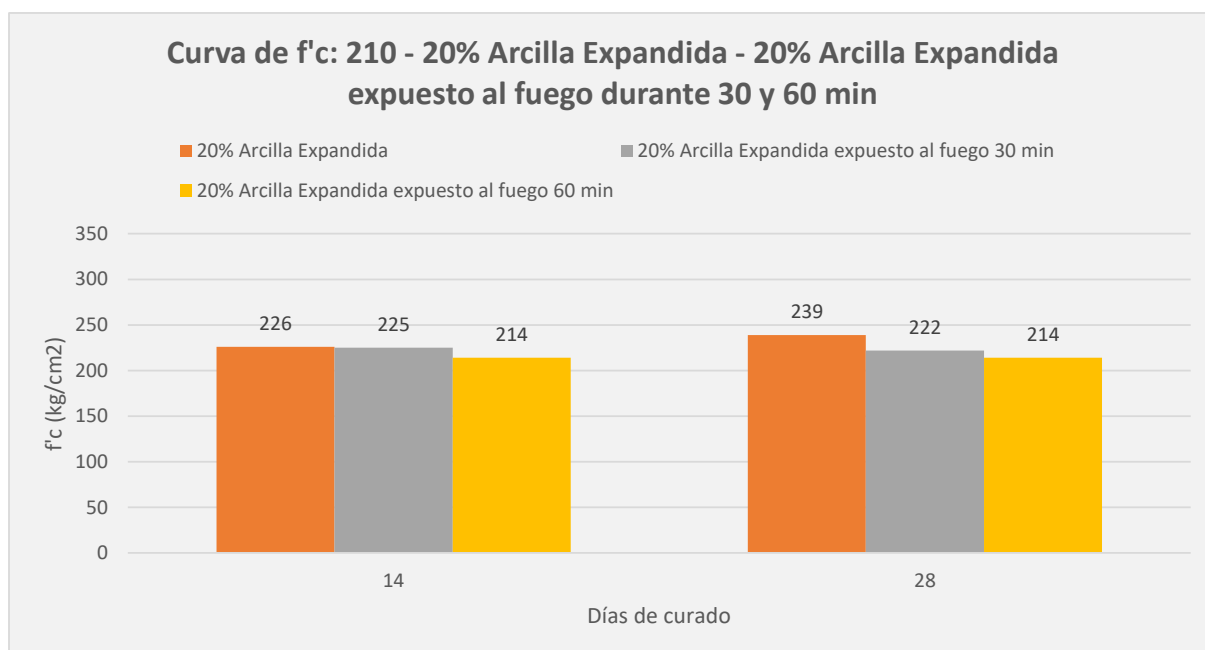
Día	f'c		
	20% Arcilla Expandida	20% A.E (30 min)	20% A.E (60 min)
14	226	225	214
28	239	222	214

*Fuente: Propia*

**Tabla N°49:** Resultados en porcentajes

Día	%			Disminuye	
	20% Arcilla Expandida	20% A.E (30 min)	20% A.E (60 min)		
14	100%	99.56%	94.69%	0.44%	5.31%
28	100%	92.89%	89.54%	7.11%	10.46%

*Fuente: Propia*



**Figura N°52:** Curva de F'c 210 – Concreto con 20% A.E y Concreto con 20% A.E expuesto al fuego

Como se puede observar en la Figura N°8, se tiene que el concreto con 20% A.E expuesto al fuego unos 30 min varían en un 0.44%, debido a que la resistencia que se obtiene es de 225 kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días, y a los 28 días se registra una disminución del 7.11% en la resistencia, con un valor final de 222 kg/cm<sup>2</sup>, bajo la misma exposición al fuego. Cuando a este concreto se le expone unos 60 min en el horno donde son quemadas nos da como resultados que a los 14 días y 28 días la resistencia es 214 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual nos damos cuenta de que al estar quemándose el concreto en ese tiempo la resistencia promedio se mantiene en los diferentes periodos de curado. La menor resistencia en este concreto con 20% fue de 202 kg/cm<sup>2</sup>, en cuanto a las expuestas al fuego fueron de 200 y 186 kg/cm<sup>2</sup> a los 14 y 28 días respectivamente, las cuales estuvieron una hora quemándose.

**Tabla N°50:** Comparación de resultados en % entre Concreto patrón expuesto al fuego – 10%, 15% y 20% A.E expuestos al fuego

Día	Disminuye							
	Concreto Patrón		10% A.E		15% A.E		20% A.E	
	30 min	60 min	30 min	60 min	30 min	60 min	30 min	60 min
14	12.50%	25.00%	5.20%	20.45%	1.66%	8.71%	0.44%	5.31%
28	14.60%	23.49%	9.49%	19.66%	8.17%	11.67%	7.11%	10.46%

*Fuente: Propia*

Anteriormente se obtuvieron los resultados de las pruebas de rotura de las probetas de concreto estándar y aquellas que contenían 10%, 15% y 20% de arcilla expandida, sustituyendo al agregado grueso, donde la incorporación de esta disminuye en un cierto porcentaje a los 14 y 28 días en comparación con el concreto patrón; sin embargo, su adición hace que el porcentaje de la caída de su capacidad mecánica al ser expuesto al fuego a los 30 y 60 min, disminuya respecto al no habersele incorporado, en un % considerable; en la Tabla N°43 se observa que el concreto patrón expuesto al fuego en ambos periodos de curado y de exposición al fuego tienen la mayor disminución con porcentajes de 12.50% y 25.00% a los 14 días, y 14.60% y 23.49% a los 28 días, en comparación a los concretos con diferentes porcentajes de este material la variación ha ido bajando por lo que se tiene que el concreto con 20% A.E es el que tiene menos cambios en su resistencia con valores de 0.44% y 5.31% a los 14 días, y 7.11% y 10.46% a los 28 días, lo que demuestra una mejoría en el concreto luego de haber estado en contacto con el fuego. Es importante señalar que todos los hallazgos del análisis de compresión, así como el panel fotográfico, se encuentran adjuntos en el **Anexo 16 y 17.**

### Fallas en ensayo de resistencia a compresión

Se llevaron a cabo ensayos de compresión en diversos testigos cilíndricos de concreto al incorporar arcilla expandida sustituyendo parte de la piedra chancada, dando lugar a la manifestación de distintos tipos de fallas.

#### *Ensayo a compresión a los 14 y 28 días*



**Figura 53:** Concreto Patrón –  
14 días

En los testigos ensayados a los 14 días de curado se presenta una falla tipo 5 con fractura en la parte inferior.



**Figura 54:** Concreto Patrón –  
28 días

En las muestras analizadas después de 28 días, se detectó un tipo de fallo categorizado como tipo 3, evidenciando fisuras verticales a lo largo de ambos extremos.



**Figura 55:** con 10% A.E –  
14 días

En el caso del concreto con un 10% de arcilla expandida, se observa una falla tipo 2, caracterizada por la presencia de conos bien definidos en uno de los extremos, acompañados de fisuras verticales a lo largo de los cabezales.



**Figura 56:** con 10% A.E –  
28 días

Después de 28 días, el resultado del ensayo muestra una falla tipo 3, evidenciada por la presencia de fisuras verticales que atraviesan ambos extremos de la muestra, junto con conos mal formados.



**Figura 57:** con 15% A.E –  
14 días

Con un 15% de A.E en el concreto, se tiene una falla tipo 3 con fisuras verticales.



**Figura 58:** con 15% A.E –  
28 días

Se observa que la muestra presenta una falla tipo 4, caracterizada por una fractura diagonal, sin la presencia de fisuras que atraviesen los extremos.



**Figura 59:** con 20% A.E –  
14 días

En este testigo se observa una falla tipo 3 donde se tiene fisuras verticales, conos mal formados.



**Figura 60:** con 20% A.E –  
28 días

El testigo exhibe una falla tipo 2, evidenciada por conos bien formados en uno de los extremos y fisuras verticales a través de los cabezales, mientras que el cono en el otro extremo no está bien definido.

Fallas en ensayo de resistencia a compresión del concreto expuesto al fuego

De igual manera a los testigos que fueron expuestos al fuego se les realizó el ensayo a compresión, donde se obtuvieron diferentes tipos de fallas como se puede visualizar a continuación:



**Tipo 2**



**Tipo 3**

**Figura 61:** Concreto Patrón  
– 14 días

**Figura 62:** Concreto Patrón  
– 28 días



**Tipo 3**



**Tipo 3**

**Figura 63:** con 10% A.E –  
14 días

**Figura 64:** con 10% A.E –  
28 días



Tipo 2

Figura 65: con 15% A.E –  
14 días



Tipo 3

Figura 66: con 15% A.E –  
28 días



Tipo 2

Figura 67: con 15% A.E –  
14 días



Tipo 3

Figura 68: con 15% A.E –  
28 días

### Anomalías en el concreto expuesto al fuego

En el concreto que tuvo contacto con el fuego se pudieron observar diferentes anomalías presentes en los testigos, tales como grietas, fisuraciones y cambios de color. A través de las siguientes imágenes se pueden observar estos efectos que causó el fuego en nuestras muestras:



**Figura 69 y 70:** Fisuras y grietas.



**Figura 71:** Cambio de color del concreto.

## Discusión

En esta sección se procede a contrastar los hallazgos alcanzados en el presente estudio con los resultados previamente documentados en tesis y artículos que constituyen el marco de referencia.

