

**UNIVERSIDAD DE BURGOS**  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**TESIS DOCTORAL:**

**ELABORACIÓN DE BLOQUES TRADICIONALES  
INCORPORANDO MATERIAL RECICLADO PARA LA  
MEJORA DEL ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO Y  
ACÚSTICO EN VIVIENDAS RURALES DE ECUADOR**

Autor:

**D. JORGE JAVIER GUEVARA ROBALINO**

Directores:

**Dr. Isidoro Iván Cuesta Segura**

**Dra. Vanesa Ortega López**

Burgos, Diciembre de 2022

## ÍNDICE DE LA TESIS DOCTORAL

<b>1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....</b>	<b>1</b>
1.2. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.3 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO .....	3
<b>2. ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>5</b>
2.1. INTRODUCCIÓN.....	5
2.2. INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL SOBRE LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DE BLOQUES DE PARED DE TIERRA EN CASAS DE ADOBE .....	5
2.2.1 Mejora de la durabilidad del adobe mediante refuerzo natural para el fomento de viviendas de barro sostenibles .....	6
2.3. SIMILITUDES MECÁNICAS Y DE DAÑO DE BLOQUES DE ADOBE REFORZADOS CON FIBRAS NATURALES E INDUSTRIALES .....	7
2.3.1. Comportamiento físico, mecánico y térmico del adobe estabilizado con desechos de polímero reforzado con fibra de vidrio .....	8
2.4. SOSTENIBILIDAD DOBLE: ADOBE CON ASERRÍN COMO REPLAZO PARCIAL DE ARENA.....	10
2.4.1. Caracterización de suelos para mezclas de adobe que contienen cemento Portland como estabilizador .....	11
2.5. FACTORES QUE AFECTA A LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS .....	12
2.5.1. Elementos para la mejora de ladrillos .....	13
2.5.2. Resistencia a compresión de bloques de tierra comprimida .....	14
2.6. FABRICACIÓN DE LADRILLOS ECOLÓGICOS .....	14
2.6.1. Características de mampostería de hormigón liviano .....	15
2.6.2. Otras alternativas .....	17
2.7. NUEVOS MATERIALES ABSORBENTES ACÚSTICOS OBTENIDOS A PARTIR DE RESTOS DE BOTELLAS DE PLÁSTICO .....	17
2.8. PROPIEDADES MECÁNICAS Y TÉRMICAS DE LADRILLOS QUE UTILIZAN PLÁSTICO PET DE DESECHO .....	18

2.9. ENSAYOS TÍPICOS, Y SU METODOLOGÍA, PARA LA ELABORACIÓN DE BLOQUES DE ADOBE .....	20
2.9.1. Ensayos de campo.....	20
2.9.2 Ensayos de laboratorio.....	21
2.10. ENSAYOS TÍPICOS, Y SU METODOLOGÍA, PARA LA LABORACIÓN DE BLOQUES ALIVIANADOS.....	27
<b>3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>39</b>
3.1. INTRODUCCIÓN.....	39
3.2. CÁMARA DE ENSAYO.....	39
3.4. FABRICACIÓN DE LOS BLOQUES DE ADOBE .....	47
3.5. FABRICACIÓN DE LOS BLOQUES ALIVIANADOS DE HORMIGÓN.....	52
3.6. ENSAYOS TÉRMICOS .....	56
3.7. ENSAYOS ACÚSTICOS .....	59
<b>4. CATACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS .....</b>	<b>63</b>
4.1. INTRODUCCIÓN.....	63
4.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS .....	64
4.2.1. Resultados de caracterización de la tierra empleada en adobes.....	64
4.2.2. Resultados de caracterización del aserrín .....	67
4.2.3. Resultados de caracterización de triturado de botellas plásticas PET .....	71
4.2.4. Resultados de caracterización de triturado de bolsas plásticas TBP.....	73
4.2.5. Resultados de caracterización de los áridos para la elaboración de bloques alivianados de hormigón.....	76
4.3. BLOQUE COMERCIAL INEN 3066.....	84
4.3.1. Ensayos térmicos .....	84
4.3.2. Ensayos acústicos.....	86
4.3.3. Ensayos de compresión.....	87
<b>5. DOSIFICACIÓN Y RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS BLOQUES DE ADOBE OBJETO DE ESTUDIO .....</b>	<b>89</b>
5.1. BLOQUES DE ADOBE CON ADICIÓN DE ASERRÍN Y POLIESTIRENO.....	89
5.1.1. Dosificación de mezclas de adobe con aserrín y poliestireno.....	89

5.1.2. Ensayos térmicos con bloques de adobe con aserrín y poliestireno .....	90
5.1.3. Ensayos acústicos con bloques de adobe con aserrín y poliestireno .....	97
5.1.4. Ensayos de compresión en bloques de adobe con aserrín y poliestireno.....	101
5.2. BLOQUES DE ADOBE CON ADICIÓN DE BOTELLAS PLÁSTICAS PET .....	102
5.2.1. Dosificación de mezclas de adobe con adición de botellas plásticas PET .....	102
5.2.2. Ensayos térmicos con bloques de adobe con adición de plástico PET .....	103
5.2.3. Ensayos acústicos con bloques de adobe con adición de plástico PET .....	109
5.2.4. Ensayos de compresión con bloques de adobe con adición de plástico PET .....	113
5.3. BLOQUES DE ADOBE CON ADICIÓN DE BOLSAS PLÁSTICAS TBP .....	114
5.3.1. Dosificación de mezclas de adobe con adición de bolsas plásticas TBP.....	114
5.3.2. Ensayos térmicos con bloques de adobe con bolsas plásticas TBP .....	115
5.3.3. Ensayos acústicos con bloques de adobe con bolsas plásticas TBP .....	121
5.3.4. Ensayos de compresión con bloques de adobe con botellas plásticas TPB .....	125
<b>6. DOSIFICACIÓN Y RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS BLOQUES ALIVIANADOS DE HORMIGÓN OBJETO DE ESTUDIO.....</b>	<b>127</b>
6.1. BLOQUES ALIVIANADOS CON ADICIÓN DE ASERRÍN Y POLIESTIRENO	127
6.1.1. Dosificación de mezclas de bloques alivianados con aserrín y poliestireno .....	128
6.1.2. Ensayos térmicos con bloques alivianados con aserrín y poliestireno .....	132
6.1.3. Ensayos acústicos con bloques alivianados con aserrín y poliestireno.....	139
6.1.4. Ensayos de compresión con bloques alivianados con aserrín y poliestireno.....	143
6.2. BLOQUES ALIVIANADOS CON ADICIÓN DE BOTELLAS PLÁSTICAS PET	144
6.2.1. Dosificación de mezclas de bloques alivianados con botellas plásticas PET.....	145
6.2.2. Ensayos térmicos con bloques alivianados con botellas plásticas PET .....	149
6.2.3. Ensayos acústicos con bloques alivianados con botellas plásticas PET .....	156
6.2.4. Ensayos de compresión con bloques alivianados con botellas plásticas PET ....	161
6.3. BLOQUES ALIVIANADOS CON ADICIÓN DE BOLSAS DE PLÁSTICO TBP	162
6.3.1. Dosificación de mezclas de bloques alivianados con bolsas de plástico TBP....	163
6.3.2. Ensayos térmicos con bloques alivianados con bolsas plásticas TBP .....	167
6.3.3. Ensayos acústicos con bloques alivianados con bolsas plásticas TBP .....	174
6.3.4. Ensayos de compresión con bloques alivianados con bolsas plásticas TBP .....	178
<b>7. CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS .....</b>	<b>179</b>

7.1. BLOQUES DE ADOBE CON ADICIÓN DE ASERRÍN Y POLIESTIRENO.....	180
7.2. BLOQUES DE ADOBE CON ADICIÓN DE BOTELLAS DE PLÁSTICO PET...	181
7.3. BLOQUES DE ADOBE CON ADICIÓN DE BOLSAS PLÁSTICAS TPB.....	183
7.4. BLOQUES ALIVIANADOS CON ADICIÓN DE ASERRÍN Y POLIESTIRENO	184
7.5. BLOQUES ALIVIANADOS CON ADICIÓN DE BOTELLAS PLÁSTICAS PET	185
7.6. BLOQUES ALIVIANADOS CON ADICIÓN DE BOLSAS PLÁSTICAS TPB ...	186
7.7. LINEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS .....	187
<b>8. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>189</b>
<b>9. NOMENCLATURA.....</b>	<b>196</b>

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

### 1.2. INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de la época sedentaria, el ser humano buscó la manera de construir un lugar para protegerse de la hostilidad del medio que lo rodea, en su intento de construir un refugio, probó con diferentes materiales existentes disponibles en la naturaleza como: la tierra, madera, entre otros. Existen vestigios de construcciones rústicas; donde se demuestra la creatividad de los antepasados al combinar tierra (barro), carrizo, paja y madera, características propias de construcciones en climas fríos como la Sierra ecuatoriana, por su parte en climas cálidos como en la Costa del Ecuador las construcciones son ligeras hechas de caña y madera, esto demuestra que dependiendo del ambiente de la zona y los materiales disponibles en el sitio la estructuración varía, con este inicio el hombre ha podido dar cambios formidables en el ámbito constructivo.

En Ecuador la mampostería que más se emplea son dos tipos: bloque de adobe y bloque de hormigón. Ambos se comercializan en dos diferentes formas dependiendo de su fabricación: artesanal y normalizados, donde cada una de ellas presenta sus ventajas e inconvenientes:

- Artesanal: no cumplen con la resistencia, confort térmico y acústico, su fabricación es con máquinas artesanales sin ningún tipo de control de calidad interno o externo.
- Normalizados: cumplen con la resistencia, pero no con el confort térmico y acústico, su fabricación es con máquinas, poniendo énfasis en la resistencia del mampuesto.

Algunas zonas del país que tienen minas han basado su economía en estos materiales de construcción, como por ejemplo el cantón Latacunga, donde existen muchos negocios familiares que se dedican a la elaboración de bloques artesanales que son comercializados a nivel nacional.

Por otra parte, es de conocimiento general que la producción de plásticos y otros materiales de un solo uso generan problemas en su reciclaje y depósito final, en este sentido, se pretende dar un segundo uso a algunos materiales generados como:

- Aserrín
- Poliestireno
- Botellas Plásticas de tereftalato de polietileno (PET)
- Triturado de Bolsas Plásticas (TBP)

El trabajo de investigación se ha enfocado en reciclar los desechos de aserrín, poliestireno, botellas plásticas PET y triturado de bolsas plásticas TBP, e incorporarlos en la fabricación de bloques artesanales. Para ello se hizo necesaria una cuidadosa dosificación de las mezclas, así como un correcto diseño de los moldes para formar bloques. Con ellos, se evaluó su comportamiento mecánico (resistencia a compresión) y su capacidad de aislamiento térmico y acústico.

De este modo, se busca fortalecer la actividad económica de los fabricantes artesanales con un producto de calidad que cumpla los estándares; esto conlleva a la mejora de los ingresos de las familias que dependen directa o indirectamente de esta modalidad de trabajo.

En particular, esta investigación se centra en el análisis de mampostería artesanal para su uso en vivienda rural de interés social y su mejora en las cualidades de confort térmico y acústico en la provincia de Tungurahua (Ecuador), debido a que el doctorando tiene su residencia habitual en este lugar. Además, está enmarcada dentro del Proyecto de Investigación “Calculo y diseño de vivienda sismo resistente de interés social, auto sustentable con materiales de la zona sierra. (PICDVSIIS)”, aprobado con Resolución 1540-CU-P-2018 de la Universidad Técnica de Ambato-Ecuador.

## **1.2 OBJETIVOS**

Durante la realización de esta Tesis Doctoral se han planteado los siguientes objetivos:

- Conocer investigaciones previas, normativa vigente del país y tipos de ensayos que permitan conocer características térmicas y acústicas de los mampuestos.

- Aplicar una correcta selección de materiales y metodología para la fabricación y ensayo de las probetas de mampuestos.
- Dosificar adecuadamente las mezclas de tierra y residuos en estudio para elaborar adobes aptos para su utilización en edificación.
- Dosificar adecuadamente las mezclas de hormigón y residuos en estudio para elaborar bloques alivianados aptos para su utilización en edificación
- Conocer el efecto de la incorporación de materiales plásticos PET, triturado de bolsas plásticas TBP, poliestireno y aserrín en la fabricación de bloques (adobes y bloques alivianados de hormigón) y analizar los resultados mecánicos, térmicos y acústicos obtenidos.

### 1.3 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

El presente trabajo de investigación se ha dividido en 7 capítulos teniendo la siguiente distribución:

- 1) **Introducción y objetivos:** en este apartado se contextualiza la Tesis Doctoral desarrollada, incluyendo los objetivos que definen cuál va a ser la utilidad de la misma. Además, este capítulo contiene un apartado donde se describe la estructura del documento.
- 2) **Estado del arte:** en este capítulo se profundiza en otras investigaciones relacionadas con la elaboración de mampuestos (tradicionales, ecológicos, etc.) que incorporan diferentes residuos o subproductos.
- 3) **Metodología:** en este apartado se detalla cómo fue realizada la cámara de ensayo en la que se van a realizar los ensayos de aislamiento térmico y acústico. Además, se describe la metodología empleada para fabricar los bloques de adobe y los bloques alivianados de hormigón. Por último, se incluyen los ensayos térmicos y acústicos, de acuerdo a la normativa de referencia, a realizar en la presente Tesis Doctoral.

- 4) **Caracterización de materias primas:** en este capítulo se describen detalladamente las características de las materias primas que serán empleadas en las mezclas experimentales. Para ello, se estudian las propiedades de las tierras que se emplearán en la fabricación de adobes, y las propiedades de los áridos que se emplearán en el hormigón de los bloques alivianados. Asimismo, se estudian las propiedades de los residuos objeto de ser incorporados en las mezclas: aserrín, poliestireno, botellas plásticas PET y triturado de bolsas plásticas TBP.
- 5) **Dosificación y resultados de caracterización de los bloques de adobe objeto de estudio:** en este capítulo se describe la dosificación, resultados de comportamiento térmico y acústico y, resistencia a compresión, para los adobes fabricados con adición de los distintos residuos en estudio: aserrín y poliestireno, botellas plásticas PET y triturado de bolsas plásticas TBP.
- 6) **Dosificación y resultados de caracterización de los bloques alivianados de hormigón objeto de estudio:** en este capítulo se describe la dosificación, resultados de comportamiento térmico y acústico y, resistencia a compresión, para los bloques alivianados de hormigón con adición de los distintos residuos en estudio: aserrín y poliestireno, botellas plásticas PET y triturado de bolsas plásticas TBP.
- 7) **Conclusiones y líneas de investigación futuras:** en este capítulo se detallan las conclusiones extraídas del presente trabajo de investigación, cuyos resultados son mostrados en los capítulos anteriores. Asimismo, se muestra el planteamiento del doctorando para trabajos futuros.

## CAPÍTULO 2

### 2. ESTADO DEL ARTE

#### 2.1. INTRODUCCIÓN

Es creciente la preocupación e investigación sobre materiales de construcción sostenible y los problemas medioambientales debido al calentamiento global. El adobe ocupa el primer lugar en el estudio de materiales ecológicos debido a los importantes beneficios como el mantenimiento de la calidad del aire interior, el mantenimiento de la temperatura interior y sus bajas repercusiones ambientales [1].

El uso de tierra natural en la construcción de edificios y estructuras es la técnica de construcción más antigua conocida por la humanidad, esto se debe a que la tierra está disponible de forma natural y local en abundancia en todo el mundo, es económico de usar, fácil de trabajar y es más respetuoso con el medio ambiente en comparación con todos los demás materiales de construcción modernos [2].

La facilidad de uso de la tierra y las técnicas de construcción asociadas pueden ayudar a emplear, incluso, mano de obra no calificada. Además, mejora las áreas donde otros materiales y tecnologías de construcción no están disponibles. La tierra se utiliza en diversas formas para la construcción de refugios como adobe, tierra apisonada, mazorca, acacia y barro, bloques de tierra comprimida, entre otras; sin embargo, deben analizarse factores climáticos, la topografía y las necesidades de vida de los habitantes de la zona.

#### 2.2. INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL SOBRE LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DE BLOQUES DE PARED DE TIERRA EN CASAS DE ADOBE

Los materiales de construcción como el adobe a menudo suelen agrietarse a causa de deformaciones excesivas por contracción/retracción o por secado, debido a las partículas finas que contiene. Para evitar este fenómeno, se adhieren de forma beneficiosa materiales fibrosos, reduciendo las grietas que se forman y mejorando el rendimiento mecánico. Para lograr reforzar este material, en esa investigación [3], se añadieron fibras de polietileno reciclado obtenidas de redes de pesca desechadas (R-PE), en diferentes fracciones del 1%

al 5% del peso. Para las materias primas que se utilizan para la producción de adobe como sedimentos groenlandeses de grano fino (GP) y una fracción de grava más gruesa (KG) se caracterizaron por un estudio químico y geológico. Se fabricaron muestras de adobe en el laboratorio para conocer las propiedades mecánicas y deformaciones por retracción restringida por secado en las muestras de adobe que se presentan. La formación de grietas debido a la retracción restringida se analizó utilizando una técnica de correlación de imagen digital (DIC), con un monitoreo detallado y continuo de las deformaciones de la superficie.