### Propiedades físicas de la Arcilla Expandida

**Tabla N°51:** Comparación de las propiedades físicas de la Arcilla Expandida (A.E)

Propiedades físicas	Mis datos	Investigación			
		[6]	[31]	[33]	[32]
Peso específico de masa (g/cm <sup>3</sup> )	2.17	1.03	NE	0.96	NE
Absorción (%)	22.80	12.70	NE	25.96	9.31
Contenido de humedad (%)	0.66	0.25	0.22	0.00	NE
Tamaño Máximo Nominal (mm)	19.05	NE	19.05	12.50	19.05

*Fuente: Propia*

Al comparar las propiedades físicas de la Arcilla Expandida de esta investigación con los antecedentes, se aprecia que se presenta variaciones debido al tipo de Arcilla Expandida que se han utilizado, ya que es un material que puede obtenerse de diferentes tamaños y características. Se observa en las investigaciones de S. Andrade [31] y S. Díaz [32] en el caso de tamaño máximo nominal es donde tienen el mismo que en esta investigación. En los resultados de S. Baquero [6] con respecto al porcentaje de humedad se visualiza que es similar al de S. Andrade [31] por lo que se podría decir que utilizaron una A.E muy similar, en cambio en esta investigación se tuvo valor de 0.66% de humedad, estos datos obtenidos nos dicen que este material es demasiado seco.

### Propiedades del concreto en estado fresco

**Tabla N°52:** Comparación del asentamiento (slump)

Propiedades del concreto en estado fresco - SLUMP	Mis datos (pulg)	Investigación		
		[6]	[31]	[32]
Concreto Patrón	4"	4"	4"	3.15"
Concreto 10% A.E	3.25"	-	3.5"	2.95"
Concreto 15% A.E	3"	-	2.75"	3.15"
Concreto 20% A.E	2.5"	-	1.5"	3.35"
-	-	-	-	3.15"
Notas:	[6]: 40% de A.E [31]: 1.5%, 5% y 10% de A.E	[32]: 5%, 10%, 20% y 30% de A.E		

*Fuente: Propia*

Se puede observar en la Tabla N°52 que en las diferentes investigaciones se usaron diferentes porcentajes de A.E, en la investigación de S. Díaz [32] donde reemplaza un 10% y 20% de A.E por el agregado grueso obtiene un asentamiento de 3.15” y 3.35” respectivamente y en esta evaluación fue de 3.25” y 2.5”. Por lo tanto, existe una disparidad, la cual se origina debido a que la absorción de su A.E fue del 9.31%.

Haciendo una comparación de la investigación de S. Andrade [31] con los resultados obtenidos en este análisis se deduce que al reemplazar mayor porcentaje de A.E por el agregado grueso resulta un menor slump, esto debido a que la A.E tiene un elevado % de absorción. Como se evidencia, el asentamiento registrado utilizando un 20% de A.E fue de 2.5”, en contraste con los resultados obtenidos en la referencia de S. Andrade [31], donde el asentamiento mínimo fue de 1.5” con un reemplazo del 10% de A.E por agregado grueso. Finalmente, en la investigación de S. Baquero [6] tuvo un slump de 4” al reemplazar un 40% de A.E, un asentamiento óptimo y adecuado para muchas aplicaciones de concreto.

**Tabla N°53:** Comparación de la Temperatura (C°)

Propiedades del concreto en estado fresco - Temperatura	Mis datos (°C)	Investigación
		[31]
Concreto Patrón	28.3	21.9
Concreto 10% A.E	28.1	21.4
Concreto 15% A.E	27.9	21.2
Concreto 20% A.E	27.3	22.6
Notas:	[31]: 1.5%, 5% y 10% de A.E	

*Fuente: Propia*

En esta tabla se contrastan los resultados con los de la investigación de S. Andrade [31], sugiriendo que a medida que se reemplaza un mayor porcentaje de agregado grueso por este material orgánico se obtiene una menor temperatura, en el antecedente al sustituir un 10% de A.E le da una temperatura de 22.6 °C y en nuestro análisis tenemos 28.1 °C, se puede concluir que la temperatura del concreto en su estado fresco se ve influenciada por diversos factores externos y las propiedades de los materiales empleados en su preparación. Estos incluyen la temperatura ambiente, la temperatura del agua, el tipo de cemento utilizado y la posible presencia de aditivos adicionales.

**Tabla N°54:** Comparación del peso unitario del concreto en estado fresco

Propiedades del concreto en estado fresco - Peso Unitario	Mis datos (kg/m <sup>3</sup> )	Investigación		
		[31]	[33]	[32]
Concreto Patrón	2276.87	2370	1589.74	2384.72
Concreto 10% A.E	2224.30	2220	-	2260.95
Concreto 15% A.E	2214.63	2050	-	2226.92
Concreto 20% A.E	2199.52	1880	-	2151.19
-	-	-	-	2061.13
Notas:	[31]: 1.5%, 5% y 10% de A.E [33]: 65% de A.E	[32]: 5%, 10%, 20% y 30% de A.E		

Fuente: Propia

En cuanto a los pesos unitarios, se observa que, tanto el análisis obtenido como con las investigaciones de S. Andrade [31], G. Quispe [33] y S. Díaz [32] conforme se va aumentando el porcentaje de A.E disminuye su peso unitario en estado fresco, esto se debe a que la presencia de este material orgánico en el concreto disminuye su peso debido a que la arcilla expandida posee una baja densidad y una estructura porosa. El peso unitario al reemplazar 10% de A.E en comparación con el antecedente de S. Díaz [32] se tiene resultados muy similares de 2224.3 kg/m<sup>3</sup> y 2226.92 kg/m<sup>3</sup> respectivamente.

### Resistencia a la compresión del concreto

En esta discusión se tendrá en cuenta las comparaciones de esta propiedad mecánica a los 14 y 28 días.

**Tabla N°55:** Comparación de la resistencia a compresión del concreto  $f'_c$  – 14 días

Resistencia a compresión del concreto $f'_c$ - 14 días	Mis datos (kg/cm <sup>2</sup> )	Investigación		
		[6]	[31]	[32]
Concreto Patrón	288	121.98	182.70	194.06
Concreto 10% A.E	269	-	158.98	195.28
Concreto 15% A.E	241	-	72.28	169.61
Concreto 20% A.E	226	-	73.42	169.63
-	-	-	-	151.12
Notas:	[6]: 40% de A.E [30]: 1.5%, 5% y 10% de A.E	[31]: 5%, 10%, 20% y 30% de A.E		

Fuente: Propia

En relación con la resistencia a la compresión, podemos observar que al añadir mayor porcentaje de A.E se obtiene menos resistencia, lo cual se debe a que este material posee burbujas de aire en su estructura porosa las cuales actúan como puntos de debilidad

dentro de la matriz de concreto, aun así, los resultados obtenidos son óptimos para el uso estructural. El porcentaje más alto fue de 269 kg/cm<sup>2</sup> con un reemplazo de 10% de A.E.

En el caso de la investigación de S. Andrade [31] al reemplazar un 10% obtiene un mejor resultado que al sustituir solo un 5%, en ese caso hubo un mínimo aumento de la resistencia, los porcentajes que se usaron en esta investigación fueron de 1.5%, 5% y 10% sustituyendo la piedra. Asimismo, la investigación S. Díaz [32] se visualiza que al suplir 5% de A.E le resulta un valor similar a su concreto patrón, cabe mencionar que reemplazaron en un 5%, 10%, 20% y 30% al agregado grueso por la A.E. Por último, en el resultado obtenido por S. Baquero [6] al reemplazar un 40% de A.E le dio un resultado de 121.98 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a compresión a los 14 días.

**Tabla N°56:** Comparación de la resistencia a compresión del concreto  $f'_c$  – 28 días

Resistencia a compresión del concreto (f'c)	Mis datos (kg/cm <sup>2</sup> )	Investigación			
		[6]	[31]	[33]	[32]
Concreto Patrón	315	136.94	230.93	330.59	234.95
Concreto 10% A.E	295	-	178.78	-	235.13
Concreto 15% A.E	257	-	96.44	-	224.02
Concreto 20% A.E	239	-	83.08	-	217.19
-	-	-	-	-	195.16
Notas:	[6]: 40% de A.E	[32]: 65% de A.E			
	[30]: 1.5%, 5% y 10% de A.E	[31]: 5%, 10%, 20% y 30% de A.E			

*Fuente: Propia*

Como resultados finales de resistencia a compresión a los 28 días, se obtuvo 295 kg/cm<sup>2</sup> siendo el dato más alto donde se reemplaza 10% de A.E, como se mencionó con anterioridad al sustituir mayor porcentaje de A.E los valores irán disminuyendo debido a las características de este material. En el estudio de S. Baquero [6] su resistencia solo alcanzó los 136.94 kg/cm<sup>2</sup> para un concreto de 17 MPa donde no cumplió con las expectativas de resistencia previamente esperadas por el autor. Por el contrario, en el análisis de G. Quispe [33] se tuvo un valor de 330.59 kg/cm<sup>2</sup> siendo el más alto que se tuvo entre los antecedentes. En las investigaciones de S. Andrade [31] y S. Díaz [32] de igual manera su resistencia va bajando conforme van sustituyendo mayor arcilla expandida por el agregado grueso, los porcentajes añadidos fueron del 1.5%, 5% y 10% y del 5%, 10%, 20% y 30% en el mismo orden.

## Resistencia a la compresión del concreto expuesto al fuego

En esta discusión se tendrá en cuenta las comparaciones de esta propiedad mecánica a los 14 y 28 días, después que el concreto estuvo expuesto al fuego.

**Tabla N°57:** Comparación de la resistencia a compresión del concreto expuesto al fuego f'c  
– 14 días

Resistencia a compresión del concreto expuesto al fuego (f'c)	Mis datos (kg/cm <sup>2</sup> )			Investigación		
	Inicial	Expuesto al fuego	Disminuye (%)	[3]		
				Inicial	Expuesto al fuego	Disminuye (%)
Concreto Patrón - 30 min	288	252	12.50%	172.85	78.50	54.58%
Concreto Patrón - 60 min		216	25.00%	199.43	87.04	56.36%
Concreto 10% A.E - 30 min	269	255	5.20%	223.41	110.40	50.58%
Concreto 10% A.E - 60 min		214	20.45%	-	-	-
Concreto 15% A.E - 30 min	241	237	1.66%	-	-	-
Concreto 15% A.E - 60 min		220	8.71%	-	-	-
Concreto 20% A.E - 30 min	226	225	0.44%	-	-	-
Concreto 20% A.E - 60 min		214	5.31%	-	-	-
Notas:	[3]: 210 kg/cm <sup>2</sup> , 245 kg/cm <sup>2</sup> y 280 kg/cm <sup>2</sup> ; 900°C					

*Fuente: Propia*

El concreto, tras ser sometido a altas temperaturas, suele experimentar una disminución en su resistencia a compresión. El propósito de esta investigación es determinar si al sustituir la arcilla expandida por el agregado grueso, se pueden mitigar estos efectos adversos, el concreto llega a obtener una pérdida mínima de su propiedad mecánica. Por lo que al analizar nuestros resultados podemos notar primero que se tiene una disminución de decrecimiento de su resistencia, y también que estos van a variar dependiendo el tiempo que estuvieron expuesto al fuego (30 min y 60 min). El mejor valor obtenido fue de 225 kg/cm<sup>2</sup> con un reemplazo de 20% de A.E donde se sometió a combustión elevada durante 30 min, la disminución observada en la resistencia a compresión fue mínima, alcanzando solo un 0.44%, a pesar de contar con un f'c inicial de 226 kg/cm<sup>2</sup>. No existe alguna investigación donde hayan sustituido la piedra por arcilla expandida y a la vez expuesto al fuego, pero en el caso del estudio de A. Roque [3] realizó concretos con diferentes f'c de 210 kg/cm<sup>2</sup>, 245 kg/cm<sup>2</sup> y 280 kg/cm<sup>2</sup>, las cuales fueron sometidas al fuego con una temperatura de 900°C en lapso de una hora donde sus resultados resistencia compresión promedio fueron de 78.5

kg/cm<sup>2</sup>, 87.04 kg/cm<sup>2</sup> y 110.4 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, , y su concreto de 223 kg/cm<sup>2</sup> bajó en un 50.58% más de la mitad de su propiedad mecánica a los 14 días.

**Tabla N°58:** Comparación de la resistencia a compresión del concreto expuesto al fuego f'c – 28 días

Resistencia a compresión del concreto expuesto al fuego (f'c)	Mis datos (kg/cm <sup>2</sup> )			Investigación					
	Inicial	Expuesto al fuego	Disminuye (%)	[3]			[1]		
				Inicial	Expuesto al fuego	Disminuye (%)	Inicial	Expuesto al fuego	Disminuye (%)
Concreto Patrón - 30 min	315	269	14.60%	221.81	101.35	54.31%	228	182.68	19.98%
Concreto Patrón - 60 min		241	23.49%	263.76	113.22	57.07%	-	-	-
Concreto 10% A.E - 30 min	295	267	9.49%	296.61	126.32	57.41%	-	-	-
Concreto 10% A.E - 60 min		237	19.66%	-	-	-	-	-	-
Concreto 15% A.E - 30 min	257	236	8.17%	-	-	-	-	-	-
Concreto 15% A.E - 60 min		227	11.67%	-	-	-	-	-	-
Concreto 20% A.E - 30 min	239	222	7.11%	-	-	-	-	-	-
Concreto 20% A.E - 60 min		214	10.46%	-	-	-	-	-	-
Notas:	[3]: 210 kg/cm <sup>2</sup> , 245 kg/cm <sup>2</sup> y 280 kg/cm <sup>2</sup> ; 900°C								
	[1]: 210 kg/cm <sup>2</sup>								

*Fuente: Propia*

Como resultados finales se obtuvo que al someter al fuego las muestras y posteriormente realizar el ensayo de resistencia a compresión se tuvo el valor de 222 kg/cm<sup>2</sup> al exponer a altas temperaturas un concreto con 20% de A.E el cual obtiene una disminución de 7.11%, en los datos se puede analizar conforme se va a reemplazando mayor porcentaje de piedra por arcilla expandida la reducción de su resistencia resulta menor, en cuanto al desarrollo investigativo de A. Roque [3] sus porcentaje son casi iguales con respecto a sus valores obtenidos luego de someter las probetas a la compresora, con valores de 54.31%, 57.07% y 57.41%, donde tuvo como f'c iniciales de 221.81 kg/cm<sup>2</sup>, 263.76 kg/cm<sup>2</sup> y 296.61 kg/cm<sup>2</sup> de forma respectiva. N. Hernández [1] en su artículo de investigación donde expuso sus probetas a unas temperaturas entre 287°C – 370°C durante el tiempo de 30 min pudo establecer que la resistencia a compresión de un elemento de concreto, diseñado para resistir 210 kg/cm<sup>2</sup>, se ve afectada en un 19.98% cuando se expone al fuego, lo que resulta en una reducción de su capacidad de carga.

## Conclusiones

- La preparación de las muestras, tanto el concreto patrón como aquellos con reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla expandida en los porcentajes del 10%, 15% y 20%, se realizó conforme a los estándares establecidos. Este proceso asegura la uniformidad y la integridad de los materiales empleados en la investigación, lo que es fundamental para obtener resultados precisos y fiables en la evaluación de la resistencia a compresión del concreto.
- La adición de arcilla expandida en lugar de parte del agregado grueso del concreto conlleva una reducción en su resistencia a la compresión del material sin exposición al fuego, la muestra patrón alcanzó un valor de 315 kg/cm<sup>2</sup> donde luego de sustituir la piedra en un 20% por Arcilla Expandida se tuvo una menor resistencia la cual fue de 239 kg/cm<sup>2</sup> disminuyendo en un 24.15% la resistencia del concreto patrón. Esta reducción se atribuye a la naturaleza más ligera de la arcilla expandida, lo que impacta en la densidad y, por ende, en la  $f'_c$  inicial del concreto.
- Sin embargo, cuando se somete al fuego durante períodos de 30 y 60 minutos, se observa una mejora significativa en la capacidad del concreto modificado con arcilla expandida para retener su resistencia estructural. Este efecto es más pronunciado en las muestras con un mayor porcentaje de arcilla expandida, demostrando que el concreto con un 20% de este material expuesto al fuego presenta las menores pérdidas de resistencia, con una resistencia inicial de 239 kg/cm<sup>2</sup> las disminuciones obtenidas fueron de 7.11% a los 30 minutos y del 10.46% a los 60 minutos, en contraste con el concreto estándar.
- Tras determinar el porcentaje de porosidad de los agregados, clave para la resistencia del concreto ante el fuego, se concluye que la alta porosidad evidenciada por un 0.98% en la arena la hace susceptible a la degradación térmica, mientras que el porcentaje moderado de 0.89% en la piedra chancada indica una menor vulnerabilidad. Estos resultados subrayan la importancia de seleccionar agregados con porosidad adecuada para asegurar la integridad y longevidad del concreto cuando está expuesto a condiciones de fuego.

## Recomendaciones

- Sería recomendable realizar investigaciones adicionales para explorar los impactos de la inclusión de diferentes aditivos o compuestos en la resistencia a la compresión del concreto ante el fuego. Esto permitiría ampliar las alternativas disponibles para mejorar la resistencia térmica de las estructuras de concreto.
- Ajustar la proporción de arcilla expandida en la mezcla de concreto para obtener un equilibrio entre la reducción de peso y la resistencia al fuego. Esto podría implicar realizar pruebas adicionales con diferentes porcentajes de arcilla expandida para determinar la mezcla óptima que maximice la resistencia al fuego sin comprometer significativamente la resistencia mecánica del concreto.
- Es recomendable realizar ensayos a escala real en estructuras de concreto con arcilla expandida incorporada, sometidas a condiciones simuladas de incendio, para validar los resultados obtenidos en el laboratorio y evaluar su aplicabilidad en situaciones prácticas.
- Realizar análisis estructurales detallados para evaluar el comportamiento del concreto con arcilla expandida frente a cargas térmicas y diseñar estructuras con medidas adicionales de protección contra incendios, como revestimientos intumescentes o sistemas de rociadores automáticos, para mitigar los efectos del fuego.
- Se sugiere promover la divulgación y el intercambio de conocimientos sobre los beneficios y las limitaciones del uso de arcilla expandida en la mejora de la resistencia al fuego de las estructuras de concreto, mediante la organización de seminarios, conferencias o publicaciones técnicas dirigidas a profesionales del sector de la construcción.