Como resultado de lo experimentado se obtuvo que el adobe proporciona propiedades mecánicas adecuadas, por lo que, hace que la materia prima sea la adecuada para la fabricación de los ladrillos de adobe. La edición de fibras de R-PE mejoró la resistencia a la flexión y a la compresión. La técnica DIC mostró que incorporar las fibras de R-PE reduce significativa y cuantitativamente el grado de agrietamiento por retracción, además, en estado fresco, durante la fabricación, la trabajabilidad en la mezcla es influida por las fibras colocadas [3].

### **2.2.1 Mejora de la durabilidad del adobe mediante refuerzo natural para el fomento de viviendas de barro sostenibles**

Diferentes estudios de investigación han demostrado que las propiedades térmicas, acústicas y resistentes al fuego de los materiales terrestres son muy altas y que la adición de material fibroso al adobe mejora aún más su conductividad térmica, aumentando así el ahorro de calor en los edificios. En Himachal Pradesh (India), el 60% de sus casas están hechas de adobe, pero principalmente se emplea para la construcción de muros. Las normas ASTM proporcionan un conjunto de pautas para el diseño de edificios que involucran el uso de diversas formas de tierra, como son los bloques de tierra estabilizada comprimida (CSEB) y, discuten en detalle los requisitos, métodos de prueba y pautas para la producción, diseño y construcción con los bloques CSEB.

#### **Limitaciones en el uso de la tierra**

El uso de la tierra posee ciertos inconvenientes como son la menor durabilidad y baja resistencia a la compresión, factores muy importantes que afecta el uso de tierra. El adobe tiene malas propiedades mecánicas en términos de resistencia a la compresión y

durabilidad, además de una mala resistencia a la humedad y al ataque del agua. Las condiciones climáticas adversas producen efectos de deterioro en los refugios de barro, la lluvia erosiona las paredes de barro y la severidad de la lluvia incluso conduce a su colapso.

### **Necesidad de estabilización de tierras para mejora de propiedades**

El equilibrio de la tierra con un estabilizador adecuado y material de refuerzo, ya sea natural o artificial, no solo mejora su durabilidad sino también su resistencia a la compresión. La resistencia a compresión de la tierra aumenta considerablemente con la aplicación de fibras y se recomienda que el bloque de tierra comprimida no tenga cáscara para una construcción eficaz y duradera de viviendas. Los diferentes estabilizadores producen diferentes impactos en la durabilidad de los ladrillos de adobe.

### **2.3. SIMILITUDES MECÁNICAS Y DE DAÑO DE BLOQUES DE ADOBE REFORZADOS CON FIBRAS NATURALES E INDUSTRIALES**

Laborel [4] aborda las propiedades mecánicas (resistencia a la compresión y flexión), físicas (densidad, absorción de agua y retracción por secado) y de durabilidad (resistencia al agua) del material de tierra reforzado con fibra vegetal o sintéticas. Estudió el efecto sobre la resistencia a la compresión de los ladrillos de tierra reforzados con fibras de plástico y poliestireno y, lo comparó con los ladrillos de tierra reforzados con fibras de paja. Los adobes reforzados con fibras plásticas tuvieron una respuesta de resistencia a la compresión de un 17% más alta que los adobes reforzados con fibra de paja. Mientras que la resistencia a la compresión de los adobes reforzados con poliestireno fue un 31% menor que la de los ladrillos de fibra de paja. En cuanto a las fibras animales, como las fibras de plumas de pollo, se ha demostrado que la resistencia a la flexión y a la compresión aumenta de manera insignificante, pero el control de grietas se reduce hasta en un 99%. Por su parte, las fibras de lana mejoran la absorción de energía de los bloques de adobe [4].

Los valores medios de resistencia a la compresión del adobe reforzado con mezclas de fibras de yute varían de 1,49 a 1,99 MPa y la resistencia a la compresión de los adobes con fibra animal varía de 0,90 a 1,64 MPa. Los valores de resistencia a la compresión de los adobes con micro polipropileno varían de 1,50 a 1,85 MPa. Los valores promedio de

resistencia a la compresión del adobe simple utilizados para comparar la resistencia a la compresión del adobe reforzado con diferentes fibras varían individualmente hasta un 9% [4].

### **2.3.1. Comportamiento físico, mecánico y térmico del adobe estabilizado con desechos de polímero reforzado con fibra de vidrio**

La industria ha desarrollado con el tiempo polímeros con grandes cualidades tanto físicas como mecánicas, pero se ha evidenciado que estos generan una gran cantidad de residuos de baja degradabilidad. Existen investigaciones [5] con este material reforzado con fibra de vidrio, materiales denominados *Glass-Fiber Reinforced Plastic* (GFRP) y Poliester Reforzado de Fibra de Vidrio (PRFV), dentro de la producción de adobe.

El adobe posee una conductividad térmica más baja que los materiales de construcción que son de uso común en las construcciones, por lo que, brinda un confort térmico excelente para los usuarios, también se lo conoce como un material de bajo costo y que puede ser sostenible, reciclable y reutilizable. El adobe está compuesto de tierra, agua y estabilizadores. La estabilización puede ser de 3 tipos: física, mecánica o química. De estos tres tipos, la que resulta más viable es la estabilización mecánica mediante el uso de fibras, ya sean naturales o sintéticas.

En la investigación de H. Gonzalez-Calderon *et al.* [5] se procesó, trituró y seleccionó el residuo GFRP. Se utilizó una trituradora con un motor trifásico de 7.5 hp. El tamaño de partícula se controló con un Tamiz de 8,5 mm. El proceso de trituración de los residuos de PRFV generó dos sub-productos (Figura 2.1): "lana" (formada por una alta rotación de molienda, aglomerando las fibras de vidrio de menor diámetro, posiblemente mediante el uso de fibra de vidrio en una manta de hilos cortados) y las fibras de vidrio rotas envueltas con las resinas. El residuo de "lana" se separó para futuras investigaciones y solo se utilizó el residuo con el mayor volumen de fibras de vidrio [5].



**Figura 2.1** Procesamiento de los residuos PRFV, Fuente: “Biopolymer-waste fiber reinforcement for earthen materials: Capillary, mechanical, impact, and abrasion performance,” 2020 [5]

Para analizar la masa realizaron distintas pruebas como microestructura, densidad a granel, retracción, absorción del agua, absorción por capilaridad, análisis térmico, resistencia a compresión, tenacidad y análisis estadístico. Mediante estas pruebas se obtuvieron resultados demostrando que es posible mejorar las propiedades físicas, mecánicas y térmicas del adobe utilizando residuos poliméricos reforzados con fibra de vidrio. El uso de residuos de PRFV redujo la retracción y la densidad aparente del adobe. También mostró una reducción significativa en la pérdida de masa de adobe cuando se expone al contacto con el agua a través de la acción de capilaridad o al estar sub-fusionado. Hubo un aumento significativo en la resistencia a la compresión del adobe. Las metodologías (NTE E.080 y BSPA) utilizadas en el análisis de la resistencia a la compresión no presentaron diferencias significativas. La adición de los residuos de PRFV también promovió una disminución de la conductividad térmica del adobe, mejorando consecuentemente su confort térmico en una casa (reducción de 1,1 C). La concentración de 10% de residuos de PRFV mostró los mejores resultados. Los residuos de PRFV presentaron buena cohesión con la tierra, permitiendo una mayor estructuración y refuerzo, resultando en un adobe más resistente. La menor densidad del adobe promueve una mejor trabajabilidad y fácil transporte. Los residuos en cuestión tienen un largo período de descomposición, son susceptibles de producción a gran escala y contienen valiosas propiedades constructivas. Por lo tanto, en este trabajo se presentó una forma alternativa de producir materiales de construcción compuestos introduciendo residuos PRFV [6].

#### 2.4. SOSTENIBILIDAD DOBLE: ADOBE CON ASERRÍN COMO REMPLAZO PARCIAL DE ARENA

A través del tiempo se ha visto la necesidad de mejorar las propiedades del adobe, por lo que, se ha experimentado con la adición de residuos. En una investigación [7], se usó el aserrín donde se ensayaron un total de 36 probetas, 18 de las cuales fueron cubos ensayados para resistencia a la compresión y los restantes fueron probetas prismáticas ensayadas para resistencia a la flexión. Los cubos tenían un tamaño de 150 mm × 150 mm × 150 mm, mientras que las muestras prismáticas tenían un tamaño de 150 mm × 150 mm × 500 mm. Los materiales utilizados para la preparación de estos especímenes incluyeron arcilla, arena y aserrín.

El procedimiento de mezcla consistió en añadir todos los ingredientes a la hormigonera y luego agregar agua en pequeñas cantidades hasta obtener una masa de adobe maleable. Luego, la mezcla de adobe se vertió en moldes para la preparación de las probetas. El ensayo de compresión se muestra en la Figura 2.2a, mientras que el ensayo de flexión se muestra en la Figura 2.2b [7].



a.- Prueba resistencia a compresión



b.-Prueba resistencia a flexión

**Figura 2.2** Prueba de resistencia (a y b), Fuente: “Evaluation of reinforced adobe techniques for sustainable reconstruction in andean seismic zones,” 2021.

#### 2.4.1. Caracterización de suelos para mezclas de adobe que contienen cemento Portland como estabilizador

Una de las formas más económicas de construir con tierra es utilizar la técnica del adobe. Hay varios tipos de suelos y la mayoría de ellos no son adecuados para su uso en la construcción de edificios. Las características físicas y químicas de los suelos influirán en su rendimiento para su uso en edificios.

En esta investigación [8], se caracterizó física, química y mineralógicamente dos muestras de suelo y se estudió la dosificación de mezclas para adobe utilizando cemento Portland como estabilizador. Ambos suelos se caracterizaron mediante ensayo de límites de Atterberg, análisis de tamaño de partícula, fluorescencia de rayos X de y difracción de rayos X. En la Figura 2.3 se muestran los suelos empleados que se denominaron S1, color marrón y S2, rojo claro [8].



**Figura 2.3** Suelos S1 y S2, Fuente: “Physico-mechanical and thermal gravimetric analysis of adobe masonry units reinforced with plantain pseudo-stem fibres for sustainable construction,” 2021. [8]

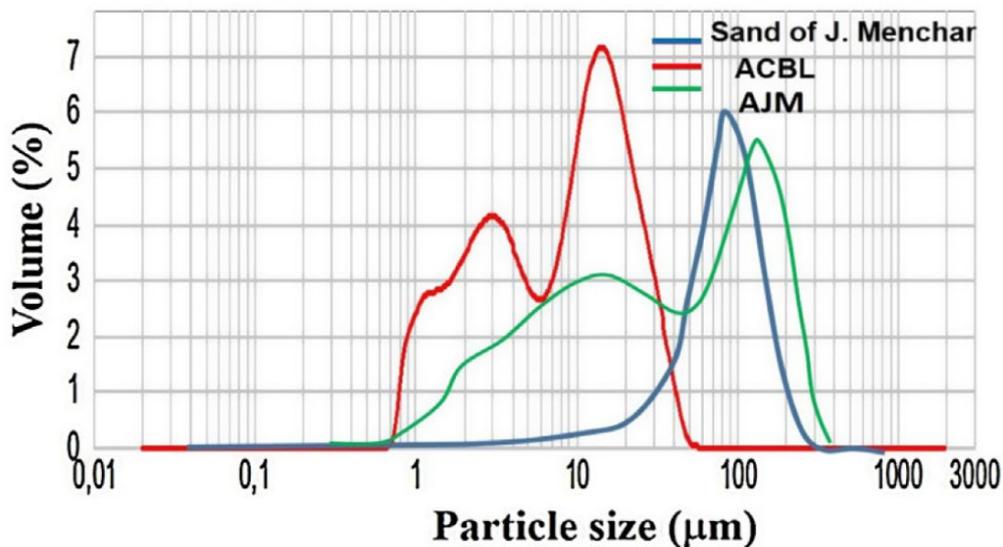
Se estudiaron tres contenidos diferentes de cemento Portland (6%, 9% y 12%) en el suelo. El material se mezcló en seco y luego se añadió agua gradualmente hasta que se alcanzó una buena consistencia plástica. Las mezclas se prepararon a mano hasta que la mezcla se volvió homogénea. La parte agregada se basó en el límite de plasticidad de cada suelo, con valores aproximados del 20% y del 25%. A continuación, se moldearon tres probetas en moldes prismáticos de 4cm x 4cm x 16cm.

Los resultados mostraron una resistencia a la compresión de hasta 5 MPa a los 28 días para ambos tipos de suelos estudiados con 12% de cemento Portland. Para usar estos suelos como ladrillos de adobe, el 9% de cemento Portland es suficiente para alcanzar la resistencia a la compresión mínima requerida por la norma E-080. Además, esta investigación arroja resultados sobre la determinación del contenido de arcilla del suelo, lo que indica que el método tradicional para determinar la curva de distribución de tamaño por tamizado y sedimentación puede no ser el más adecuado para verificar este contenido de arcilla.[9]

## 2.5. FACTORES QUE AFECTA A LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS

En otra investigación realizada en Túnez [10], uno de los problemas evidenciados es justamente el coste de materiales empleados en la construcción, para lo cual se analizó el geomaterial de Jebel Menchar para elaborar ladrillos de tierra comprimida (CEB) mediante el uso de materias primas locales.

Para los ensayos se utilizaron arenas silíceas de Jebel Menchar, y se analizó la mineralogía con la técnica de difracción de rayos X, mediante dispersión con láser en suspensión acuosa se obtuvo la repartición del tamaño de partículas de las muestras (Figura 2.4).



**Figura 2.4** Distribución del tamaño de partícula de la arena, Fuente: Jebel Menchar SJM, la arcilla Potters de Menzel Temime (ACBL) y la arena Jebel Mencharclay AJM.

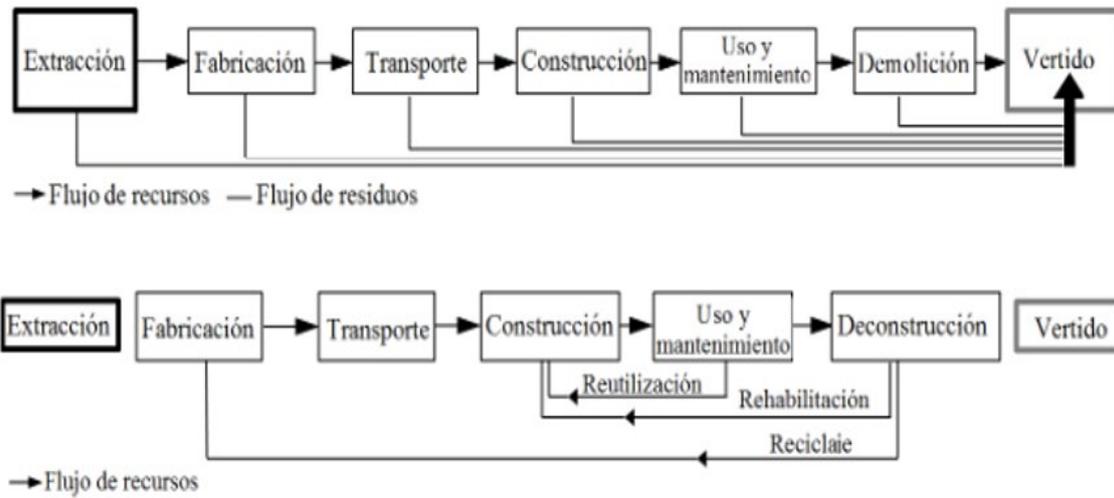
[10]

La mampostería de ladrillo en muchas ocasiones, se ve sometida a agentes atmosféricos como la humedad y la lluvia, que genera un fuerte y progresivo deterioro de estos elementos, esto induce a la implementación de soluciones para impermeabilizar los componentes. Es por esto que se emplea hidrofugantes debido a su eficacia para evitar o ralentizar la penetración de agua, logrando así una mayor durabilidad y resistencia en los antes mencionados [11].

### **2.5.1. Elementos para la mejora de ladrillos**

En la actualidad, según un estudio publicado en una revista mexicana [12], los avances tecnológicos en la fabricación de ladrillos que se emplean en la construcción contemporánea, traen a relucir un nuevo aditivo que mejora la adherencia. Este es el geopolímero que se investiga para el recubrimiento interno en hornos construidos para la cocción de ladrillos. Este se define como un ligante activado alcalino. Los materiales para la fabricación son: residuos de hornos, metacaolín, arcilla roja y barro. Estos geopolímeros son capaces de reemplazar al cemento portland convencional y, además, son una respuesta ecológica a la producción de cemento portland. Se realizaron pruebas de geopolímeros con base en potasio y arrojaron una resistencia a flexión de 12 MPa y de compresión de 90 MPa. Además, sirve como recubrimiento para los elementos constructivos que se encuentran debajo del mar o expuestos a una corrosión continua, también posee propiedades de resistencia térmica hasta 1000° C [12].