## Referencias

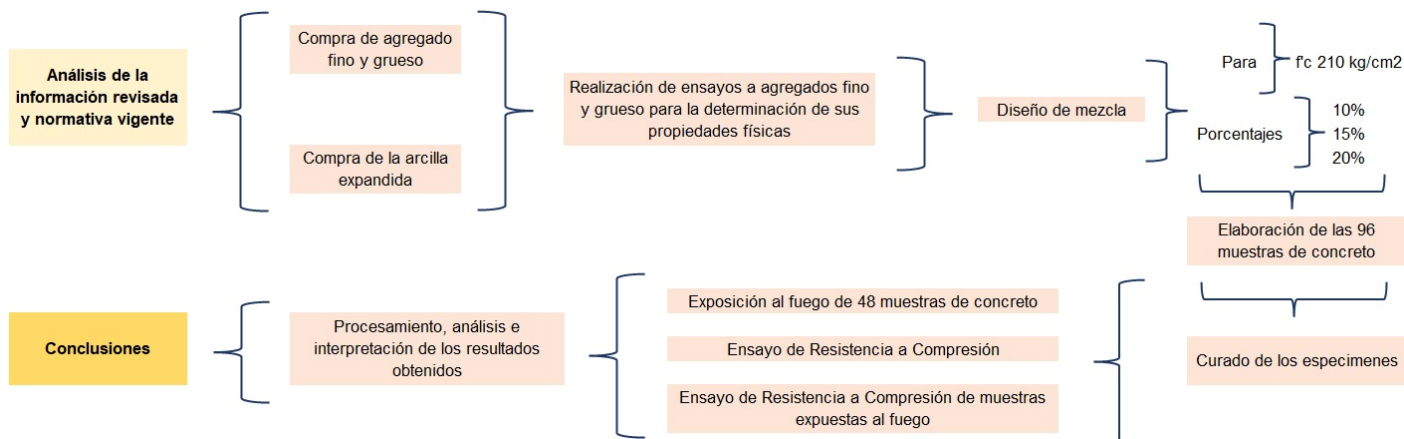
- [1] N. Hernández, “Efecto del fuego sobre la resistencia a compresión de un elemento de concreto de resistencia de diseño de 210 kg /cm<sup>2</sup>,” *redalyc.org*, vol. 17, pp. 38–43.
- [2] W. Silva, “CONSTRUCCIONES QUE SOBREVIVEN AL FUEGO,” pucp.edu. Accessed: May 14, 2023. [Online]. Available: <https://puntoedu.pucp.edu.pe/noticia/construcciones-sobreviven-fuego/>
- [3] A. Roque, “Propiedades mecánicas del concreto de mediana resistencia sometido a altas temperaturas del fuego, Lima - 2019 ,” Universidad Cesar Vallejo, Lima, 2020.
- [4] “EFECTOS DEL FUEGO SOBRE EL CONCRETO,” 360 en concreto. Accessed: May 09, 2023. [Online]. Available: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/efectos-del-fuego-sobre-el-concreto-2/>
- [5] F. Quarta, “Arcilla expandida para hacer concreto,” blogger.com. Accessed: May 14, 2023. [Online]. Available: <https://arci53.blogspot.com/2011/05/arcilla-expandida-para-hacer-concreto.html>
- [6] B. Baquero, “Estudio exploratorio de arcilla expandida y piedra pómez como agregados en la producción de concretos ligeros,” *redalyc.org*, vol. 37, p. 2, 2019.
- [7] I. Ferreira, “Elaboración y Evaluación de Placas Prefabricadas de Concreto Aligerado Con Arcilla Expandida para Uso Como Coberturas de Estructuras Pecuarías,” *redalyc.org*, vol. 63, pp. 5651–5660.
- [8] W. Lee, “Forensic engineering of fire damaged concrete structures– a review ,” *Sustainable Civil and Construction Engineering Conference*, 2019.
- [9] P. Piloto, “TEMPERATURE ASSESSMENT ON FIRE RESISTANCE EXPERIMENTS OF PARTIALLY ENCASED BEAMS,” *Int. J. of Safety and Security Eng.*, vol. 3, pp. 220–230.
- [10] M. Shallal, “TESTS OF RESIDUAL SHEAR TRANSFER STRENGTH OF CONCRETE EXPOSED TO FIRE,” *Sciendo*, vol. 64, 2018.
- [11] G. Shyamala, V. Mahesh, and K. Rajesh, “Thermal behavior of Concrete subjected to elevated temperature: Case Studies,” *Materials Science and Engineering*, 2020.
- [12] N. Ilyin, K. Nadezhda, and Z. Vasily, “Pipe-concrete columns of buildings and their fire-resistance determination,” *Theoretical Foundation of Civil Engineering*, vol. 196, 2018.
- [13] E. Rivva, *Naturaleza y Materiales del Concreto*, Angel Gomez. Lima.
- [14] A. Torre, *CURSO BASICO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO* .
- [15] NTP 400.012, “Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global,” 2021.

- [16] NTP 339.185, “Método Contenido de Humedad Total evaporable de Agregados por Secado,” *Comisión de Normalización de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias*, 2021.
- [17] NTP 400.017, “Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado,” *Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales*, 2020.
- [18] NTP 400.022, “Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino,” *Comisión de Normalización de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias*, 2021.
- [19] NTP 400.021, “Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso,” *Comisión de Reglamentos Técnicos y comerciales*, 2021.
- [20] “Arcilla expandida,” Agriplant S.R.L. Accessed: Jul. 16, 2023. [Online]. Available: <https://agriplant.com.pe/pdf/arcilla-expandida.pdf>
- [21] “ARCILLA EXPANDIDA, MORTEROS Y HORMIGONES LIGEROS,” *Laterlite*, 2018, Accessed: Jul. 19, 2023. [Online]. Available: <https://bit.ly/4bSBpWq>
- [22] “Arcilla Expandida,” IPIAC NERY. Accessed: Aug. 21, 2023. [Online]. Available: [http://www.ipiac.com/pdf/Arcilla%20Expandida\\_espanhol.pdf](http://www.ipiac.com/pdf/Arcilla%20Expandida_espanhol.pdf)
- [23] L. Pacheco, “PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO,” UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI, Moquegua, 2017. Accessed: Aug. 08, 2023. [Online]. Available: [https://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12819/226/Luis\\_TrabajoDeSuficienciaProfesional\\_titulo\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12819/226/Luis_TrabajoDeSuficienciaProfesional_titulo_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [24] NTP 339.035, “Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams,” *Comisión de Reglamentos técnicos y comerciales*, 2022.
- [25] NTP 339.184, “Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de hormigón (concreto),” 2021.
- [26] NTP 339.046, “Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto),” 2021.
- [27] F. Castillo, *Tecnología del concreto*. Lima, Perú, 2019.
- [28] NTP 339.034, “Método de ensayo normalizado para determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas,” *Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales*, 2021.
- [29] ASTM E119, “Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials ”.

- [30] NTP 339.033, “ PRÁCTICA NORMALIZADA PARA LA ELABORACIÓN Y CURADO DEESPECÍMENES DE CONCRETO EN CAMPO ,” 2018.
- [31] S. Andrade and J. Becerra, “Adición de arcilla expandida y aserrín en las propiedades físico-mecánicas del concreto para viviendas en Trujillo, La Libertad, 2022.,” Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, 2022.
- [32] S. Diaz, “DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO,” Universidad Tecnica de Ambato, Ambato, 2017.
- [33] G. Quispe and J. Vera, “EVALUACIÓN DEL CONCRETO CON ARCILLA EXPANDIDA COMO AGREGADO GRUESO PARA UTILIZARSE EN CONCRETO ESTRUCTURAL LIVIANO,” Universidad de San Martín de Porres, Lima, 2018.

## Anexos

### Anexo 1: Diagrama de flujo



### Anexo 2: Matriz de consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES																								
	<b>Objetivo General</b>		<b>Variable Independiente:</b> La incorporación de arcilla expandida																								
	Determinar el efecto del fuego sobre la resistencia a compresión del concreto con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ reemplazando parcialmente los agregados gruesos por arcilla expandida en un 10, 15 y 20%, con el fin de evaluar y comprender cómo este material afecta la capacidad del concreto para resistir altas temperaturas durante 30 y 60 min.		<b>Variable Dependiente:</b> Resistencia a compresión del concreto expuesto al fuego																								
	<b>Objetivo Específicos</b>																										
¿Cómo afecta la incorporación de arcilla expandida en la resistencia a compresión del concreto expuesto al fuego?	Elaborar probetas de concreto patrón y concreto reemplazando parcialmente los agregados gruesos con arcilla expandida con porcentajes 10, 15 y 20%, con $f'c = 210$ .	La incorporación de arcilla expandida aumenta la resistencia a compresión del concreto expuesto al fuego.	<table border="1"> <tr><td>Granulometría</td><td>NTP 400.012</td></tr> <tr><td>Contenido de humedad</td><td>NTP 339.185</td></tr> <tr><td>Peso unitario suelto</td><td>NTP 400.017</td></tr> <tr><td>Peso unitario compactado</td><td>NTP 400.017</td></tr> <tr><td>Ensayos físicos y mecánicos</td><td>Peso específico NTP 400.022</td></tr> <tr><td></td><td>Grado de Absorción NTP 400.022</td></tr> <tr><td></td><td>Trabajabilidad NTP 339.035</td></tr> <tr><td></td><td>Peso Unitario NTP 339.046</td></tr> <tr><td></td><td>Temperatura NTP 339.184</td></tr> <tr><td></td><td>Ensayo de resistencia a la NTP 339.034</td></tr> <tr><td>Exposición al fuego</td><td>Temperatura de exposición al fuego ACI 216.1-07/ ASTM E 119</td></tr> <tr><td></td><td>Tiempo de exposición al fuego ACI 216.1-07/ ASTM E 119</td></tr> </table>	Granulometría	NTP 400.012	Contenido de humedad	NTP 339.185	Peso unitario suelto	NTP 400.017	Peso unitario compactado	NTP 400.017	Ensayos físicos y mecánicos	Peso específico NTP 400.022		Grado de Absorción NTP 400.022		Trabajabilidad NTP 339.035		Peso Unitario NTP 339.046		Temperatura NTP 339.184		Ensayo de resistencia a la NTP 339.034	Exposición al fuego	Temperatura de exposición al fuego ACI 216.1-07/ ASTM E 119		Tiempo de exposición al fuego ACI 216.1-07/ ASTM E 119
Granulometría	NTP 400.012																										
Contenido de humedad	NTP 339.185																										
Peso unitario suelto	NTP 400.017																										
Peso unitario compactado	NTP 400.017																										
Ensayos físicos y mecánicos	Peso específico NTP 400.022																										
	Grado de Absorción NTP 400.022																										
	Trabajabilidad NTP 339.035																										
	Peso Unitario NTP 339.046																										
	Temperatura NTP 339.184																										
	Ensayo de resistencia a la NTP 339.034																										
Exposición al fuego	Temperatura de exposición al fuego ACI 216.1-07/ ASTM E 119																										
	Tiempo de exposición al fuego ACI 216.1-07/ ASTM E 119																										
	Evaluar la resistencia a compresión del concreto patrón y concreto reemplazando parcialmente con arcilla expandida con porcentajes 10, 15 y 20%, a los 14 y 28 días.																										
	Analizar los resultados obtenidos y evaluar el desempeño del concreto con arcilla expandida en términos de su resistencia a compresión después de haber estado expuesto al fuego.																										
	Determinar el porcentaje de porosidad de los agregados debido a que influye en la resistencia al concreto expuesto al fuego.																										
	Proponer recomendaciones para mejorar la resistencia al fuego de las estructuras de concreto mediante el uso de arcilla expandida.																										