En la Figura 2.5 se muestran dos diagramas de flujo. El primero muestra el proceso de elaboración y generación de escombros, los cuales son vertidos directamente en una escombrera y no se da tratamiento adecuado. Mientras que en el segundo se propone la reutilización de los residuos que se generan, bien en el proceso de construcción, bien en el proceso de fabricación como materia prima para la fabricación de bloques [13].



**Figura 2.5** Diagramas de flujo sobre la producción de materiales, Fuente: Role of fiber inclusion in adobe masonry construction, 2019 [13].

### 2.5.2. Resistencia a compresión de bloques de tierra comprimida

En otra investigación [14] se muestra el impacto ambiental y la resistencia a compresión de Bloques de Tierra Comprimida (BTC), estabilizados con cal aérea hidratada y cemento Portland. En el ensayo se fabricarib 12 series de bloques estabilizados con diferentes proporciones de cal y cemento, de los cuales se concluyó, que el uso de suelos y arena estabilizados con determinados porcentajes de cemento Portland, comprendidos en el rango del 5 y 10% en peso, puede producir BTC con niveles de resistencia suficientes para ser empleados en muros de carga y, de esa forma, disminuir el impacto ambiental negativo asociado a su elaboración. Además, la estabilización con cal aérea no incrementa la resistencia a compresión de los BTC pero sí aumenta de manera significativa el impacto negativo de éstos sobre el medio ambiente [14].

## 2.6. FABRICACIÓN DE LADRILLOS ECOLÓGICOS

Otras investigaciones [15] han apuntado también a la fabricación de ladrillos ecológicos a base de residuos inorgánicos, con el fin de mitigar el impacto de la producción de materiales sobre el cambio climático. La elaboración de ladrillos ecológicos responde de manera adecuada al cuidado del medio ambiente, con la inclusión de poliestireno (PS), polietileno de baja densidad (LDPE), polipropileno (PP) y tereftalato de polietileno (PET). Para cualquiera de los casos, se obtiene una resistencia similar al de un ladrillo

común, capaz de competir con las propiedades físico-mecánicas y de coste, con un plus en el ámbito ecológico (Figura 2.6). Esto demostró que la inclusión de plástico contribuye a que los ladrillos sean más impermeables, parámetro importante en el área de la construcción y, por tal motivo, es considerado su empleo en muros externos. Por otro lado, se recalca el uso de un menor porcentaje de material inorgánico en reemplazo a la arena, estos resultados elevo la resistencia a la compresión, es así que se comprobó que a mayor densidad mejores propiedades de resistencia y de perfección geométrica.



**Figura 2.6** Prueba a la compresión de las probetas para ladrillos ecológicos de mortero vs una probeta de ladrillo de arcilla común, Fuente: Influence of wet milling on the structural and mechanical behavior of ceramic products formed by extruding clay at Zulia (North de Santander, Colombia), 2019. [15]

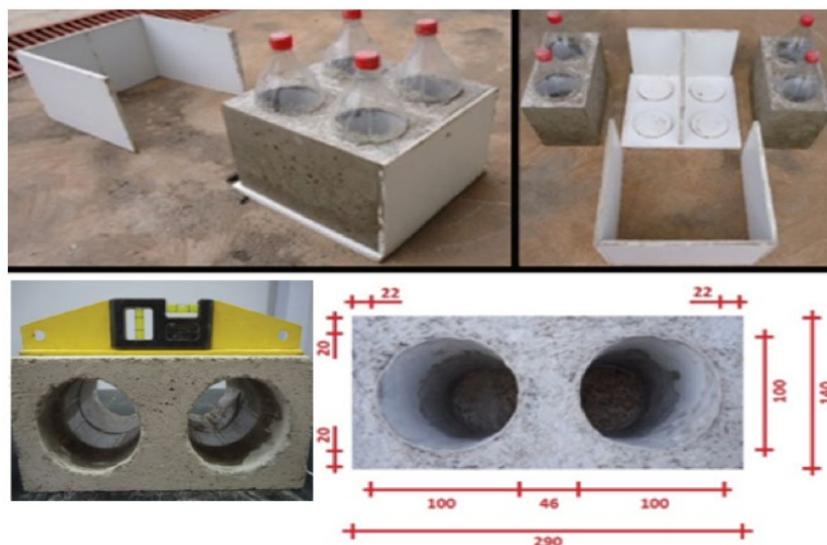
Uno de los beneficios de incorporar cal en la mezcla del mortero para la elaboración de mampuestos, es la mejora de propiedades, como la resistencia y la retención de agua en los bloques de dicho material. El presente estudio se centró en morteros fabricados in situ, morteros tipo M, S, con y sin cal. Así mismo, se utilizó árido fino y arena de tajo e industrial. En los ensayos se emplearon tres tipos de cales para determinar la resistencia a la compresión y adherencia. Se observó que la cal ayuda a retener agua, a mejorar la trabajabilidad y la adherencia y, en ciertos casos, se mejora la resistencia de los morteros.

### **2.6.1. Características de mampostería de hormigón liviano**

En otra investigación [16], sobre bloques de mampostería de hormigón liviano fabricados con caucho de neumáticos y metacaolín se evaluó la adición de estos compuestos con el objetivo de reducir su densidad aparente y obtener valores dimensionales de resistencia a la compresión y absorción de agua, en conformidad con la norma brasileña.

Se fabricaron tres mezclas de hormigón, reemplazando el 9%, 18% y 27% (en volumen) del árido fino por caucho de neumáticos y se compararon los resultados con una mezcla sin caucho (referencia). En todas las mezclas, se adoptó el procedimiento de reemplazar el 10% (en peso) de cemento por metacaolín. Los bloques de hormigón del tipo M-15x30 se fabricaron manualmente, utilizando moldes de Policloruro de Vinilo (PVC) y elementos de botellas de Tereftalato de Polietileno (PET) para moldear huecos de los bloques (Figura 2.7). Los resultados de los hormigones fabricados con caucho y metacaolín arrojaron valores de densidad aparente menores a 2000 kg/m<sup>3</sup>, presentando así características de hormigón liviano. El caucho de neumáticos utilizado fue proporcionado por una empresa de reciclaje de neumáticos de camiones y maquinaria pesada exclusivamente y tamizado con un tamiz No. 6,3. Los principales aspectos observados en este artículo son los siguientes:

- Al aumentar la proporción de caucho en la mezcla se redujo la fluidez, experimentado en el ensayo de asentamiento, y aumentó el contenido de aire; estos resultados se asocian con la forma y textura del caucho de neumáticos.
- Por último, los resultados y comportamientos descritos revelan la necesidad de realizar nuevos estudios que confirmen la factibilidad de usar caucho de neumáticos en los bloques de mampostería de hormigón [16].



**Figura 2.7** Moldes de PVC, así como el bloque de mampostería con sus medidas,

Fuente: “Bloques de mampostería de hormigón liviano fabricados con caucho de neumáticos y metacaolín,” 2020 [16]

### **2.6.2. Otras alternativas**

Otra alternativa son los eco-ladrillos con botellas de Politereftalato de Etileno (PET) rellenas con residuos inorgánicos, que proporciona un material de construcción de bajo coste y un método válido de reciclaje para reducir este tipo de desecho. Otro estudio [17] propone crear eco-ladrillos rellenos con un solo tipo de desecho inorgánico para recuperar el material de relleno; en la investigación se caracterizó la densidad, volumen de llenado, contracción térmica, módulo elástico y capacidad de recuperación de su deformación, se consideró cuatro materiales de relleno diferentes: a) PET; b) papel & cartón; c) Tetrapak; y d) metal [17].

Actualmente, el sector de la construcción consume una gran cantidad de materias primas para construir sus edificios, lo que genera un gran volumen de materiales de desecho. Por lo tanto, este sector tiene gran interés en disminuir el consumo de recursos naturales, promoviendo técnicas constructivas que se rijan por criterios sostenibilidad. Por ello, en los apartados anteriores, se han descrito diferentes alternativas para la elaboración de mampuestos con la incorporación de residuos que mejoran sus propiedades mecánicas, acústicas y térmicas.

### **2.7. NUEVOS MATERIALES ABSORBENTES ACÚSTICOS OBTENIDOS A PARTIR DE RESTOS DE BOTELLAS DE PLÁSTICO**

En lo referido a la acústica de la edificación es habitual el uso de materiales absorbentes acústicos basados en materiales fibrosos. En obra existen diversas resoluciones probadas tanto para acondicionar de manera acústica como para aislar. Además, estas fibras ya son parte del Catálogo de Elementos Constructivos (CEC), el cual es un documento reconocido que acompaña al Documento Básico de Protección Frente al Ruido (DB-HR) del Código Técnico de la Edificación (CTE).

Estos materiales brindan algunas ventajas como las siguientes: son hipoalergénicos, son lavables, se los puede obtener mediante reciclaje y la aplicación de estas fibras técnicas permite cumplir con la normativa contra el fuego; Certificado EUROCLASES (Instituto Tecnológico del Textil, AITEX, N° Ensayo: 2007AN7105 según norma UNE EN ISO 11925 y-2:2002 y UNE EN 12823:2002). El producto no es inflamable ni sus humos son tóxicos al ser inhalados, según la exigencia CTE. Estos productos también han sido

utilizados en otros ámbitos tales como construcción de recintos acústicos o en la fabricación de conducciones de aire acondicionado.

La lana de poliéster brinda todas las ventajas citadas anteriormente y su beneficio en los ámbitos del acondicionamiento o aislación acústica es fácilmente comprobable. Actualmente uno de los problemas que presenta este material es que su fibra es obtenida del petróleo, produciéndose así un incremento en su precio cada vez mayor en los últimos años. Debido a la existencia de empresas afiliadas con el textil cuyas líneas de fabricación están basadas mayormente en fibra de poliéster, es de gran importancia la búsqueda de nuevas fibras que sean parecidas o idénticas pero que tengan un menor impacto en su obtención. Es por ello que las fibras obtenidas del reciclado plástico se vuelven una opción para la elaboración de nuevos materiales absorbentes acústicos.

En una investigación [18] se compararon los resultados obtenidos con las lanas obtenidas del reciclado plástico con las lanas obtenidas del petróleo realizando el mismo proceso de fabricación industrial, valorando el comportamiento acústico, el coeficiente de absorción en una cámara reverberante y proyectando un modelado semiempírico del comportamiento acústico de las lanas obtenidas con el PET reciclado.

Los materiales obtenidos presentaron las características absorbentes acústicas requeridas. Además, en la fabricación se podrá obtener un material estable utilizando la misma maquinaria y siguiendo el mismo proceso de las lanas de poliéster convencionales. También, se pudo determinar desde el punto de vista teórico que la correlación entre valores obtenidos en el laboratorio y los predichos, con los obtenidos en la investigación fue satisfactorio [18].

## **2.8. PROPIEDADES MECÁNICAS Y TÉRMICAS DE LADRILLOS QUE UTILIZAN PLÁSTICO PET DE DESECHO**

Para reducir la cantidad de desperdicio que producen los plásticos PET esta investigación realizó ladrillos elaborados con botellas de plástico en sustitución de los ladrillos que solo utilizan arcilla y cemento [19]. El objetivo de este estudio fue reusar las botellas de plástico compuestas por aglomerante de poliuretano y tereftalato de polietileno. Los porcentajes utilizados para la realización de los ladrillos fueron porcentajes de: 20%, 40%, 60% y 80%. Tras pesar los materiales, se mezclan hasta obtener una mezcla

consistente y homogénea que se vierte en los diferentes moldes. Además, se realizó un proceso de vibrado para que las burbujas de aire atrapadas salieran a la superficie. Finalmente, las muestras fueron curadas al aire durante 3 días para ser desmoldadas y obtener la resistencia requerida (Figura 2.8).



**Figura 2.8** Vista superior y lateral, Fuente: “Mechanical and Thermal Properties of Interlocking Bricks Utilizing Wasted Polyethylene Terephthalate,” 2020. [19]

Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión, tracción directa, resistencia al impacto y conductividad térmica, obteniendo una buena resistencia a compresión para una relación de PUR/PET de entre 60/40, la cual puede ser utilizada para muro de ladrillo en mampostería sin carga; también mostro una buena resistencia al impacto, superior a otros proyectos realizados con residuos, siendo la mayor una resistencia de impacto de 23.3 J/m. En las pruebas de conductividad se obtuvieron resultados satisfactorios ya que estuvieron en un rango de 0.15 a 0.2 W/mK, valores de unun buen aislante térmico [19].

Las edificaciones que contengan paredes con botellas de PET pueden mantener la temperatura ambiente además de contribuir al ahorro de energía y reducción de costes, contribuyendo así al respeto por el medio ambiente, ya que, proporcionan un sistema de control térmico de manera artificial [20].

La implementación del eco-ladrillo de mampostería utilizado para la construcción de viviendas en zonas rurales de países que tengan ingresos bajos es significativamente pequeña. En otra investigación se estudiaron las características y beneficios de los eco-ladrillos. En la aldea de Yelwa (Nigeria) fue el lugar donde se edificó el primer edificio con ladrillos de botella de PET. La importancia de este estudio radica en contribuir a disminuir los desechos plásticos y el déficit que existe en las casas en zonas rurales [21].

## 2.9. ENSAYOS TÍPICOS, Y SU METODOLOGÍA, PARA LA ELABORACIÓN DE BLOQUES DE ADOBE

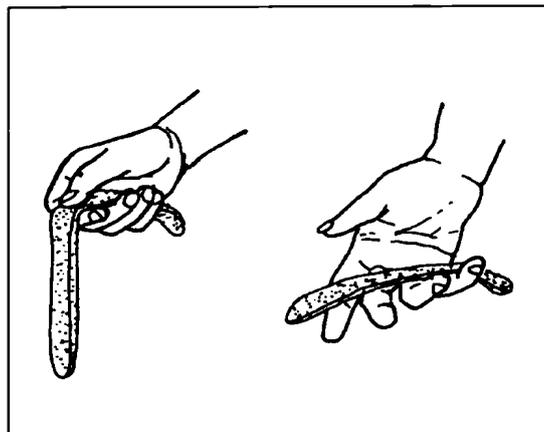
En este apartado se recogen diferentes ensayos típicos para la elaboración de bloques de adobe, diferenciando entre ensayos de campo y ensayos de laboratorio. Estos ensayos serán tenidos en cuenta a lo largo de la presente investigación para la elaboración de los bloques de adobe objeto de estudio. Los que sean necesarios serán realizados y supervisados en el laboratorio de mecánica de suelos que se encuentra en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

### 2.9.1. Ensayos de campo

Para conocer la calidad del suelo que se va a utilizar para elaborar son necesarios los siguientes ensayos según la norma E-080:

#### Cinta de barro

Este ensayo brinda una evaluación previa del suelo con la finalidad de buscar la presencia o no de arcilla. Para este ensayo es necesario humedecer una muestra de barro para luego elaborar un cilindro de 12 mm de diámetro, se coloca en una mano y se procede a aplanar poco a poco utilizando los dedos índice y pulgar, para finalmente dejar descolgar la muestra cuando se forma una cinta de 4mm de espesor (Figura 2.9). Si la muestra logra una longitud entre 20 cm y 25 cm significa que el suelo es muy arcilloso, mientras que si se parte a los 10 cm o menos el suelo contiene poca cantidad de arcilla [22].



**Figura 2.9** Ensayo de la cinta (cohesión), Fuente: Manual Construcción En Tierra: La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual, 2005 [23]

### **Resistencia seca**

Para este ensayo se debe elaborar 4 bolitas de suelo con la mínima cantidad de agua posible, posteriormente se las deja secar por 48 horas para luego presionar fuertemente cada una de las muestras (Figura 2.10). Si la bolita se agrieta o se rompe entonces es necesario buscar otra ubicación para conseguir el suelo, mientras que, si todas las muestras resisten a la presión, el suelo es óptimo para utilización en la fabricación de bloques [22].



**Figura 2.10** Presencia de arcilla, Fuente: “Diseño y construcción con tierra reforzada NORMA E. 080,” 2017 [22]

## **2.9.2 Ensayos de laboratorio**

### **Contenido de humedad**

Es la relación que existe entre el peso del agua contenida y el peso de su parte sólida, dicho de otra manera, es la cantidad de agua que existe en una determinada muestra de suelo, expresada en porcentaje.

La norma INEN 690 especifica el siguiente procedimiento para la realización de este ensayo:

- Marcar cada recipiente y pesar su masa ( $m_1$ ), teniendo en cuenta que estos recipientes deben estar libres de impurezas y secos.
- Se debe colocar la muestra de suelo en los distintos recipientes para luego determinar su respectiva masa ( $m^2$ ).

- Se ubica el recipiente con la muestra húmeda en el horno para ser sometido a una temperatura aproximada de 105°C por 24 horas.
- Se debe tomar el peso del recipiente más la muestra de suelo seco ( $m_3$ ) de manera inmediata al ser sacada del horno.[24]

$$w = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$$

Donde:

w = contenido de agua en porcentaje (%).

$m_1$  = masa del recipiente en gramos.

$m_2$  = masa del recipiente y suelo húmedo en gramos.

$m_3$  = masa del recipiente y suelo seco en gramos.

### **Granulometría**

Ensayo que consiste en aislar una muestra de suelo con diversas partículas de un mismo rango, para lo que es necesario el uso de los tamices que son ubicados de mayor a menor gradualmente con la finalidad de medir el tamaño y cantidad de partículas que se encuentran en una muestra de suelo.

La norma NTE INEN 696 especifica los siguientes pasos para la realización de este ensayo:

- La muestra de suelo para un árido fino debe ser mínima de 300 gr.
- Se debe secar la muestra en el horno bajo una temperatura aproximada de 110°C.
- Seleccionar los tamices necesarios cuyos tamaños de abertura cubran los tamaños de las partículas del suelo a ensayarse. Se debe utilizar la cantidad de tamices adicionales que se considere conveniente para lograr obtener una información adicional para lo cual se debe ordenar los tamices a ser utilizados de mayor a menor según la abertura y ubicar la muestra en el tamiz superior.

- Agitar todos los tamices con ayuda de una tamizadora eléctrica por un tiempo suficiente para que el material pueda distribuirse de manera óptima por todos los tamices.
- Tomar el peso de cada incremento de tamaño con una balanza electrónica. La masa total del material al final del tamizado debe ser similar a la masa de la muestra original con una variación máxima de 0.3% [25].

Diversos autores han propuesto algunos porcentajes óptimos entre arena, limo y arcilla para la fabricación de bloques de adobe como es el caso de Moscoso el cual en su investigación: “El adobe, sus características y el confort térmico” propone arcilla en un 15% mientras que para arena un 70%.

### **Límites de Atterberg**

De acuerdo al contenido de humedad que tengan los suelos, pueden tener 4 estados de consistencia los cuales son: líquido, plástico, semisólido y sólido, los cuales son marcados por medio de los índices de Atterberg [23].

### **Límite Líquido**

En este ensayo se procede a determinar el contenido de agua en un suelo cuyo comportamiento se encuentre entre líquido y plástico por medio del uso de la copa de Casagrande.

Según la norma NTE INEN 691 se debe proceder según los siguientes pasos:

- Obtener una muestra que pase por el tamiz #40 de 250 gr de peso
- Colocar agua oxigenada a la muestra hasta conseguir una pasta uniforme y densa que pueda moldearse fácilmente con los dedos.
- Añadir la pasta en la copa y esparcirla con cuidado de no formar burbujas de aire ayudándonos de la espátula.

- Enrasar la muestra con la espátula de tal forma que se encuentre paralela a la base con una profundidad de 10mm en la parte de espesos máximo.
- Con ayuda del acanalador realizar un canal con cuidado de despegar el material de la copa.
- Para que no se produzca una fisura de la muestra en los lados del canal, la norma permite hasta 6 recorridos del acanalador y solo el ultimo puede tocar el fondo de la copa.
- Colocar la copa en el dispositivo mecánico (cuchara de Casagrande) teniendo en cuenta que en la base y la superficie baja de la copa deben estar libre de suelo o agua. Girar manualmente el manubrio o activar el sensor electrónico a 2 revoluciones por segundo, tomar los golpes necesarios para que las 2 divisiones de la muestra de coloquen en contacto con el fondo de la abertura y con una distancia continua de 10mm.
- Si la cantidad de golpes esta entre 35 y 45 se puede continuar con el ensayo, caso contrario se debe añadir una mayor cantidad de agua o secarlo al aire para repetir el procedimiento.
- Devolver la muestra al recipiente y añadir la siguiente muestra.
- Se debe repetir el procedimiento hasta que 3 ensayos consecutivos den la misma cantidad de golpes para cerrar el canal.
- Colocar una muestra de 10 gr en un recipiente adecuado para determinar el contenido de humedad.
- Volver a realizar los mismos procedimientos de tal manera que el número de golpes se encuentre entre 5 a 45 golpes para cerrar el canal.

Una vez culminado el proceso del ensayo se procede a realizar la curva de escurrimiento, la cual se realiza con el número de golpes versus el contenido de humedad.

Para determinar el límite líquido se realiza una interpolación de la curva de flujo, se encuentra dada por la intersección entre el contenido de agua y su correspondiente a los 25 golpes, redondeándolo a número entero más cercano [26].

### **Límite Plástico**

Mediante este ensayo se puede determinar el contenido de agua del suelo en el estado plástico a seco o sólido. Este ensayo se lo realiza en base a la norma NTE INEN 692.

- Tomar una muestra homogénea y plástica de 30 gr para poder formar una bola procurando que esta no se adhiera a los dedos al ser comprimida.
- Con 10 gr de la muestra se debe formar una bola con ayuda de los dedos para luego amasarla hasta que se produzcas pequeñas grietas.
- Mantener una rotación entre la palma y la placa de vidrio esmerilado para formar un rollo de 3mm diámetro con alrededor de 5 a 15 movimientos.
- Si se produce un desmenuzamiento del rollo antes de llegar a los 3 mm se debe repetir el proceso nuevamente.
- Colocar las muestras desmenuzadas del suelo en un recipiente, para proceder a determinar el contenido de humedad.
- Se debe repetir el procedimiento hasta lograr obtener 3 muestras más.

Para determinar el valor del límite plástico (LP) se debe sacar el promedio entre el contenido de humedad obtenido entre todas las muestras ensayadas [27].

### **Índice plástico**

Es el valor obtenido entre la diferencia de los límites líquido y plástico (Tabla 2.1). Este valor nos permite determinar la posibilidad que existe de hinchamiento del suelo en donde, mientras más alto sea este valor, más hinchamiento tendrá el suelo al humedecerse y más se contraerá al secarse.

Tipo de barro	LL (%)	LP (%)	IP = LL-PL
Muy arenoso	10 – 23	5 – 20	<5
Muy limoso	15 – 35	10 – 25	5 – 15
Muy arcilloso	28 – 150	20 – 50	15 – 95
Bentonita	40	8	32

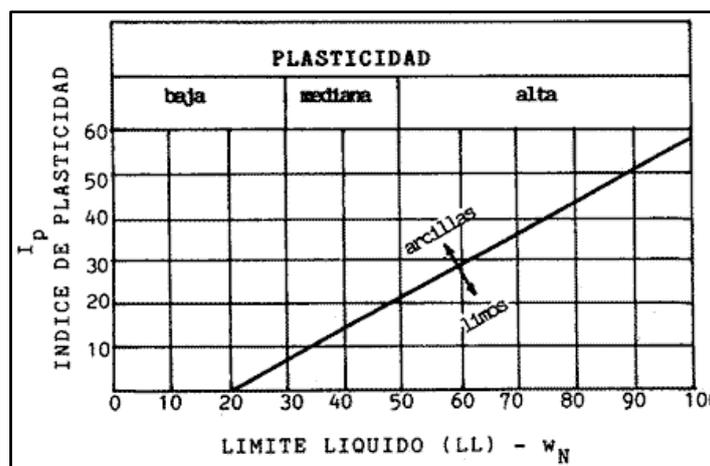
**Tabla 2.1** Índice de Plasticidad de barros (según Voth,1978), Fuente: *Manual Construcción En Tierra: La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*, 2005. [23]

**Ensayo de compresión**

Para la realización de este ensayo se requiere bloques cúbicos de 10 cm de arista y la máquina de compresión y flexión que se encuentra en el laboratorio de ensayo de materiales. La norma E-080 especifica que la resistencia mínima para la compresión es de 1MPa o 10.2 Kg/cm<sup>2</sup>. Los cubos ensayados deben estar dentro del promedio de las cuatro mejores muestras de entre 6 [22].

**Clasificación del suelo en base a la AASHTO**

AASHTO M-145 efectúa una clasificación del suelo donde busca principalmente juzgar la aceptabilidad de un suelo basándose en la medición numérica de la calidad del suelo (Figura 2.11 y Tabla 2.2). La clasificación se basa en buscar la primera columna de la izquierda a derecha que haga que todos los requisitos en el suelo encajen dentro de los rangos definidos, de acuerdo a la granulometría por tamizado y a los límites de Atterberg.



**Figura 2.11** Carta de plasticidad de la AASHTO para clasificación del suelo, Fuente: AASHTO M-145

Clasificación	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)							Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200)			
	A-1		A-3	A-2-4				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Grupo:	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
<b>Porcentaje que pasa:</b>											
N° 10 (2mm)	50 máx	-	-			-		-			
N° 40 (0,425mm)	30 máx	50 máx	51 mín			-		-			
N° 200 (0,075mm)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx				36 mín			
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40											
Límite líquido	-	-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín (2)
Índice de plasticidad	6 máx	NP (1)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Constituyentes principales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Características como subgrado	Excelente a bueno							Pobre a malo			

**Tabla 2.2** Sistema de clasificación del suelo AASHTO M – 145, Fuente: AASHTO M-145

## 2.10. ENSAYOS TÍPICOS, Y SU METODOLOGÍA, PARA LA LABORACIÓN DE BLOQUES ALIVIANADOS

Con el objetivo de realizar una correcta dosificación del hormigón para la elaboración de los bloques, es necesario realizar ensayos a los áridos para conocer las propiedades físicas. Los procedimientos de los ensayos se encuentran descritos en las normas ASTM e INEN y son los siguientes:

- Granulometría del árido fino y grueso según la norma NTE INEN 696.
- Densidad aparente o masa unitaria suelta y compactada del árido grueso y fino según la norma NTE INEN 858.
- Densidad real, densidad relativa o gravedad específica y absorción del árido grueso según la norma NTE INEN 857.
- Densidad real, densidad relativa o gravedad específica y absorción del árido fino según la norma NTE INEN 856.
- Densidad real del cemento según la norma NTE INEN 156.
- Contenido de humedad del árido grueso y fino según la norma NTE INEN 862.

**Granulometría del árido fino**

Este método se utiliza principalmente para determinar la graduación de materiales para ser utilizados como áridos para hormigón mediante el tamizado de una muestra en una serie de tamices llamada de Serie de Tyler.

Para que un árido fino pueda ser utilizado para el hormigón a emplear en la presente investigación, su granulometría puede estar comprendida en los límites especificados en la Tabla 2.3.

TAMIZ INEN	TAMIZ ASTM	PORCENTAJE QUE PASA
9.5 mm	3/8 "	100
4.75 mm	# 4	95 - 100
2.36 mm	# 8	80 - 100
1.18 mm	# 16	50 - 85
0.60 mm	# 30	25 - 60
0.30 mm	# 50	10 - 30
0.15 mm	# 100	2 - 10
0.074 mm	# 200	-

**Tabla 2.3** Serie de Tyler y Límites especificados para árido fino, Fuente: NTE INEN

872

De acuerdo a la norma ASTM C125, el módulo de finura para arenas para hormigones debe estar entre 2.3 y 3.1; si el módulo de finura disminuye, el material es más fino y representa un aumento en la superficie específica y viceversa; esto afecta en la trabajabilidad, textura superficial y segregación de hormigón.

**Procedimiento:**

- Secar la muestra hasta obtener una masa constante a temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  por un periodo de 24 horas.
- Tomar una muestra representativa no menor a 300 gramos para ensayar.
- Ordenar los tamices en forma descendente.

- Verter la muestra sobre los tamices y colocarlo sobre la tamizadora.
- El tiempo de tamizado debe ser el necesario para que no más del 1% en masa del material retenido pase el tamiz durante 1 minuto de tamizado manual continuo.
- Pesarse el contenido de cada tamiz en una balanza electrónica.
- Calcular el módulo de finura como la centésima parte de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices #100, #50, #30, #16, #8, #4, 3/8" y 3/4" o según lo que especifique la norma ASTM C125 (NTE INEN 696, 2011).

**Granulometría del árido grueso**

Para que un árido grueso pueda ser utilizado para el hormigón empleado en la presente investigación, su granulometría debe estar comprendida en los límites especificados en la Tabla 2.4.

TAMIZ INEN	TAMIZ ASTM	PORCENTAJE QUE PASA
50.80 mm	2"	100
38.10 mm	1 ½"	95 - 100
26.67 mm	1"	-
18.85 mm	¾"	35 - 70
13.32 mm	½"	-
9.5 mm	3/8"	10 - 30
0.15 mm	#4	0 - 5

**Tabla 2.4** Serie de Tyler y Límites especificados para árido grueso, Fuente: NTE INEN

872

Varios estudios han demostrado que una resistencia a compresión alta, con elevada cantidad de cemento y baja relación agua-cemento, se logra manteniendo un tamaño nominal máximo del árido en lo mínimo posible. Para la elaboración de hormigones, el árido grueso debe tener un tamaño nominal máximo entre 3/4" a 1 ½".

**Procedimiento:**

- Secar la muestra hasta obtener una masa constante a temperatura de 110 ± 5 °C por un periodo de 24 horas.
- Tomar una muestra representativa no menor a 1000 gramos para ensayar.

- Ordenar los tamices en forma descendente.
- Verter la muestra sobre los tamices y colocarlo sobre la tamizadora o agitar manualmente.
- El tiempo de tamizado debe ser el necesario para que no más del 1% en masa del material retenido pase el tamiz durante 1 minuto de tamizado manual continuo.
- Pesar el contenido de cada tamiz en una balanza electrónica.
- Calcular el tamaño nominal máximo del árido, analizando el primer tamiz anterior en el que exista el 15% o más de material retenido acumulado.

### **Densidad aparente o masa unitaria del árido grueso y fino**

- **Densidad aparente del árido fino y grueso**

Se calcula como la relación entre la masa del árido que ocupa en un recipiente para el volumen del recipiente. Este cálculo es utilizado para determinar los valores de masa unitaria o peso unitario que son necesarios para establecer una dosificación en mezclas de hormigón (Figura 2.12).

#### **Procedimiento:**

- Determinar el peso y el volumen del recipiente.
- Colocar el árido con una pala desde una altura no mayor a 5 cm del borde del recipiente hasta llenarlo, enrasar con la varilla metálica de punta redonda y pesar.
- Determinar la densidad aparente suelta dividiendo el peso solo del árido para el volumen del recipiente.



**Figura 2.12** Densidad aparente de los áridos. Fuente: Elaboración Propia

- **Densidad aparente compactada del árido fino y grueso**

Se calcula como la relación entre la masa del árido compactado que ocupa en un recipiente para el volumen del recipiente. Este cálculo es utilizado para determinar los valores de masa unitaria o peso unitario que son necesarios para establecer una dosificación en mezclas de hormigón (Figura 2.13).

**Procedimiento:**

- Determinar el peso y el volumen del recipiente.
- Llenar el recipiente con el árido hasta 1/3 de su volumen y compactar con la varilla de acero de punta redonda dando 25 golpes de forma distribuida sin golpear el fondo del recipiente.
- Colocar la segunda capa de material hasta los 2/3 de su volumen y repetir los 25 golpes sin que estos penetren la capa anterior.
- Llenar el recipiente sobrepasando el borde, compactar, enrasar y pesar.



**Figura 2.13** Densidad aparente compactada de los áridos, Fuente: Elaboración Propia

- **Densidad aparente compactada de la mezcla**

Para el método a emplearse en la dosificación de los bloques se necesita una densidad aparente compactada de una mezcla de árido fino con grueso. Se utiliza el método descrito para las densidades aparentes en la norma NTE INEN 858, en la que se va determinando una densidad aparente para diferentes porcentajes de árido fino y grueso hasta obtener una densidad máxima de la mezcla. Según el procedimiento de dosificación “Método de Densidad Óptima”, el porcentaje óptimo de árido fino se obtienen restando un 4% a su

respectivo valor máximo y en el caso del árido grueso, este se suma el 4%, porcentajes con los que se interseca en la curva de densidades (Figura 2.14).