**Anexo 3: Validación de ensayos de laboratorio**

**UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL**  
**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIENTOS**

INFORME N° LEM USAT 012-2024-I

FECHA: 17 de Mayo 2024

## VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

**ESTUDIANTE:** Frank Stephano Díaz Baldera

**TITULO DE LA TESIS:** Evaluación de la resistencia a compresión del concreto con arcilla expandida expuesto al fuego

El que suscribe, responsable del laboratorio de Ingeniería Civil Ambiental, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizados por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:

- Contenido de humedad
- Granulometría
- Peso volumétrico
- Peso específico
- Resistencia a compresión

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto



TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneyra Oblitas  
 Responsable de Lab Ing. Civil Ambiental



### Anexo 4: Ensayo Granulometría del Agregado Fino



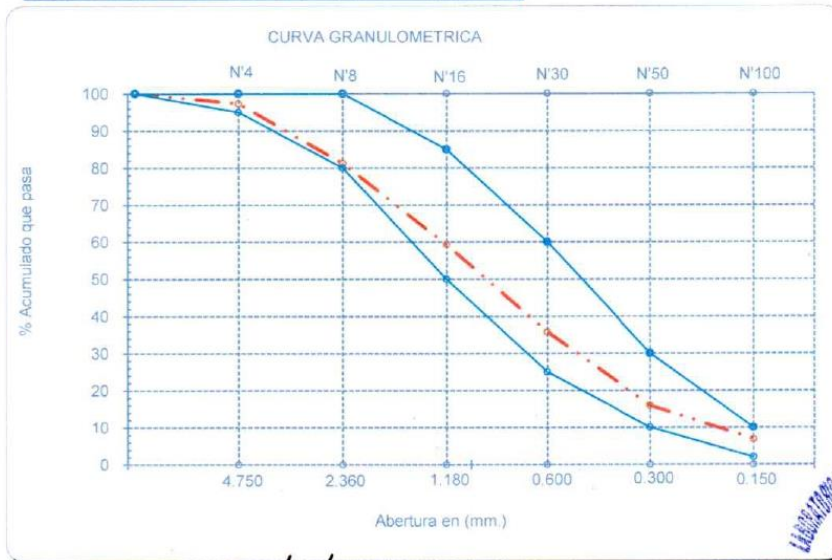
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



**Tesista** : Díaz Baldera Frank Stephano  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de la resistencia a compresión del concreto con arcilla expuesta al fuego  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 2023

Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino  
 Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

<b>Cantera</b>	: Arena Amarilla - Cantera La Victoria-Pátapo.	<b>P. Inicial H.</b>	508.51	<b>% de Humedad</b>	= 1.71	<b>Módulo de Fineza:</b>	
		<b>P. Inicial S.</b>	499.97			3.04	
Malla		Peso Ret.	(%) Ret.	(%) Acum. Ret.	(%) Acum. Que Pasa	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)						
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
Nº 04	4.750	13.51	2.7	2.7	97.3	95	100
Nº 08	2.360	80.4	16.1	18.8	81.2	80	100
Nº 16	1.180	109.58	21.9	40.7	59.3	50	85
Nº 30	0.600	117.83	23.6	64.3	35.7	25	60
Nº 50	0.300	99.21	19.8	84.1	15.9	10	30
Nº 100	0.150	45.4	9.1	93.2	6.8	2	10
Fondo		32.06	6.4	99.6	0.4		
Módulo de Fineza				3.038			
Abertura de malla de referencia				9.500			



*Henry Rivadeneira Oblitas*  
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES  
**USAT**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

### Anexo 5: Ensayo de Granulometría del Agregado Grueso



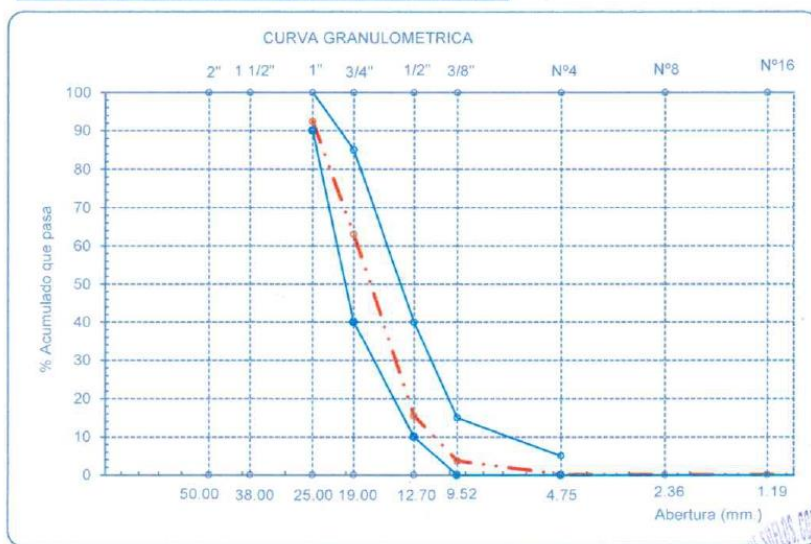
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERILES



**Tesista** : Díaz Baldera Frank Stephano  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de la resistencia a compresión del concreto con arcilla expandida expuesto al fuego  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 2023  
**Ensayo** : Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso  
**Referencia** : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

**Cantera** : Piedra Chancada - Cantera La Victoria-Pát **P. Inicial H.** 2000.32 **% de Humedad =** 0.43  
**P. Inicial S.** 1991.84

Malla		Peso	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.	Especificaciones	
Pulg.	(mm.)	Ret.	Ret.	Ret.	Que Pasa	USO 89	
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.00	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	151.09	7.6	7.6	92.4	90.0	100.0
3/4"	19.00	585.86	29.4	37.0	63.0	40.0	85.0
1/2"	12.70	945.46	47.5	84.5	15.5	10.0	40.0
3/8"	9.52	237.17	11.9	96.4	3.6	0.0	15.0
Nº 04	4.75	70.21	3.5	99.9	0.1	0.0	5.0
Nº 08	2.36	0.00	0.0	99.9	0.1	0.0	0.0
Nº 16	1.19	0.00	0.0	99.9	0.1	0.0	0.0
Fondo		2.05	0.1	100.0	0.0		
Tamaño Maximo			1"	25.00			
Tamaño Maximo Nominal			3/4"	19.00			



*Henry Rivadeneyra Oblitas*  
 Henry Rivadeneyra Oblitas  
 Tec. Laboratorio USAT  
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

USAT  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERILES  
 DIRECTOR DE LABORATORIO

## Anexo 6: Ensayo del Peso específico y Grado de Absorción del agregado fino y grueso



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



**Tesista** : Díaz Baldera Frank Stephano  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de la resistencia a compresión del concreto con arcilla expandida expuesto al fuego

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 2023

**Ensayo** : Peso específico y Absorción del agregado fino

**Referencia** : Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

**Cantera** : Arena Amarilla - Cantera La Victoria-Pátapo.

### I.- Datos.

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso del Agua	(g)	<b>1002.7</b>	<b>1002.7</b>
2.- Pes Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	697.48	697.48
3.- Peso del Agua	(g)	305.2	305.2
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	692.61	692.61
5.- Peso del Frasco	(g)	<b>197.48</b>	<b>197.48</b>
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	<b>495</b>	<b>495</b>
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

### II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.542</b>
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm <sup>3</sup> )	2.567
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm <sup>3</sup> )	2.607
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	<b>0.98</b>

**Ensayo** : Peso específico y Absorción del agregado grueso

**Referencia** : Norma ASTM C-127 ó N.T.P. 400.021

**Cantera** : Piedra Chancada - Cantera La Victoria-Pátapo.

### I.- Datos.

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	<b>4720</b>	<b>4720</b>
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	<b>4762</b>	<b>4762</b>
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del canastilla	(g)	<b>3840</b>	<b>3840</b>
4.- Peso de la canastilla	(g)	<b>920</b>	<b>920</b>
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	2920	2920

### II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.562</b>
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm <sup>3</sup> )	2.585
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm <sup>3</sup> )	2.622
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	<b>0.89</b>

Henry Rivas Obliatas  
Tec. Laboratorio  
USAT  
Universidad Católica  
Santa Toribio de Mogrovejo



## Anexo 7: Contenido de Humedad, Peso unitario suelto y compactado del Agregado Fino



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



**Tesista** : Díaz Baldera Frank Stephano  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de la resistencia a compresión del concreto con arcilla expandida expuesto al fuego  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 2023

**Ensayo** : Peso unitario del agregado fino  
**Referencia** : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

**Canetra** : Arena Amarilla - Cantera La Victoria-Pátapo.

### 1.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>7990</b>	<b>8000</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		7990	8000
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00553	0.00553
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1444	1445
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>1420</b>	

### 2.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>9360</b>	<b>9330</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		9360	9330
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00553	0.00553
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1691	1686
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>1660</b>	

**Ensayo** : Contenido de humedad del agregado fino  
**Referencia** : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

### C.- CONTENIDO DE HUMEDAD

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>2000.05</b>	<b>2000.05</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>1966.48</b>	<b>1966.48</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0.0
D.- Contenido de humedad	(%)	1.7	1.7
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>1.71</b>	

Henry Rivas Obilias  
Tec. Laboratorio  
USAT

USAT  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES  
TECNICO DE LABORATORIO

**Anexo 8:** Contenido de Humedad, Peso unitario suelto y compactado del Agregado Grueso

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



**Tesista** : Díaz Baldera Frank Stephano  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de la resistencia a compresión del concreto con arcilla expuesta al fuego

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 2023

**Ensayo** : Peso unitario del agregado grueso  
**Referencia** : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Cantera : Piedra Chancada - Cantera La Victoria-Pátapo.

**A.- PESO UNITARIO SUELTO**

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>7830</b>	<b>7750</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		7830	7750
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00553	0.00553
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1415	1400
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>1402</b>	

**B.- PESO UNITARIO COMPACTADO**

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>8430</b>	<b>8440</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8430.0	8440.0
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00553	0.00553
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1523	1525
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>1518</b>	

**Ensayo** : Contenido de humedad del agregado grueso  
**Referencia** : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

**C.- CONTENIDO DE HUMEDAD**

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>4720.00</b>	<b>4720.00</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>4700.00</b>	<b>4700.00</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0.0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.4	0.4
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>0.43</b>	

Henry  
Obdelyra  
Oblitas  
Tec. Laboratorio  
USAT



## Anexo 9: Ensayo de Granulometría de la Arcilla Expandida



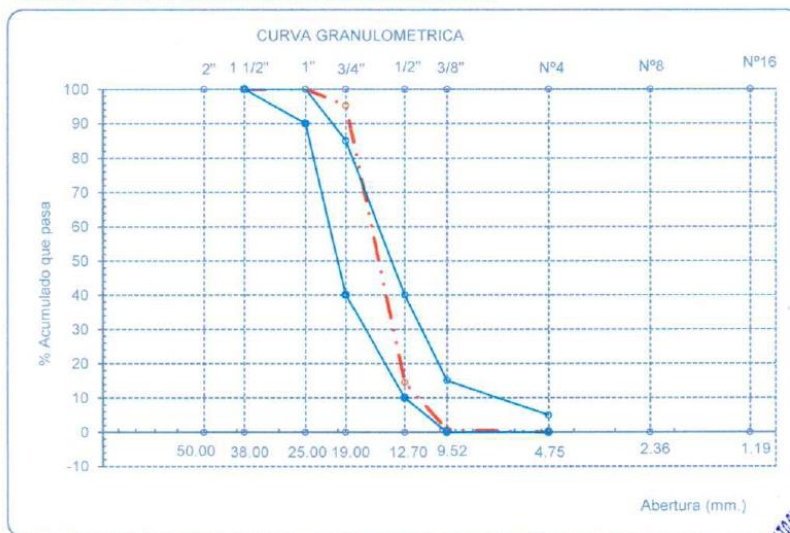
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERILES



**Tesista** : Díaz Baldera Frank Stephano  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de la resistencia a compresión del concreto con arcilla expandida expuesto al fuego  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 2023  
**Ensayo** : Análisis granulométrico por tamizado de la Arcilla Expandida  
**Referencia** : Norma ASTM C-136 6 N.T.P. 400.012

**Material** : Arcilla Expandida (ARGEX 8-16)

Malla		Peso Ret.	(% Ret.	(% Acum. Ret.	(% Acum. Que Pasa	Especificaciones	
Pulg.	(mm.)					USO 56	
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	90.0	100.0
3/4"	19.00	13.95	4.8	4.8	95.2	40.0	85.0
1/2"	12.70	234.36	80.7	85.6	14.4	10.0	40.0
3/8"	9.52	39.86	13.7	99.3	0.7	0.0	15.0
Nº 04	4.75	2.28	0.8	100.1	-0.1	0.0	5.0
Nº 08	2.36	0.0	0.0	100.1	-0.1	0.0	0.0
Nº 16	1.19	0.0	0.0	100.1	-0.1	0.0	0.0
Fondo		0.0	0.0	100.1	-0.1		
Tamaño Maximo			3/4"	19.00			
Tamaño Maximo Nominal			1/2"	12.70			



*Henry Ripadeneira Oblitas*  
Tec. Laboratorio  
USAT  
Universidad Católica  
Luz y Verdad en el Saber

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERILES  
USAT  
TÉCNICO DE LABORATORIO

## Anexo 10: Contenido de Humedad de la Arcilla Expandida



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



**Tesista** : Díaz Baldera Frank Stephano  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de la resistencia a compresión del concreto con arcilla expandida expuesto al fuego

**Lugar** : Dist. Chidayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chidayo, 2023

**Ensayo** : Contenido de humedad  
**Referencia** : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera = Arcilla Expandida (ARGEX 8-16)

I.- Datos		M1	M2
A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>370.94</b>	<b>370.94</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>369.01</b>	<b>369.01</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	78.6	78.62
D.- Contenido de humedad	(%)	0.66	0.66
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>0.66</b>	

  
Henry  
Rivaleneyra  
Obittas  
Tec. Laboratorio  
USAT




## Anexo 11: Ficha técnica de la Arcilla Expandida utilizada en la investigación

							
 <p><b>Argex</b> ARGILA EXPANDIDA</p> <p>Domicilio y Fábrica Zona Industrial de Bustos, Apt. 36 3770-904 Bustos Aveiro – Portugal Telf. +351 234 751 533 – Fax +351 234 751 534 e-mail: argex@argex.pt – www.argex.pt</p> <p><b>11</b> <b>0099/CPD/A60/0879</b></p>							
<b>UNE-EN 13055-1:2003 y UNE-EN 13055-1/AC:2004</b> <b>Áridos ligeros para hormigón, mortero e inyectado</b>							
REQUISITO	VALOR DECLARADO					UNIDADES	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO
	Argex 0-2	Argex 2-4	Argex 3-8F	Argex 3-8	Argex 8-16		
Forma de las partículas	Aproximadamente redondas					-	-
Tamaño de las partículas	$\frac{0,25}{5,6}$	$\frac{4,0}{8,0}$	$\frac{6,3}{12,5}$	$\frac{8,0}{12,5}$	$\frac{8,0}{20,0}$	d/D (mm)	EN 933-1
Densidad aparente	367	358	300	287	217	(kg/m <sup>3</sup> )	EN 1097-3
% de partículas machacadas	N/A	N/A	5	7	12	% masa	EN 933-5
Resistencia a la fragmentación	5,1	4,8	2,1	1,8	1,2	MPa	EN 13055-1 (Anexo A)
Cloruros	<0,005					%Cl <sup>-</sup>	EN 1744-1
Sulfatos solubles en ácido	<0,09					%SO <sub>3</sub>	EN 1744-1
Azufre total	<0,27					%S	EN 1744-1
Limpieza	Más claro que la solución patrón (sin presencia de humus)					-	EN 1744-1
Absorción de agua	<30	26,2	24,9	22,7	22,8	(% masa) (±10%)	EN 1097-6:2000 (Anexo C)
Estabilidad en volumen	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	(% masa)	EN 13055-1 (Anexo B)
Durabilidad frente al hielo y deshielo	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	(% masa)	EN 13055-1 (Anexo C)
Conductividad térmica	0,14	0,11	0,11	0,11	0,10	(W/m°C)	EN 12667
Resistencia al fuego	Euro clase A1 (Incombustible)					-	96/60/EC

**Anexo 12: Ensayo de Asentamiento**

**Anexo 12.1:** Slump 4" –  
Concreto patrón



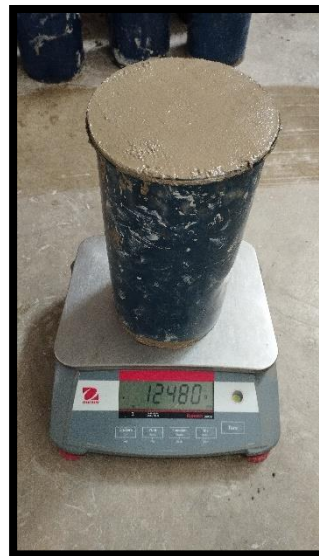
**Anexo 12.2:** Slump 3.25" –  
10% Arcilla Expandida



**Anexo 12.3:** Slump 3" –  
15% Arcilla Expandida



**Anexo 12.4:** Slump 2.5" –  
20% Arcilla Expandida

**Anexo 13: Ensayo del Peso Unitario al Concreto Fresco****Anexo 13.1: Concreto Patrón****Anexo 13.2: Concreto 10%  
Arcilla Expandida****Anexo 13.3: Concreto 15%  
Arcilla Expandida****Anexo 13.4: Concreto %  
Arcilla Expandida**

**Anexo 14: Ensayo de Temperatura del Concreto****Anexo 14.1:** Concreto Patrón**Anexo 14.2:** Concreto 10%  
Arcilla Expandida**Anexo 14.3:** Concreto 15%  
Arcilla Expandida**Anexo 14.4:** Concreto 20%  
Arcilla Expandida

**Anexo 15: Tiempo y temperatura de exposición al fuego****Anexo 15.1 y 15.2: Tiempos de exposición al fuego****Anexo 15.3, 15.4 y 15.5: Temperaturas de exposición al fuego**

## Anexo 16: Resultados de Ensayo de Resistencia a la Compresión



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Díaz Baldera Frank Stephano  
Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Evaluación de la resistencia a compresión del concreto con arcilla expandida expuesto al fuego

Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.  
Fecha de emisión : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

Código : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/C39M - 05  
Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas