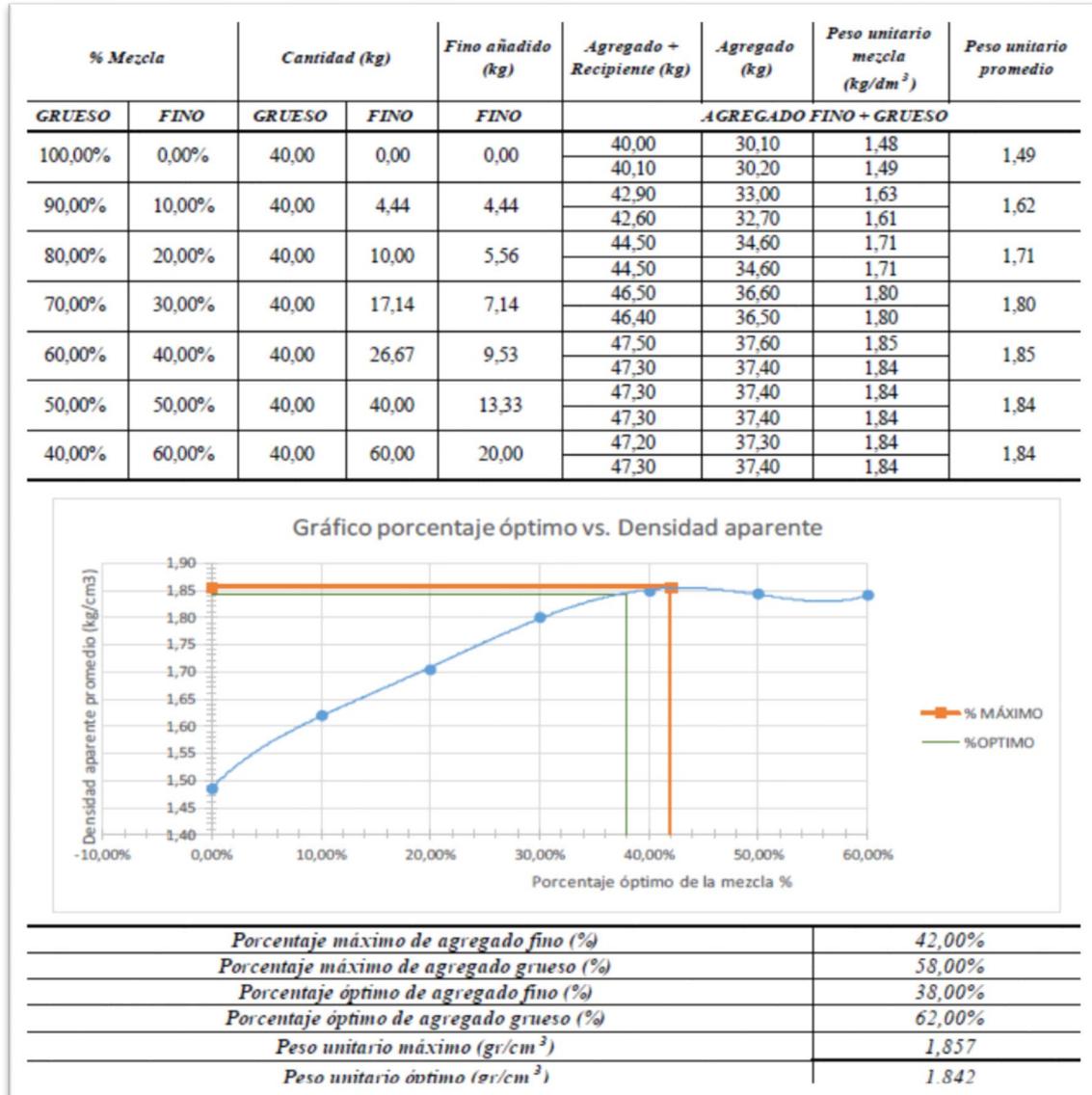


Figura 2.14 Ejemplo de ensayo de mezcla compactada, Fuente: NTE INEN 858

**Densidad real, densidad relativa o gravedad específica y absorción del árido grueso**

El peso específico, gravedad específica o densidad relativa es la característica utilizada para el cálculo del volumen ocupado por un árido en la mezcla de hormigón u otras mezclas que se basan en un volumen absoluto. La gravedad específica también se utiliza para calcular el porcentaje de huecos entre las partículas del árido, calcular la humedad

superficial mediante desplazamiento de agua y la capacidad de absorción que posee el árido.

**Procedimiento:**

- Sumergir en agua una muestra mayor a los 1000 gramos de árido grueso por un periodo de  $24 \pm 4$  horas.
- Extraer la muestra y retirar el agua superficial con una toalla hasta que el material se encuentre en un estado de Saturado Superficie Seca (SSS), es decir, que el material no presente la brillo por humedad.
- Determinar el peso específico aplicando el método volumétrico utilizando la canastilla metálica con tapa.
- Determinar la capacidad de absorción pesando una muestra en estado SSS y luego dejarla secar al horno por 24 horas. Comparar la diferencia en relación a la muestra secada al horno entre el peso inicial de la muestra SSS y su peso secado al horno.

**Densidad real, densidad relativa o gravedad específica y absorción del árido fino**

El peso específico, gravedad específica o densidad relativa es la característica utilizada para el cálculo del volumen ocupado por un árido en la mezcla de hormigón u otras mezclas que se basan en un volumen absoluto (Figura 2.15). La gravedad específica también se utiliza para calcular el porcentaje de vacíos entre las partículas del árido, calcular la humedad superficial mediante desplazamiento de agua y la capacidad de absorción que posee el árido.

**Procedimiento:**

- Sumergir en agua una muestra de 500 gramos de árido fino por un periodo de  $24 \pm 4$  horas.
- Extraer la muestra y retirar el agua superficial hasta que el material se encuentre en un estado SSS, se comprueba con el ensayo del cono truncado.
- Determinar el peso específico aplicando el método volumétrico, midiendo el volumen desplazado por el árido en un picnómetro calibrado.

- Determinar la capacidad de absorción pesando una muestra de 500 gr en estado SSS y luego dejarla secar al horno por 24 horas. Comparar la diferencia en relación a la muestra secada al horno entre el peso inicial de la muestra SSS y su peso secado al horno.



**Figura 2.15** Densidad real del árido fino, Fuente: Elaboración Propia

### **Densidad real del cemento**

La determinación de la densidad real del cemento consiste en establecer la razón entre la masa del cemento y el volumen de un líquido no reactivo de la masa que se desplaza en un frasco de Le Chatelier o de un picnómetro (Figura 2.16). Para la determinación de la densidad se debe utilizar queroseno libre de agua o nafta y que posea una densidad mayor a  $0.73 \text{ gr/cm}^3$  en una temperatura de  $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ .

Los valores de densidad real varía muy poco de un cemento a otro y estos valores oscilan entre  $2.9 \text{ gr/cm}^3$  a  $3.15 \text{ gr/cm}^3$ .

### **Procedimiento:**

- Pesar los equipos antes de su uso.
- Colocar una cantidad de cemento en el picnómetro evitando que quede partículas en las paredes.
- Verter el queroseno hasta  $2/3$  del volumen del balón del picnómetro.
- Sacar el aire del picnómetro con movimientos circulares y en posición inclinada por 2 minutos.
- Aplicar el método volumétrico de desplazamiento para determinar masa, volumen y densidad del cemento.



**Figura 2.16** Densidad real del cemento, Fuente: Elaboración Propia

### **Contenido de humedad del árido fino y grueso**

El contenido de humedad de un árido se lo define como la humedad que se evapora de una muestra en estado natural al ser secado en un horno (Figura 2.17). La humedad que se pierde en el secado corresponde a la humedad superficial y a la humedad contenida en los poros del árido.

#### **Procedimiento:**

- Pesar los recipientes metálicos a ocupar.
- Proporcionar una muestra natural representativa que no supere el volumen del recipiente.
- Pesar la muestra y dejarla secar en el horno por un periodo de 24 horas.
- Pesar la muestra seca.
- Expresar la cantidad de agua evaporada como porcentaje respecto a la masa de la muestra seca.



**Figura 2.17** Contenido de humedad de los áridos, Fuente: Elaboración Propia

**Dosificación de hormigón: Método de las Densidades Óptimas**

**Procedimiento:**

- Seleccionar la relación agua/cemento (W/C) de la Tabla 2.5.

<b>Resistencia a la compresión a</b>	<b>Relación agua/cemento</b>
45	0.37
42	0.4
40	0.42
35	0.46
32	0.5
30	0.51
28	0.52
25	0.55
24	0.56
21	0.58
18	0.6

**Tabla 2.5** Resistencia a la compresión del Hormigón basado en la relación agua/cemento, Fuente: Garzón M (2010). Seminario de investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón.

- Calcular la Densidad Real de la Mezcla (DRM).

$$DRM = \frac{DRA \times POA + DRR \times POR}{100}$$

- Calcular el Porcentaje Óptimo de Vacíos (POV).

$$POV = \frac{DRM - DOM}{DRM} \times 100$$

- Calcular la cantidad de pasta (CP).-La ecuación se escogerá según el grado de trabajabilidad y plasticidad adecuados para el hormigón, en base al asentamiento requerido (Tabla 2.6).

<b>Asentamiento en cm</b>	<b>Cantidad de Pasta en %</b>
0 - 3	POV + 2% + 3%(POV)
3 - 6	POV + 2% + 6%(POV)
6 - 9	POV + 2% + 8%(POV)
9 - 12	POV + 2% + 11%(POV)
12 - 15	POV + 2% + 13%(POV)

**Tabla 2.6** Cantidad de Pasta en función del asentamiento requerido, Fuente: Garzón M (2010). Seminario de investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón.

- Calcular la cantidad de cemento (C).

$$C = \frac{CP}{\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC}}$$

- Calcular la cantidad de Agua (W).

$$W = \frac{W}{C} * C$$

- Calcular la cantidad de Árido fino (A).

$$A = (1000 - CP) * \frac{DRA * POA}{100}$$

- Calcular la cantidad de Árido grueso (R).

$$R = (1000 - CP) * \frac{DRR * POR}{100}$$

- Calcular la dosificación al peso.

$$\text{Dosificación } (W, C, A, R) = \frac{\text{Cantidad de material } (W, C, A, R) \text{ por m}^3}{\text{Cantidad de cemento } (C)}$$

Los valores que se calculan en la dosificación están bajo la hipótesis de que los materiales empleados están en condición SSS, lo cual es muy poco probable que se cumpla en obra, por lo que, es necesario realizar una corrección por humedad a los áridos. Se recomienda también, tener un control minucioso de la cantidad de agua usada analizando su asentamiento en estado fresco.

## CAPÍTULO 3

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

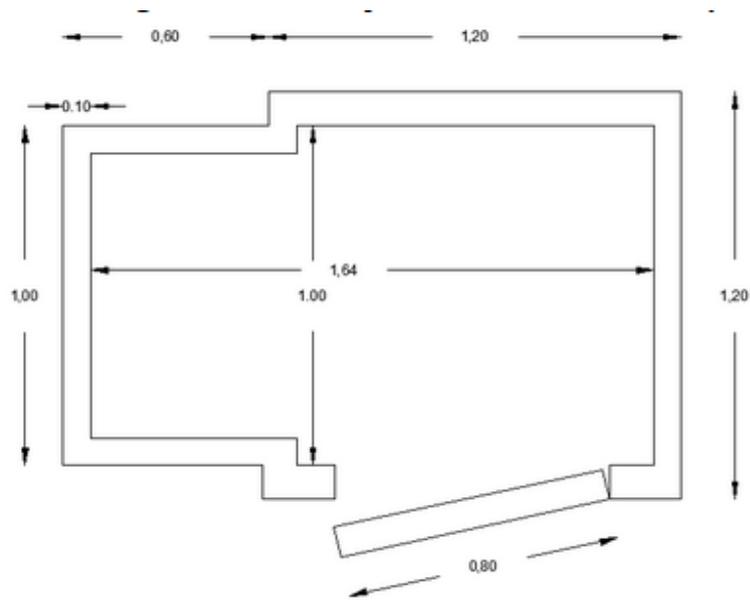
En este capítulo se recoge la metodología para elaborar los bloques de adobe y los bloques de hormigón alivianados, así como, la procedencia de los materiales empleados para su fabricación, incluidos los materiales de desecho estudiados (aserrín, poliestireno, plástico PET, bolsas de plástico TBP).

Además, se explican los ensayos acústicos y térmicos a realizar sobre los bloques elaborados, para lo cual, se construyó *ad hoc* una cámara de ensayo cuyas dimensiones y estructura se pueden consultar en el apartado 3.2 del presente documento.

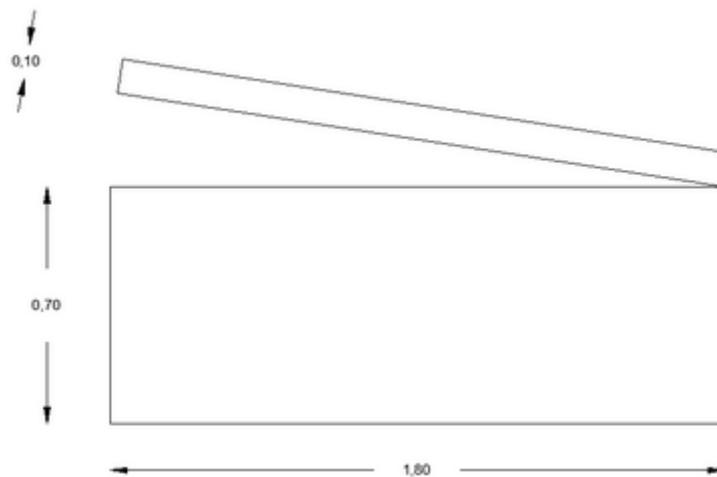
Para la realización de algunos de los ensayos se ha contado con una máquina de compresión y flexión para hormigón de la marca SHIMADZU, modelo CONCRETO 2000. Este equipo permite la realización de ensayos tanto a compresión como a flexión de probetas de mortero u algún otro material. Se encuentra equipada con un control de procesamiento de alta velocidad que permite un trabajo de manera simple, compatible con hormigones de resistencia extremadamente alta. Tiene una capacidad de carga máxima de 2000 KN, una velocidad máxima de 20 mm/min. Además, se mantiene conforme a las normas vigente ASTM, ISO Y JIS.

#### 3.2. CÁMARA DE ENSAYO

Esta cámara ha sido fabricada de acuerdo a la norma NCh-851, la cual permite obtener de los parámetros de temperatura y aislamiento acústico de los materiales. Las paredes que forman esta cámara están fabricadas con paneles de fibra de vidrio, material aislante, con dimensiones acordes a los especímenes que van a ser ensayados. Las dimensiones de la cámara de ensayo fueron diseñadas tomando en cuenta el tamaño de los bloques de alivianados, a continuación, se muestra la cámara en planta (Figura 3.2) y en perfil (Figura 3.3).

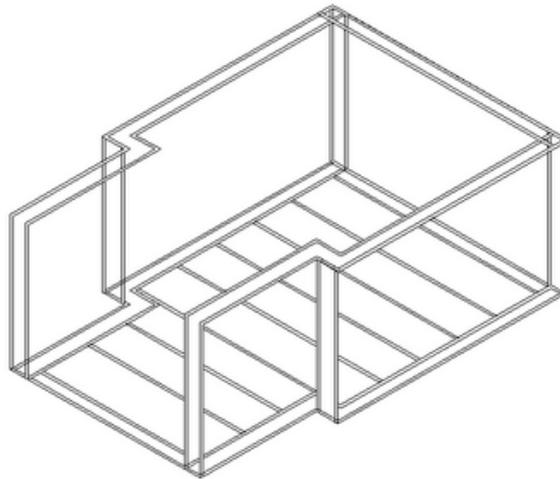


**Figura 3.1** Vista en planta de la cámara de ensayo, Fuente: Elaboración Propia

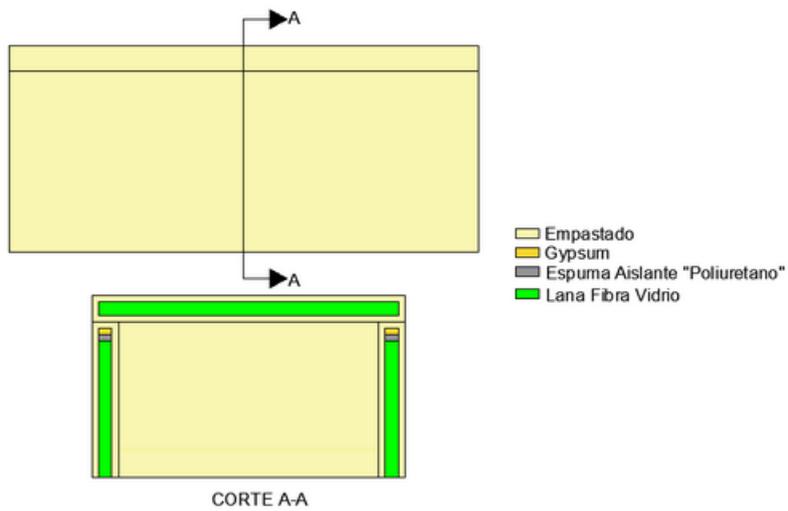


**Figura 3.2** Vista en perfil de la cámara de ensayo, Fuente: Elaboración Propia

La cámara de ensayos se armó con una estructura metálica de perfiles tubulares cuadrados, de 15 mm por lado y 1.5 mm de espesor (Figura 3.4). Para recubrir el interior de la cámara se utilizó lana de fibra de vidrio de 5 cm, para el exterior se utilizó gypsum de 10 mm, se colocó una capa de espuma aislante y, por último, una capa de empastado (Figura 3.5). Se dejó secar la cámara por un periodo de 15 días después de la colocación de los acabados, obteniendo finalmente la cámara que se muestra en la Figura 3.6.



**Figura 3.3** Armazón de la cámara de ensayo, Fuente: Elaboración Propia

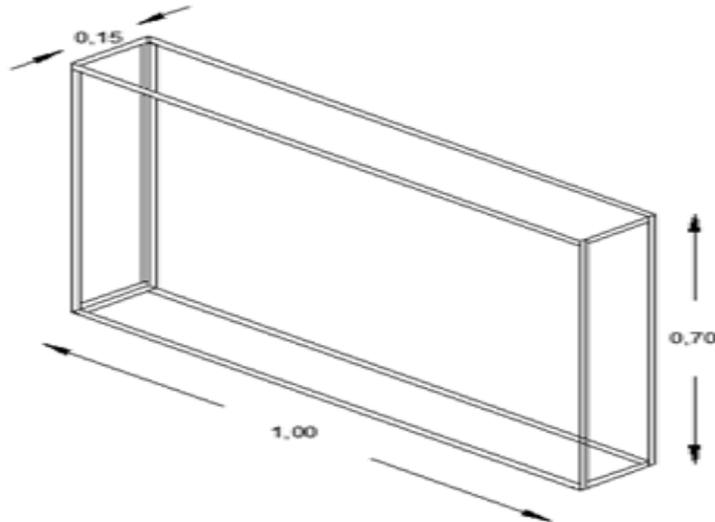


**Figura 3.4** Acabados de la cámara de ensayo, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 3.5** Cámara de ensayo terminada, Fuente: Elaboración Propia

Adicionalmente, es necesario fabricar moldes para las paredes de ensayo. En este sentido, se fabricaron 6 moldes con estructura metálica, con perfiles tubulares cuadrados, como los mostrados en la Figura 3.7.



**Figura 3.6** Moldes de las paredes, Fuente: Elaboración Propia

La cámara de ensayo se equipó con los siguientes componentes para poder realizar las medidas de una manera adecuada:

- **EQUIPO EXPLORE GLX.** Dispositivo electrónico cuya función es procesar datos en su sistema y entregar información en tablas y gráficas, ideal para el uso de estudiantes y docentes. Este equipo permite hasta 4 sensores PASPORT de manera simultánea, además de 2 sensores de temperatura y un último sensor de tensión los cuales son conectados de manera directa [28].
- **SENSOR PS-2140: SENSOR DE TEMPERATURA/NIVEL DE SONIDO/LUZ.** Sensor diseñado para trabajar con interfaz compatible con PASPORT y con el sistema de adquisición de datos PASCO, contiene un sensor que permite la obtención de la temperatura ambiente, temperatura de sonda, nivel de ruido en decibelios (dBA) y la intensidad de la luz, en lúmenes por metro cuadrado (lux). Sus especificaciones pueden consultarse en la Tabla 3.1 [29].

	Temperatura ambiente	Luz	Sonda de temperatura	Nivel de sonido
<b>Distancia</b>	-10 ° C a 50 ° C	0 a 5249 lux	-35 ° C a 135 ° C	40 a 90 Db
<b>Exactitud</b>	± 2 ° C	± 2 lux	± 0.5 ° C	± 3 Db
<b>Resolución</b>	0.01 ° C	0.1 lux	0.01 ° C	0.1 Db

**Tabla 3.1** Especificaciones de sensores de temperatura / luz / sonido, Fuente: Manual de Sensor de temperatura / nivel de sonido / luz [29]

- **FUENTE DE SUMINISTRO DE CALOR.** El calor suministrado se encuentra conformado por 6 focos de 1000w de potencia (Figura 3.8), alimentados por energía eléctrica, estos brindarán calor de manera uniforme y paralela a la pared de adobe en la parte interior de la cámara térmica. Para asegurar la uniformidad en la temperatura y en los factores superficiales deseados resulta suficiente una convección natural [30].



**Figura 3.7** Fuente de calor eléctrica, Fuente: Elaboración Propia

- **FUENTE DE EMISIÓN DE SONIDO.** Se encuentra constituido por un altavoz en la parte interior de la cámara (Figura 3.9), encargado de emitir sonido controlado por un amplificador de sonido en la parte exterior de la cámara de ensayo. La fuente acústica y el nivel de presión acústica se desarrolla conforme a la Norma NCh-2785 [31].



**Figura 3.8** Altavoz amplificador de ruido, Fuente: Elaboración Propia

### 3.3. OBTENCIÓN DE LOS MATERIALES

#### Obtención de la tierra

Para la ejecución de la presente investigación, la tierra para la realización de los bloques de adobe ha sido extraída de las parroquias del sector Pilahuin y Constantino Fernández (Figura 3.10), ubicadas en Pilisurco en la provincia de Tungurahua (Ecuador). En esta zona antiguamente se construyeron edificaciones con adobe ya que este sector contiene limo plástico en grandes cantidades. Una vez obtenida la muestra se procedió a llevarla a los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato para la realización de los respectivos ensayos de campo y laboratorio con la finalidad de comprobar las características del suelo.

El material utilizado para la elaboración de los bloques está libre de impurezas y posee características plásticas, lo que significa que tiene una presencia adecuada de arcilla y arena. La estructura del suelo varía según la ubicación, por lo que es necesario conocer la composición específica para poder analizar las características y de ser necesario modificar su estructura o buscar otra ubicación que cumpla con las propiedades necesarias.



**Figura 3.9** Obtención de la tierra para elaborar los bloques de adobe, Fuente:  
Elaboración Propia

#### Obtención del aserrín

En Ecuador el volumen de aserrín producido es difícil de cuantificar, esto se debe a que este material es un residuo que se almacena y vende en volúmenes que van variando considerablemente sobre todo en los meses de invierno. La obtención de este material depende de varios factores como el nivel de producción, el tipo de aserradero y el tipo de

proceso usado para su obtención. En esta investigación se utilizó el aserrín proveniente del aserradero del Paso lateral de Huachi (Figura 3.11), cuyas características son las siguientes: fino con partículas pequeñas con tamaños iguales e inferiores a 2 mm; grueso con partículas iguales o superiores a 2 mm e inferiores a 4.75 mm(tamiz nº4).



**Figura 3.10** Aserradero, Fuente: Elaboración Propia

Después de la obtención del material, se pudo establecer que la muestra más representativa del aserrín corresponde a un grupo de aserrín fino, teniendo la cantidad necesaria para la realización de la mezcla y para los respectivos ensayos. El material es llevado a hornos para el secado o también es secado al aire libre, teniendo en cuenta que no sea afectado por la humedad y mantenga el contenido de la misma entorno al 50%.

### **Obtención del poliestireno**

Este material derivado del petróleo es utilizado en diversas áreas de la construcción. Las perlas del mismo están enlazadas por agentes expansivos, que atrapan el aire y lo cohesionan, formando un elemento con propiedades físicas muy interesantes, como gran capacidad de aislamiento térmico y un coeficiente de conductividad térmica pequeño.

El poliestireno no es un material higroscópico y sus cantidades de absorción son generalmente mínimas, que van desde al 1% al 3%, al estar sumergido totalmente. Sin embargo, el vapor de agua puede expandirse dentro de la estructura de los bloques.

### **Obtención del plástico PET**

El reciclaje y la reutilización son el punto de partida mediante el cual los productos desechados pueden dar un uso igual o distinto para el cual fueron creados. Este proceso conlleva a la adquisición del material por medio de la compra a recolectores de calle, entidades recicladoras o de forma independiente con la implantación de un sistema de clasificación de desechos.

La forma de reciclaje independiente es el sistema de adquisición más económico ya que se puede implantar en hogares, centros de educación, centros de salud, locales comerciales, entre otros, mediante una clasificación y recolección diferenciada por medio de cubos de colores que separan los distintos tipos de desechos inorgánicos.

El proceso que tiene el polietileno tereftalato (PET), desde su adquisición hasta su trituración es el siguiente:

- Proceso de acopio. Se recolecta la mayor cantidad de materiales plásticos provenientes de centros grandes de reciclaje o de pequeños establecimientos que lo almacenan. En esta fase, se clasifica manualmente por tipos de plásticos y se almacena en pacas (Figura 3.12).



**Figura 3.11** Acopio de botellas plásticas, Fuente: Elaboración Propia

- Proceso de tratamiento. Se inicial el tratamiento con la descontaminación y compactación del plástico. Aquí el material se somete a una serie de procedimientos físicos, químicos y térmicos que garanticen que el plástico puede ser manejado sin ningún riesgo para la salud del ser humano.
- Proceso de trituración. Los plásticos entran a varias trituradoras con diferentes tamaños y separación de aspas y los muelen hasta convertirlos en hojuelas, gránulos o polvo, dependiendo del uso que se le vaya a dar al material. Dentro de los usos más comunes que se le da en la construcción son en mezclas asfálticas, elaboración de hormigones y elaboración de mampuestos. Las botellas plásticas que no son trituradas pasan a ser rellenadas con tierra y escombros para formar paredes prefabricadas o pequeños muros de contención.

#### **Obtención de bolsas plásticas TBP trituradas**

El reciclaje, principalmente que se realiza en cada hogar, en las empresas dedicadas al mismo, o por el consumo en supermercados o almacenes, son las formas más comunes de obtención de las bolsas plásticas.

- Con las bolsas plásticas ya en la recicladora, el primer paso a seguir es la clasificación a mano según su composición; polipropileno, y en polietileno de alta o baja densidad.
- Como segundo paso se tiene la extracción y retirada de las etiquetas, a continuación, el lavado.
- Las botellas preseleccionadas son enviadas al proceso de fundición en el extrusor, donde al llegar las botellas a su punto de fusión se produce una reacción térmica teniendo como resultado partículas en forma de granos.

### **3.4. FABRICACIÓN DE LOS BLOQUES DE ADOBE**

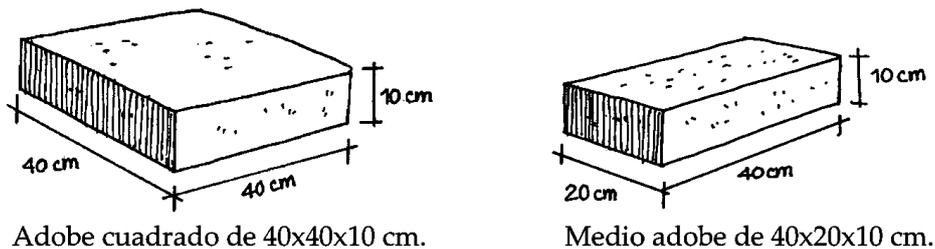
Como se mencionó anteriormente, el suelo seleccionado para la elaboración de los bloques debe contener una estructura aceptable en los porcentajes de arcilla, arena y limo,

para lo cual se realizan los correspondientes ensayos. Para la realización de la presente investigación se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones a la hora de fabricar los bloques de adobe:

### Dimensionamiento del adobe

Los bloques pueden tener forma tanto cuadrada como rectangular, tal y como, se puede observar en la Figura 3.13. Los adobes deben ser resistentes y anchos de tal manera que sean fabricados de acuerdo a la norma E-080.

- El bloque debe tener como lado máximo 40 cm por razones de peso.
- El largo de un bloque rectangular debe ser igual a dos veces su ancho.
- La altura del bloque debe estar entre 8cm y 12cm [22].



**Figura 3.12** Dimensión estándar de los adobes cuadrados y rectangulares, Fuente: Manual de Construcción con Adobe Reforzado con Geomallas.[32]

### Elaboración de la mezcla de adobe

- El suelo usado en la preparación de los bloques debe estar limpio de materia orgánica, piedra o desechos, por lo cual se debe realizar la tamización correspondiente.
- Se debe colocar la tierra en pequeñas tolvas para añadir hasta un 20%, del peso de la tierra, de agua con la finalidad de conseguir una mezcla trabajable y sin terrones.
- Se debe dejar descansar el barro 48 horas para conseguir activar la mayor cantidad de moléculas de arcilla antes del amasado.

- Añadir arena gruesa y aditivos es lo más recomendable para poder evitar la aparición de fisuras en los bloques.
- Amasar la mezcla bien hasta conseguir una masa uniforme [22].

### **Dosificación de las mezclas experimentales de adobe que incluyen residuos**

Los adobes objeto de estudio en la presente Tesis Doctoral, incorporan un 5%, 10% y 15% de aserrín y poliestireno, bolsas plásticas PET o bolsas plásticas TBP trituradas. Estos residuos se incorporaron a la mezcla en sustitución al árido grueso, tal y como queda definido para cada residuos, en el apartado correspondiente.

### **Moldeo de adobes**

Antes del moldeo se debe contar con un área plana que se encuentre libre de escombros, además se debe contar con una cubierta para evitar viento, lluvia y otros efectos climáticos adversos que alteren las propiedades de los bloques. Para la elaboración de los bloques se procedió de la siguiente manera:

- Preparar las adoberas, gaveras de madera o moldes. Los adobes presentan un encogimiento en el proceso de secado, por lo cual, se recomienda que los moldes tengan las siguientes dimensiones interiores: 41cm\*21cm\*11cm; mientras que, para los bloques que serán ensayados en laboratorio, las dimensiones internas del molde serán 11cm\*11cm\*11cm.
- Añadir agua en los moldes para humedecerlos.
- Se debe espolvorear el interior de los moldes con arena fina con la finalidad de evitar que la mezcla se pegue en los costados.
- Poner los moldes en el área plana bajo un tendal y añadir la masa de barro con fuerza hasta conseguir llenar los moldes.
- Compactar bien con ayuda de las manos o los pies en el centro y en la parte esquinera de los moldes.

- Con ayuda de una regla, enrasar quitando el exceso de barro.
- Levantar con cuidado el molde para evitar que los bloques se deformen y posteriormente dejarlos secar [22].

### **Secado y curado de los bloques de adobe**

Los bloques deben ser secados en superficies planas, cubiertos del viento y del sol, después de 10 días colocar los bloques de lado para que el proceso de secado se complete. Finalmente, después de un mínimo de 28 días de curado, apilar los bloques para su uso posterior [33].

### **Resistencia de los bloques de adobe**

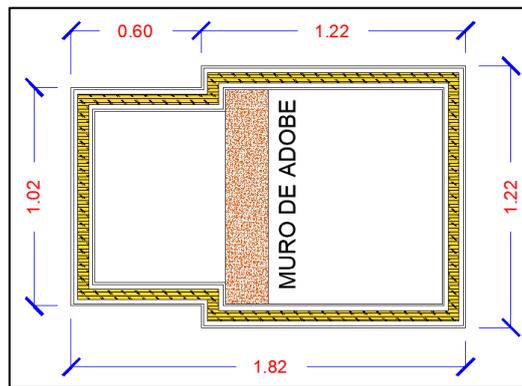
Se debe buscar 3 bloques que no se encuentren deformados o fisurados, colocar un bloque sobre otro, pararse en el centro de la parte superior en donde éste debe resistir, al menos, un minuto una persona de 80 Kg (Figura 3.14).



**Figura 3.13** Prueba de resistencia de los bloques de adobe, Fuente: Manual de Construcción con Adobe Reforzado con Geomallas.[32]

### **Preparación del mortero y fabricación del muro de adobe**

Los paneles de adobe serán elaborados de manera convencional (como un muro tradicional de mampostería), se sitúa de manera vertical el panel de muro a escala 1:1 del cual se vaya a obtener los datos de temperatura y sonido creando espacios divididos dentro de la cámara de ensayo, el muro se dispone tal y como se muestra en la Figura 3.15.



**Figura 3.14** Disposición del muro de adobe, Fuente: Elaboración Propia

### **Mortero para pegar los bloques de adobe**

El mortero para pegar las muestras de adobe, debe ser elaborado con el mismo tipo de suelo necesario para la construcción de los bloques tradicionales. La humedad del mortero no debe pasar del 20%, para evitar el agrietamiento. La cantidad de agua debe ser la menor posible para disminuir las posibilidades de agrietamiento.

Para un adecuado funcionamiento en la realización del ensayo, el mortero, se debe dejar secar durante 48 horas desde su aplicación.