Muestra Nº	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Días	f <sub>c</sub> kg/cm <sup>2</sup>	f <sub>c</sub> promedio kg/cm <sup>2</sup>
01	CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	15/09/2023	29/09/2023	14	304	288
02	CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	15/09/2023	29/09/2023	14	276	
03	CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	15/09/2023	29/09/2023	14	283	
04	CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	15/09/2023	29/09/2023	14	285	
05	CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	15/09/2023	29/09/2023	14	298	
06	CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	15/09/2023	29/09/2023	14	282	
07	CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	15/09/2023	13/10/2023	28	334	315
08	CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	15/09/2023	13/10/2023	28	291	
09	CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	15/09/2023	13/10/2023	28	312	
10	CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	15/09/2023	13/10/2023	28	313	
11	CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	15/09/2023	13/10/2023	28	328	
12	CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup>	15/09/2023	13/10/2023	28	312	
13	CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup> expuesto al fuego 30 min	20/09/2023	4/10/2023	14	234	252
14	CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup> expuesto al fuego 30 min	20/09/2023	4/10/2023	14	247	
15	CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup> expuesto al fuego 30 min	20/09/2023	4/10/2023	14	274	
16	CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup> expuesto al fuego 60 min	20/09/2023	4/10/2023	14	213	216
17	CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup> expuesto al fuego 60 min	20/09/2023	4/10/2023	14	216	
18	CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup> expuesto al fuego 60 min	20/09/2023	4/10/2023	14	217	
19	CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup> expuesto al fuego 30 min	21/09/2023	19/10/2023	28	259	269
20	CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup> expuesto al fuego 30 min	21/09/2023	19/10/2023	28	280	
21	CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup> expuesto al fuego 30 min	21/09/2023	19/10/2023	28	268	
22	CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup> expuesto al fuego 60 min	21/09/2023	19/10/2023	28	250	241
23	CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup> expuesto al fuego 60 min	21/09/2023	19/10/2023	28	258	
24	CONCRETO PATRON 210 kg/cm <sup>2</sup> expuesto al fuego 60 min	21/09/2023	19/10/2023	28	215	
25	CONCRETO CON 10% ARCILLA EXPANDIDA	19/09/2023	3/10/2023	14	269	269
26	CONCRETO CON 10% ARCILLA EXPANDIDA	19/09/2023	3/10/2023	14	268	
27	CONCRETO CON 10% ARCILLA EXPANDIDA	19/09/2023	3/10/2023	14	261	
28	CONCRETO CON 10% ARCILLA EXPANDIDA	19/09/2023	3/10/2023	14	280	
29	CONCRETO CON 10% ARCILLA EXPANDIDA	19/09/2023	3/10/2023	14	261	
30	CONCRETO CON 10% ARCILLA EXPANDIDA	19/09/2023	3/10/2023	14	274	

### OBSERVACIONES

- Muestreo realizados por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.

 Henry Rivadeneira Oblitas  
Tec. Laboratorio USAT  


  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES  
USAT  
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Díaz Balderra Frank Stephano  
Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Evaluación de la resistencia a compresión del concreto con arcilla expandida expuesto al fuego

Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.  
Fecha de emisión : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

Código : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05

Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Días	f <sub>c</sub> kg/cm <sup>2</sup>	f <sub>c</sub> promedio kg/cm <sup>2</sup>
01	CONCRETO CON 10% ARCILLA EXPANDIDA	19/09/2023	17/10/2023	28	308	295
02	CONCRETO CON 10% ARCILLA EXPANDIDA	19/09/2023	17/10/2023	28	294	
03	CONCRETO CON 10% ARCILLA EXPANDIDA	19/09/2023	17/10/2023	28	296	
04	CONCRETO CON 10% ARCILLA EXPANDIDA	19/09/2023	17/10/2023	28	291	
05	CONCRETO CON 10% ARCILLA EXPANDIDA	19/09/2023	17/10/2023	28	283	
06	CONCRETO CON 10% ARCILLA EXPANDIDA	19/09/2023	17/10/2023	28	295	
07	CONCRETO CON 10% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 30 min	20/09/2023	4/10/2023	14	261	255
08	CONCRETO CON 10% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 30 min	20/09/2023	4/10/2023	14	253	
09	CONCRETO CON 10% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 30 min	20/09/2023	4/10/2023	14	251	
10	CONCRETO CON 10% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 60 min	20/09/2023	4/10/2023	14	211	214
11	CONCRETO CON 10% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 60 min	20/09/2023	4/10/2023	14	220	
12	CONCRETO CON 10% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 60 min	20/09/2023	4/10/2023	14	211	
13	CONCRETO CON 10% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 30 min	21/09/2023	19/10/2023	28	266	267
14	CONCRETO CON 10% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 30 min	21/09/2023	19/10/2023	28	247	
15	CONCRETO CON 10% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 30 min	21/09/2023	19/10/2023	28	287	
16	CONCRETO CON 10% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 60 min	21/09/2023	19/10/2023	28	198	237
17	CONCRETO CON 10% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 60 min	21/09/2023	19/10/2023	28	249	
18	CONCRETO CON 10% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 60 min	21/09/2023	19/10/2023	28	265	
19	CONCRETO CON 15% ARCILLA EXPANDIDA	25/09/2023	9/10/2023	14	236	241
20	CONCRETO CON 15% ARCILLA EXPANDIDA	25/09/2023	9/10/2023	14	240	
21	CONCRETO CON 15% ARCILLA EXPANDIDA	25/09/2023	9/10/2023	14	237	
22	CONCRETO CON 15% ARCILLA EXPANDIDA	25/09/2023	9/10/2023	14	245	
23	CONCRETO CON 15% ARCILLA EXPANDIDA	25/09/2023	9/10/2023	14	252	
24	CONCRETO CON 15% ARCILLA EXPANDIDA	25/09/2023	9/10/2023	14	237	
25	CONCRETO CON 15% ARCILLA EXPANDIDA	25/09/2023	23/10/2023	28	259	257
26	CONCRETO CON 15% ARCILLA EXPANDIDA	25/09/2023	23/10/2023	28	271	
27	CONCRETO CON 15% ARCILLA EXPANDIDA	25/09/2023	23/10/2023	28	232	
28	CONCRETO CON 15% ARCILLA EXPANDIDA	25/09/2023	23/10/2023	28	264	
29	CONCRETO CON 15% ARCILLA EXPANDIDA	25/09/2023	23/10/2023	28	257	
30	CONCRETO CON 15% ARCILLA EXPANDIDA	25/09/2023	23/10/2023	28	280	

**OBSERVACIONES:**

- Muestreo realizados por el laboratorio
- El presente documento, no debe ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.

Henry Rivadeneira Oblitas  
Téc. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MUGROVEJO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Díaz Baldera Frank Staphano  
 Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
 Tesis : Evaluación de la resistencia a compresión del concreto con arcilla expandida expuesto al fuego

Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque  
 Fecha de emisión : Chiclayo, 27 de Octubre del 2023

Código : N.T.P. 330.034 - 2008 / ASTM C-39/36M - 05  
 Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas

Muestra Nº	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Días	f <sub>c</sub> kg/cm <sup>2</sup>	f <sub>c</sub> promedio kg/cm <sup>2</sup>
01	CONCRETO CON 15% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 30 min	27/09/2023	11/10/2023	14	236	237
02	CONCRETO CON 15% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 30 min	27/09/2023	11/10/2023	14	241	
03	CONCRETO CON 15% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 30 min	27/09/2023	11/10/2023	14	235	
04	CONCRETO CON 15% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 60 min	27/09/2023	11/10/2023	14	222	220
05	CONCRETO CON 15% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 60 min	27/09/2023	11/10/2023	14	224	
06	CONCRETO CON 15% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 60 min	27/09/2023	11/10/2023	14	216	
07	CONCRETO CON 15% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 30 min	28/09/2023	26/10/2023	28	235	236
08	CONCRETO CON 15% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 30 min	28/09/2023	26/10/2023	28	238	
09	CONCRETO CON 15% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 30 min	28/09/2023	26/10/2023	28	235	
10	CONCRETO CON 15% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 60 min	28/09/2023	26/10/2023	28	223	227
11	CONCRETO CON 15% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 60 min	28/09/2023	26/10/2023	28	232	
12	CONCRETO CON 15% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 60 min	28/09/2023	26/10/2023	28	227	
13	CONCRETO CON 20% ARCILLA EXPANDIDA	28/09/2023	10/10/2023	14	207	226
14	CONCRETO CON 20% ARCILLA EXPANDIDA	28/09/2023	10/10/2023	14	236	
15	CONCRETO CON 20% ARCILLA EXPANDIDA	28/09/2023	10/10/2023	14	246	
16	CONCRETO CON 20% ARCILLA EXPANDIDA	28/09/2023	10/10/2023	14	202	
17	CONCRETO CON 20% ARCILLA EXPANDIDA	28/09/2023	10/10/2023	14	227	
18	CONCRETO CON 20% ARCILLA EXPANDIDA	28/09/2023	10/10/2023	14	237	
19	CONCRETO CON 20% ARCILLA EXPANDIDA	28/09/2023	24/10/2023	28	264	239
20	CONCRETO CON 20% ARCILLA EXPANDIDA	28/09/2023	24/10/2023	28	238	
21	CONCRETO CON 20% ARCILLA EXPANDIDA	28/09/2023	24/10/2023	28	230	
22	CONCRETO CON 20% ARCILLA EXPANDIDA	28/09/2023	24/10/2023	28	236	
23	CONCRETO CON 20% ARCILLA EXPANDIDA	28/09/2023	24/10/2023	28	223	
24	CONCRETO CON 20% ARCILLA EXPANDIDA	28/09/2023	24/10/2023	28	244	
25	CONCRETO CON 20% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 30 min	27/09/2023	11/10/2023	14	224	225
26	CONCRETO CON 20% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 30 min	27/09/2023	11/10/2023	14	232	
27	CONCRETO CON 20% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 30 min	27/09/2023	11/10/2023	14	220	
28	CONCRETO CON 20% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 60 min	27/09/2023	11/10/2023	14	200	214
29	CONCRETO CON 20% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 60 min	27/09/2023	11/10/2023	14	210	
30	CONCRETO CON 20% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 60 min	27/09/2023	11/10/2023	14	231	
31	CONCRETO CON 20% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 30 min	28/09/2023	26/10/2023	28	201	222
32	CONCRETO CON 20% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 30 min	28/09/2023	26/10/2023	28	225	
33	CONCRETO CON 20% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 30 min	28/09/2023	26/10/2023	28	240	
34	CONCRETO CON 20% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 60 min	28/09/2023	26/10/2023	28	243	214
35	CONCRETO CON 20% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 60 min	28/09/2023	26/10/2023	28	212	
36	CONCRETO CON 20% ARCILLA EXPANDIDA expuesto al fuego 60 min	28/09/2023	26/10/2023	28	186	

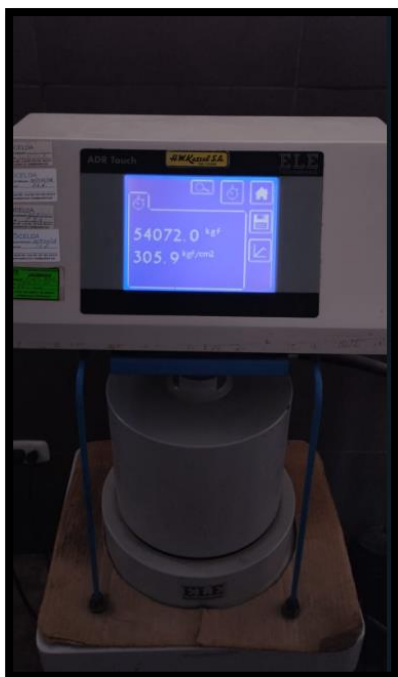
**OBSERVACIONES:**

- Muestreo realizados por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.