### **Procedimiento para la elaboración de muros de adobe**

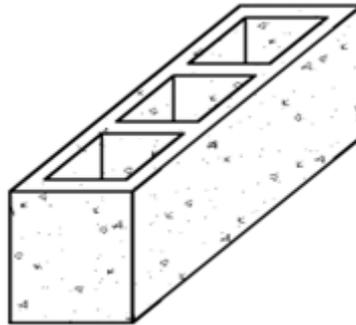
- Humedecer el suelo donde se instalará el mortero para la primera hilada de bloques.
- Para mejor adherencia entre el mortero y el bloque, humedecer los bloques durante 5 segundos en un recipiente.
- Colocar 2 cm de mortero en la base y colocar la primera hilada.
- Para guiar la alineación de las hileras, colocar miras en los extremos y tender una cuerda entre ellas al ras de los bloques.
- Colocar las hiladas necesarias hasta cubrir la altura de la cámara de ensayo.

### 3.5. FABRICACIÓN DE LOS BLOQUES ALIVIANADOS DE HORMIGÓN

En la presente investigación para la elaboración de los bloques alivianados se empleará el método propuesto por los Laboratorios de la Universidad Central del Ecuador (Método de Densidades Óptimas), como una variante a la dosificación propuesta por la A.C.I. Para ello se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones a la hora de fabricar los bloques alivianados:

#### **Dimensionamiento del bloque alivianado**

El bloque alivianado tiene forma de un paralelepípedo rectangular fabricado con áridos gruesos y finos, cemento hidráulico y agua (Figura 3.1).



**Figura 3.15** Bloque Alivianado, Fuente: Elaboración Propia

#### **Elaboración de la mezcla del bloque alivianado**

Los materiales a emplear en la mezcla de hormigón de los bloques alivianados son: áridos, cemento, agua y los residuos en estudio.

La cantidad de agua debe ser la adecuada para la realización de la mezcla ya que la variación de esta puede dar como resultado una mezcla demasiado seca o muy homogénea, llegando a producir una segregación de los elementos que componen la mezcla y por ende afectando en la trabajabilidad.

El proceso de mezcla ha sido llevado a cabo de forma manual, con un tamaño de muestra muy pequeño. Si fuera a gran escala, no es recomendable realizarlo de esta forma, debido a que el material producido no podría ser uniforme. Cabe mencionar que las mezclas realizadas de esta manera en ocasiones dan como resultado un 50% de la resistencia real

que se podría obtener realizando una mezcla mecánica. El proceso de mezcla se realizó de la siguiente manera:

- Seleccionar una ubicación adecuada para empezar con la mezcla de hormigón. Se procede a medir la arena en función de la corrección por esponjamiento.
- Colocar el cemento sobre el polvo y aumentar un 25% de la mezcla original, debido a realizarlo manualmente, con el objetivo de aumentar la consistencia y resistencia de la misma.
- Incorporar el cemento y el polvo de tal manera que se pueda obtener una mezcla uniforme para luego extenderla en la ubicación seleccionada. Se debe repetir dos veces este procedimiento.
- Vaciar el árido grueso o chasqui con ayuda de la carretilla sobre la mezcla anterior.
- Incorporar bien el conjunto hasta que sea una mezcla uniforme.
- Se debe tener precaución en el tiempo, evitando dejar pasar máximo 15 minutos entre la preparación y colocación. Además, no se debe añadir agua para ablandar la mezcla puesto que esto causaría que la mezcla se vuelva obsoleta [34].

#### **Dosificación de las mezclas experimentales de hormigón, que incluyen residuos, para la elaboración de bloques alivianados**

Los bloques alivianados de hormigón objeto de estudio en la presente Tesis Doctoral, incorporan un 15%, 25% , 50% y 75% de aserrín y poliestireno, bosas plásticas PET o bolsas plásticas TBP trituradas. Estos residuos se incorporaron a la mezcla en sustitución al árido grueso, tal y como queda definido para cada residuos, en el apartado correspondiente del capítulo 4.

#### **Moldeado de los bloques alivianados**

Una vez finalizado el proceso de mezclado, la mezcla debe ser vertida en un molde para bloques y, mover el molde tomándolo desde la parte superior, de tal manera que la mezcla

se presione hacia la parte inferior formando el bloque como tal, ya que suele quedar espacios de aire en el material [34].

Si el moldeo es realizado en forma mecánica es necesario verter en un transportador hacia una tolva elevada, en donde posteriormente la mezcla se moverá a otra ubicada en la parte superior de la máquina de bloques para presionarla posteriormente hacia la parte inferior formando los moldes (Figura 3.16).

Una vez ubicada la mezcla de manera correcta en el molde se comienza con la fase de compactación y vibración para formar los bloques. Una vez realizado este paso, los bloques son enviados hacia la parte inferior y externa de los moldes hacia una plataforma de acero plana.



**Figura 3.16** Proceso de moldeo de bloques, Fuente: Elaboración Propia

### **Fraguado de los bloques alivianados**

Se debe ubicar los bloques en una cámara de fraguado, la cual debe estar completamente protegida ante factores climatológicos, ya que estos afectarían significativamente a la estructura del bloque. Generalmente esto no se cumple totalmente ya que se suele dejar a los bloques fraguar al aire libre.

### **Curado de los bloques alivianados**

Este proceso consiste en humedecer el bloque, de manera constante, para obtener una buena calidad y resistencia (Figura 3.17). En empresas dedicadas a la fabricación de estos bloques se suelen llevar a un horno de curado o vapor de baja presión durante unas 3 horas, logrando así que el material se endurezca ligeramente a temperatura ambiente para luego aumentar la temperatura hasta llegar a los 16°C [34].



**Figura 3.17** Curado de bloques alivianados de hormigón, Fuente: Elaboración Propia

### **Fabricación de paredes con los distintos tipos de bloques alivianados**

Las paredes han sido elaboradas con 9 unidades de bloques ubicadas en un molde metálico de 1m\*0.7m\*0.15m de largo, alto y ancho respectivamente, en donde los bloques han sido ubicados con las caras de los alivianamientos hacia abajo y trabados (Figura 3.18).

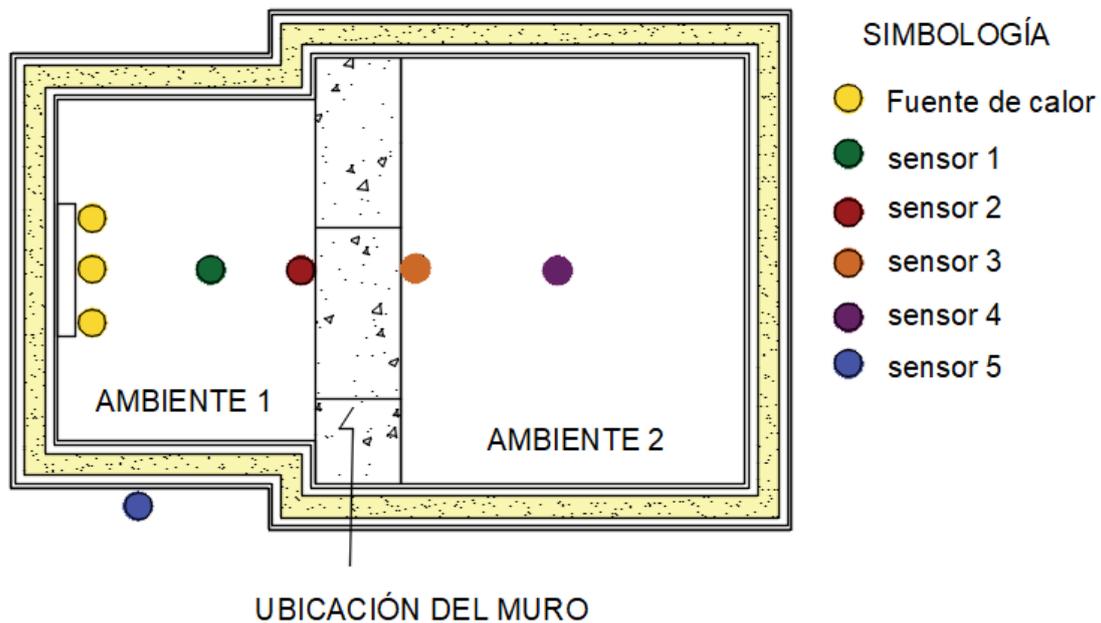


**Figura 3.18** Paredes de bloque, Fuente: Elaboración Propia

### **3.6. ENSAYOS TÉRMICOS**

En la presente investigación, para llevar a cabo los ensayos térmicos, se han tenido en cuenta las normas NCh849, NCh851 y NCh853. Éstas especifican los parámetros de fabricación de la cámara térmica y el análisis de la aislación térmica para el ensayo. La Figura 3.19 muestra la ubicación de los diferentes sensores en el interior de la cámara, los cuales se recogen a continuación:

- Sensor 1: se encarga de la temperatura ambiente 1.
- Sensor 2: determina la temperatura de la cara 1.
- Sensor 3: determina la temperatura de la cara 2.
- Sensor 4: se encarga de la temperatura ambiente 2.
- Sensor 5: determina la temperatura externa de la cámara.



**Figura 3.19** Ubicación del muro de adobe y sensores en la cámara térmica, Fuente: Elaboración Propia

Se debe tener una correcta ubicación de los sensores conectados de manera directa al equipo XPLORER GLX y se procede a la configuración de los campos para poder obtener los valores de la temperatura en la cámara 1 y 2, lo mismo que la temperatura ambiente 1 y 2 y la temperatura externa. Se debe proceder a activar la fuente del suministro de calor y activar el equipo para que empiece a medir las temperaturas. Estos valores son analizados durante una hora para ser interpretados con ayuda del software Data Studio.

Mediante esta configuración en la cámara se han podido realizar los siguientes ensayos térmicos en los muros analizados:

### *Aislación térmica*

La aislación térmica en viviendas se basa en proteger un ambiente interno del externo mediante la interposición de un material que disminuya la intensidad del calor entre ambos. Un correcto aislamiento térmico permite un ahorro integral de la energía, ya que, se reduce las pérdidas de calor y, por ende, los problemas con la condensación.

### **Transmitancia térmica**

Se encarga de la medición de la cantidad de calor que se puede transmitir a través de un material el cual está sujeto a una diferencia de temperatura del aire en ambos lados del material. Mientras la transmitancia de un elemento sea más alta, mayor será la pérdida de calor a través del mismo, causando un gasto elevado en calefacción [35].

Este valor es determinado con ayuda de la siguiente fórmula:

$$U = \frac{1}{R} \left[ \frac{w}{m^2 \cdot k} \right]$$

Donde:

U= transmitancia térmica

R= resistencia térmica total

### **Resistencia térmica**

Según la norma NCh-853 la resistencia térmica es la oposición que existe al paso del calor de los materiales de construcción. Esta depende de la conductividad térmica que tenga el material y de su espesor. Se determina por la siguiente fórmula [35]:

$$R = \frac{e}{\lambda} \left[ \frac{m^2 \cdot k}{w} \right]$$

Donde:

e = espesor del elemento

$\lambda$ = conductividad térmica del material.

### **Conductividad térmica**

Propiedad de los materiales que determina la cantidad de calor que existe de una partícula a otra mediante el contacto entre ellas. Determinado de manera experimental según las normas NCh850 o NCh851 expresada en  $\left[ \frac{w}{m \cdot k} \right]$  [36].

### **Confort térmico**

La norma ISO 7730 define al confort térmico como la condición mental en donde se expresa la satisfacción que existe con el ambiente térmico. Este confort depende de diversos factores tales como la temperatura del ambiente, la humedad existente, la velocidad del viento y la temperatura que tienen los materiales interiores. [36]

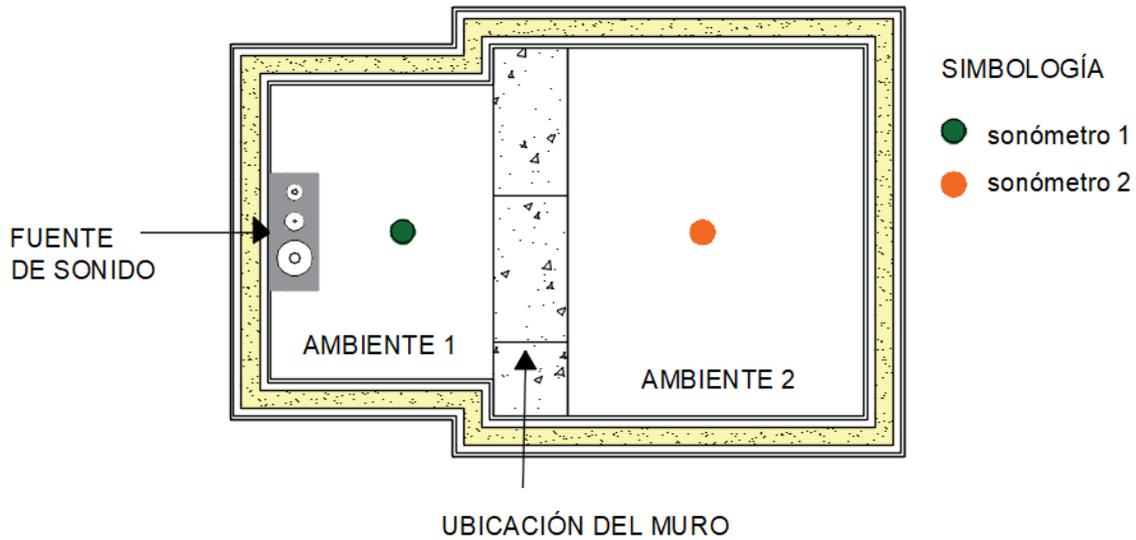
### **3.7. ENSAYOS ACÚSTICOS**

Los ensayos acústicos realizados durante esta investigación han sido realizados bajo las especificaciones de la norma NCh2786, que especifica el método de ensayo de aislación acústica para elementos constructivos como paredes, pisos, fachadas o ventanas. Así como las de la norma NCh2864 que determinan los requerimientos necesarios para la infraestructura de los ensayos de aislación acústica. La Figura 3.20 muestra la ubicación de los dos sonómetros empleados en el interior de la cámara, los cuales se encargan de lo siguiente:

- Sonómetro 1: se encarga de la medición de la presión sonora en el ambiente 1.
- Sonómetro 2: se encarga de la medición de la presión sonora en el ambiente 2.

Una vez construido el muro que va a ser ensayado en el interior de la cámara se crean dos zonas o ambientes. En el primero se instala la fuente generadora de sonido y el sonómetro 1.

Con ayuda del programa Audacity se genera ruido rosa y se registran los datos cada minuto durante 10 minutos. La potencia que debe generar el ruido es de 80Db a 90Db, finalmente se tabulan los datos correspondientes para su posterior análisis.



**Figura 3.20** Ubicación del muro y de los sensores acústicos en la cámara de ensayo,  
Fuente: Elaboración Propia

A partir de estos ensayos se puede identificar los siguientes comportamientos acústicos de los bloques fabricados durante la realización de la presente investigación:

#### *Aislamiento acústico*

Trata de disminuir la propagación de ruidos existentes en un espacio a otro: Mediante esta propiedad se puede obtener la capacidad que tiene un elemento constructivo para disminuir el paso del ruido a través del mismo.

#### *Acondicionamiento acústico*

Consiste en la definición de revestimientos y de las formas de áreas interiores de un lugar con la finalidad de obtener las condiciones acústicas más apropiadas para la funcionalidad que vaya a tener la edificación.

#### *Confort acústico*

Cantidad de ruido permisible que no causa daños de salud al oído humano, por lo tanto, no genera molestias, ni perturba a las personas que se encuentren dentro de un lugar.

Según el Decreto Ejecutivo 2393 de Seguridad y Salud de los trabajadores la presión sonora máxima es de 85Dba [37]. En la Tabla 3.2 se muestran los niveles máximos de ruido de acuerdo con la actividad a desarrollar.

<b>Lugar/Actividad</b>	<b>Nivel sonoro [Dba]</b>
Locales y recintos comerciales.	70
Oficinas.	60
Actividades de vivienda, estudio, dormitorios, bibliotecas, hoteles.	50
Lugares de estar.	50
Aulas de estudio.	55
Hospitales y centros de salud.	45
Otros lugares no estipulados anteriormente diferentes de sitios de vivienda o estar.	75

**Tabla 3.2** Niveles máximos de ruido de acuerdo con la actividad, Fuente: NEC-11-  
Capítulo 13: Eficiencia Energética En La Construcción En Ecuador.[38]



## CAPÍTULO 4

### 4. CATACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

#### 4.1. INTRODUCCIÓN

En los capítulos 4, 5 y 6 se recogen los resultados, y su análisis, obtenidos en la investigación de la presente Tesis Doctoral. Queda estructurado de la siguiente manera:

Capítulo 4:

- Caracterización de las materias primas, incluyendo los residuos objeto de estudio: aserrín, poliestireno, botellas plásticas PET y bolsas de plástico TBP.
- Descripción y caracterización de propiedades mecánicas, térmicas y acústicas de un bloque comercial de hormigón, denominado INEM 3066, que servirá de referencia para comparar resultados.