Henry Rivadeneira Oblitas  
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES  
**USAT**  
  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

## Anexo 17: Ensayo de Resistencia a la Compresión



**Anexo 17.1:** Concreto patrón – 14 días



**Anexo 17.2:** Concreto patrón – 28 días



**Anexo 17.3:** Concreto patrón – 14 días – expuesto al fuego 30 min



**Anexo 17.4:** Concreto patrón – 14 días – expuesto al fuego 60 min



**Anexo 17.5:** Concreto patrón – 28 días – expuesto al fuego 30 min



**Anexo 17.6:** Concreto patrón – 28 días – expuesto al fuego 60 min



**Anexo 17.7:** Concreto 10%  
A.E – 14 días



**Anexo 17.8:** Concreto 10%  
A.E – 28 días



**Anexo 17.9:** Concreto 10% A.E –  
14 días – expuesto al fuego 30 min



**Anexo 17.10:** Concreto 10% A.E –  
14 días – expuesto al fuego 60 min



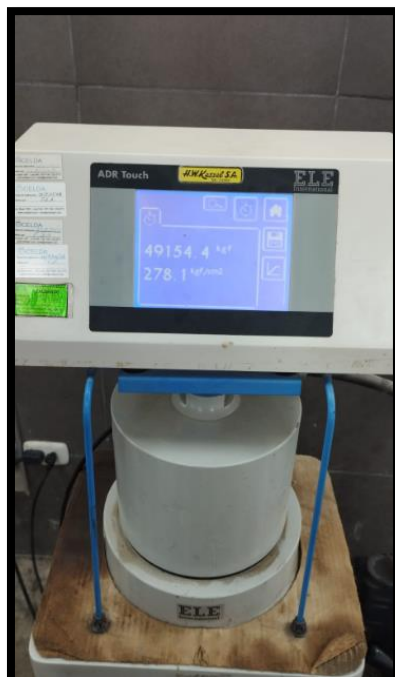
**Anexo 17.11:** Concreto 10% A.E –  
28 días – expuesto al fuego 30 min



**Anexo 17.12:** Concreto 10% A.E –  
28 días – expuesto al fuego 60 min



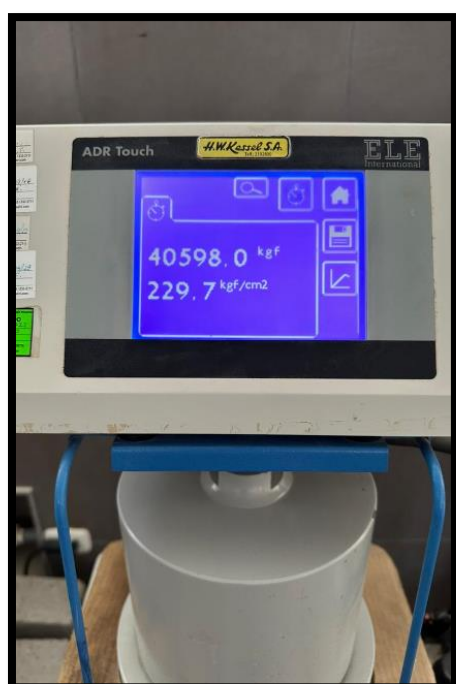
**Anexo 17.13:** Concreto 15%  
A.E – 14 días



**Anexo 17.14:** Concreto 15%  
A.E – 28 días



**Anexo 17.15:** Concreto 15% A.E  
– 14 días – expuesto al fuego 30



**Anexo 17.16:** Concreto 15% A.E –  
14 días – expuesto al fuego 60 min



**Anexo 17.17:** Concreto 15% A.E–  
28 días – expuesto al fuego 30 min



**Anexo 17.18:** Concreto 15% A.E–  
28 días – expuesto al fuego 60 min



**Anexo 17.19:** Concreto 20%  
A.E – 14 días



**Anexo 17.20:** Concreto 20%  
A.E – 28 días



**Anexo 17.21:** Concreto 20% A.E  
– 14 días – expuesto al fuego 30



**Anexo 17.22:** Concreto 20% A.E –  
14 días – expuesto al fuego 60 min



**Anexo 17.23:** Concreto 20% A.E–  
28 días – expuesto al fuego 30 min



**Anexo 17.24:** Concreto 20% A.E–  
28 días – expuesto al fuego 60 min

## CONTROL OF FIRE TESTS

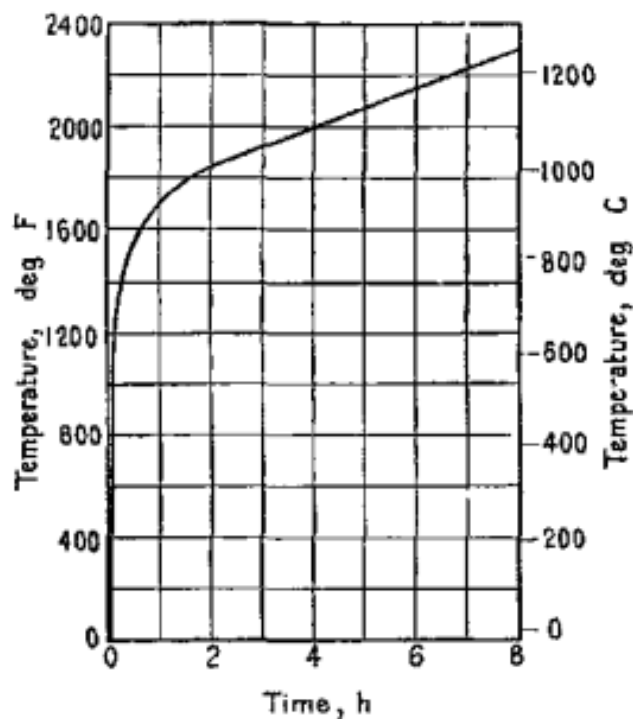
### 5. Time-Temperature Curve

5.1 The conduct of fire tests of materials and construction shall be controlled by the standard time-temperature curve shown in Fig. 1. The points on the curve that determine its character are:

1000°F (538°C)	at 5 min
1300°F (704°C)	at 10 min
1550°F (843°C)	at 30 min
1700°F (927°C)	at 1 h
1850°F (1010°C)	at 2 h
2000°F (1093°C)	at 4 h
2300°F (1260°C)	at 8 h or over

5.2 For a closer definition of the time-temperature curve, see Appendix X1.

*NOTE 1—Recommendations for Recording Fuel Flow to Furnace Burners*—The following provides guidance on the desired characteristics



**FIG. 1 Time-Temperature Curve**

**Anexo 19: Panel fotográfico (Evidencia de ensayos realizados en laboratorio)**



**Anexo 19.1**



**Anexo 19.2**



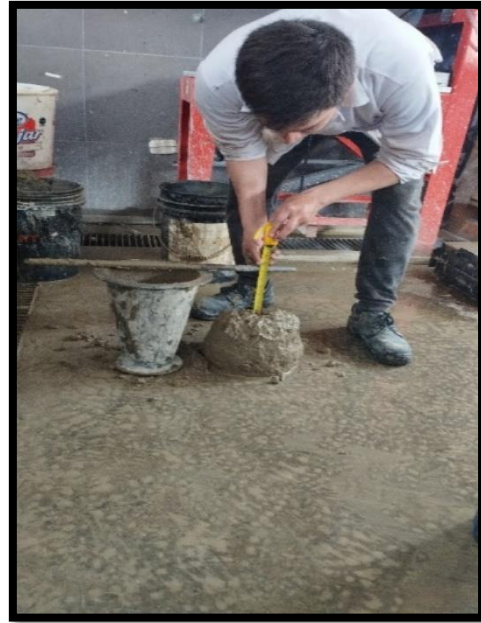
**Anexo 19.3**



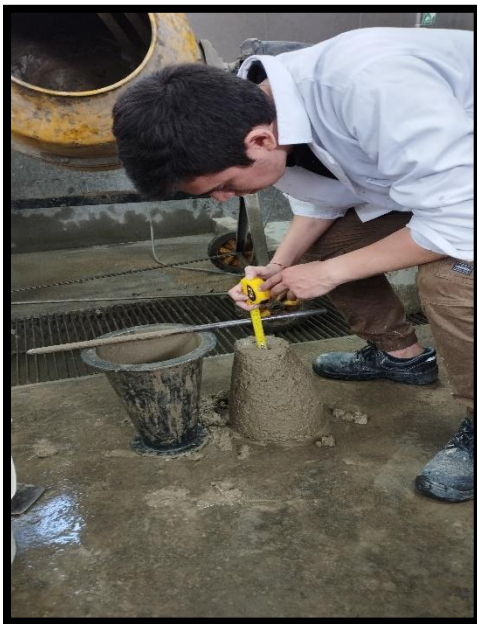
**Anexo 19.4**



**Anexo 19.5**



**Anexo 19.6**



**Anexo 19.7**



**Anexo 19.8**



**Anexo 19.9**



**Anexo 19.10**



**Anexo 19.11**



**Anexo 19.12**