Capítulo 5:

- Dosificación y caracterización de propiedades mecánicas, térmicas y acústicas de los bloques de adobe que contienen en su composición, 0% (mezcla patrón), 5%, 10% o 15% de:
  - Aserrín y poliestireno.
  - Botellas plásticas PET
  - Triturado de bolsas de plástico TBP

Capítulo 6:

- Dosificación y caracterización de propiedades mecánicas, térmicas y acústicas de los bloques alivianados de hormigón que contienen en su composición, 0% (mezcla patrón), 15%, 25%, 50% o 75% de:
  - Aserrín y poliestireno.
  - Botellas plásticas PET
  - Triturado de bolsas de plástico TBP

## 4.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS

### 4.2.1. Resultados de caracterización de la tierra empleada en adobes

Los ensayos realizados sobre la tierra a emplear en la fabricación de bloques de adobe son: contenido de humedad (Tabla 4.1), la granulometría (Tabla 4.2 y Figura 4.1), el límite líquido (Tabla 4.4 y Figura 4.2), el límite plástico (Tabla 4.4) y el índice de plasticidad.

#### Contenido de humedad

El contenido de humedad de la tierra empleada se realizó sobre 4 muestras representativas.

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>				
<b>Número de recipiente</b>	1	2	3	4
<b>Peso muestra húmeda + recipiente (gr)</b>	62.70	60.50	59.00	60.30
<b>Peso muestra seca + recipiente (gr)</b>	54.10	52.40	51.40	52.10
<b>Peso de agua (gr)</b>	8.60	8.10	7.60	8.20
<b>Peso del recipiente (gr)</b>	30.70	31.30	30.60	31.20
<b>Peso de la muestra seca (gr)</b>	23.40	21.10	20.80	20.90
<b>Contenido de humedad (%)</b>	36.75	38.39	36.54	39.23
<b>Contenido humedad promedio (%)</b>	37.73			

**Tabla 4.1** Contenido de humedad-Ensayos para bloques de adobe, Fuente: Propia

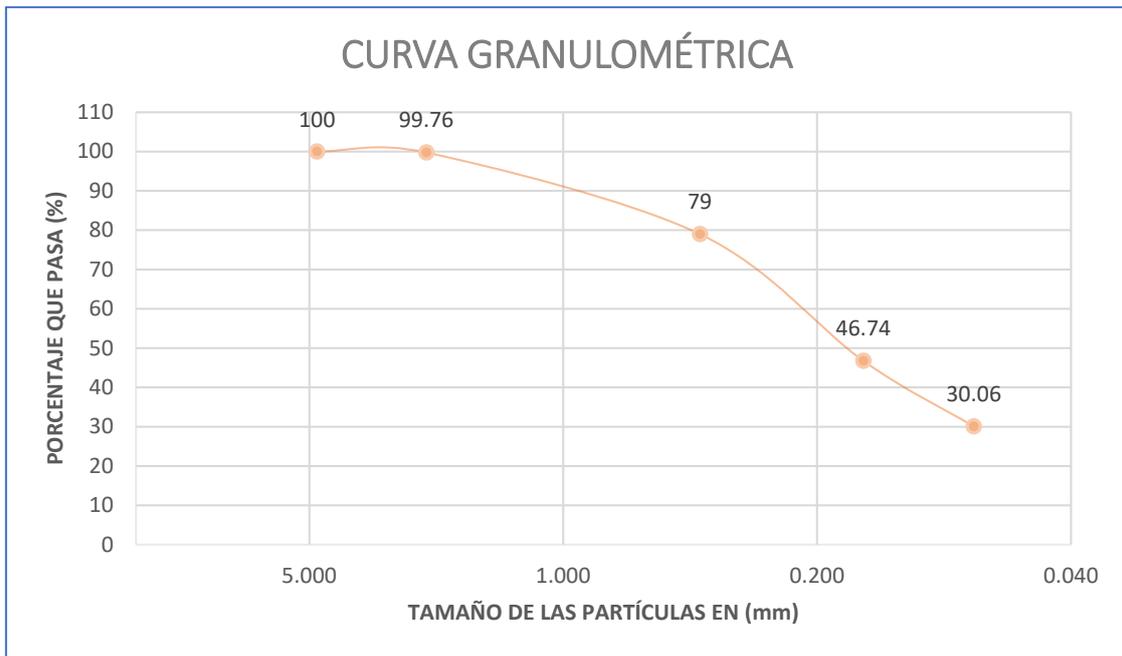
El porcentaje en promedio que se obtuvo de las muestras analizadas muestra un valor de 37% de humedad.

#### Granulometría

<b>Análisis Granulométrico</b>			
<b>Tamiz</b>	<b>Peso retenido acumulado (gr)</b>	<b>% Retenido</b>	<b>% Que pasa</b>
Pasa tamiz #4 (5 mm)	0.00	0.00	100
#8 (2.5 mm)	1.20	0.24	99.76
#40 (0.4 mm)	103.80	6.52	79
#100 (0.125 mm)	161.30	53.26	46.74
#200 (0.08 mm)	83.40	69.94	30.06
Pasa tamiz #200	143.40	98.62	
Total	493.10	gr	

**Tabla 4.2** Análisis granulométrico-Ensayos para bloques de adobe, Fuente: Elaboración

Propia



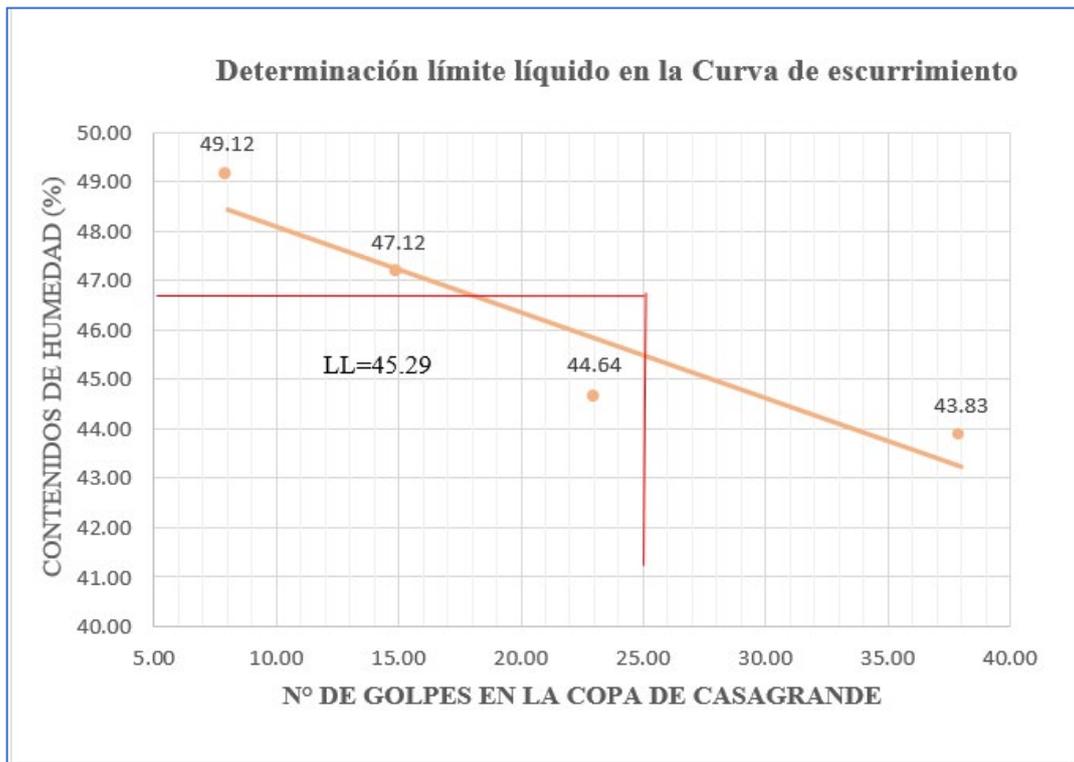
**Figura 4.1** Curva granulométrica-Ensayos para bloques de adobe, Fuente: Elaboración Propia

El ensayo demuestra que el suelo que se utiliza contiene un 30% de finos conformados por limos y arcillas (tamaños inferiores a 0,080 mm), mientras que el 70% restante es de arena, la mayor parte de ella con tamaños inferiores a 2,5 mm. Con lo cual es el porcentaje adecuado para la elaboración de los bloques.

**Límite líquido**

<b>LÍMITE LÍQUIDO (LL)</b>								
<b>Recipiente N°</b>	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Peso de la muestra húmeda + recipiente (gr)</b>	19.1	16.9	18.6	18.1	21.9	21.7	20.4	17.5
<b>Peso de la muestra seca + recipiente (gr)</b>	16.6	15.1	16.2	15.9	18.6	18.6	17.2	15.3
<b>Peso del agua (gr)</b>	2.5	1.8	2.4	2.2	3.3	3.1	3.2	2.2
<b>Peso del recipiente (gr)</b>	11.4	11.2	10.9	10.9	11.1	11.5	11.3	10.3
<b>Peso muestra seca (gr)</b>	5.2	3.9	5.3	5.0	7.5	7.1	5.9	5.0
<b>Contenido de humedad (%)</b>	48.1	46.2	45.3	44.0	44.0	43.7	54.2	44.0
<b>Contenido de humedad promedio (%)</b>	47.1		44.6		43.8		49.1	
<b>N° de golpes</b>	15		23		38		8	

**Tabla 4.3** Límite líquido-Ensayos para bloques de adobe, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 4.2** Curva de escurrimiento del límite líquido, Fuente: Elaboración Propia

Al realizar el análisis en la gráfica a los 25 golpes nos da un resultado de límite líquido de 45.29%.

**Límite plástico**

<b>LÍMITE PLÁSTICO (LP)</b>						
<b>Recipiente N°</b>	1	2	3	4	5	6
<b>Peso de la muestra húmeda + recipiente (gr)</b>	11.50	11.50	11.80	12.00	11.70	11.60
<b>Peso de la muestra seca + recipiente (gr)</b>	11.20	11.30	11.50	11.60	11.50	11.30
<b>Peso del agua (gr)</b>	0.30	0.20	0.30	0.40	0.20	0.30
<b>Peso del recipiente (gr)</b>	10.60	10.50	10.70	10.50	10.80	10.60
<b>Peso muestra seca (gr)</b>	0.60	0.80	0.80	1.10	0.70	0.70
<b>Contenido de humedad (%)</b>	50.00	25.00	37.50	36.36	28.57	42.86
<b>Contenido de humedad promedio (LP %)</b>	36.72					

**Tabla 4.4** Límite plástico-Ensayos para bloques de adobe, Fuente: Elaboración Propia

El resultado del ensayo muestra un límite plástico (LP) de 36.72%.

**Índice de plasticidad**

$$I_p = LL - LP = 45.29\% - 36.72\% = 8.57\%$$

Con los datos obtenidos en los ensayos se puede identificar al suelo como inorgánico A-2-5, grava y arena arcillosa o limosas, de acuerdo a los criterios de clasificación de la AAHSTO y como una Arena limosa SM, de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos(SUCS), lo que indica que se trata de un suelo muy compresible.

**4.2.2. Resultados de caracterización del aserrín**

Los resultados de los ensayos en el aserrín realizados han sido los que se muestran a continuación. En particular se ha analizado la granulometría del aserrín (Tabla 4.5 y Figura 4.3), el contenido de humedad (Tabla 4.6), la densidad aparente compactada (Tabla 4.7), la densidad aparente suelta (Tabla 4.8) y la densidad real y su capacidad de absorción (Tabla 4.9).

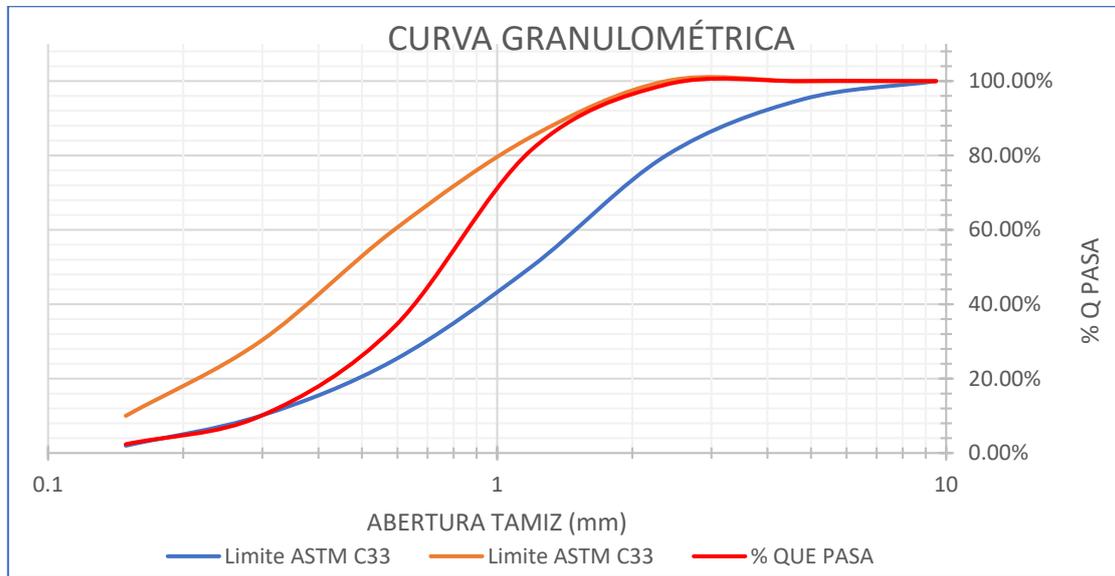
**Granulometría**

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL ASERRÍN</b>						
<b>Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Retenido parcial (gr)</b>	<b>Retenido acumulado (gr)</b>	<b>% Retenido acumulado</b>	<b>% que pasa</b>	<b>Límites ASTM % que pasa</b>
3/8	9.5	0	0	0.00%	100.00%	100
#4	4.76	0	0	0.00%	100.00%	95-100
#8	2.38	2.8	2.8	0.94%	99.06%	80-100
#16	1.19	52.8	55.6	18.58%	81.42%	50-85
#30	0.59	142.2	197.8	66.11%	33.89%	25-60
#50	0.297	71.7	269.5	90.07%	9.93%	10-30
#100	0.149	22.6	292.1	97.63%	2.37%	2-10
#200	0.075	5.5	297.6	99.47%	0.53%	-
BANDEJA		1.6	299.2	100.00%	0.00%	-
<b>MÓDULO DE FINURA</b>				<b>2.73%</b>		

**Tabla 4.5** Análisis granulométrico del aserrín, Fuente: Elaboración Propia

En el ensayo se puede observar que el 90% de la muestra pasa por el tamiz #16 en donde se encuentra el módulo de finura el cual corresponde al 2.73%, indicando que las partículas tienen un tamaño menor a 1.19 mm y un 0.53% de la muestra posee partículas menores a 0.075 mm dando como resultado las gráficas mostradas en la Figura 4.3. Puede

observarse en la Figura 4.3 que el aserrín tiene una curva granulométrica comprendida entre los límites superior e inferior descritos en la ASTM C33.



**Figura 4.3** Curva granulométrica del aserrín, Fuente: Elaboración Propia

**Contenido de humedad**

<b>CÁLCULO DE CONTENIDO DE HUMEDAD</b>				
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
M1	Masa del recipiente	gr	25.60	25.20
M2	Masa del recipiente + árido Gr húmedo	gr	32.40	33.10
M3	Masa del recipiente + árido Gr seco	gr	31.40	32.00
M4=M2-M3	Masa del agua	gr	1.00	1.10
M5=M3-M1	Masa Árido. Gr seco	gr	5.80	6.80
C Hum=M4/M5	Contenido de humedad	%	17.24	16.18
C Hum Promedio	CONTENIDO DE HUMEDAD	%	16.71	

**Tabla 4.6** Contenido de humedad del aserrín, Fuente: Elaboración Propia

Una vez realizado el procedimiento correspondiente para el aserrín se obtuvo un contenido de humedad del 16.71%.

**Densidad aparente compactada**

<b>DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL ASERRÍN</b>				
<b>ORIGEN:</b>	Aserradero Paso Lateral Huachi			
<b>MASA RECIPIENTE (Kg):</b>	9.98			
<b>VOLUMEN RECIPIENTE (dm<sup>3</sup>):</b>	20.44			
<b>Material</b>	<b>Árido + Recipiente (kg)</b>	<b>Árido (kg)</b>	<b>Peso Unitario (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso Unitario Promedio (kg/dm<sup>3</sup>)</b>
ASERRIN	20.20	10.22	0.50	0.51
	20.50	10.52	0.51	

**Tabla 4.7** Densidad aparente compactada del aserrín, Fuente: Elaboración Propia

Para el ensayo se debe utilizar un recipiente cuyos volúmenes vengan dados en dm<sup>3</sup>, en donde el peso del recipiente fue de 9.98 kg y su volumen 20.44 dm<sup>3</sup>. Para obtener la densidad compactada se procedió a llenar el recipiente hasta un tercio de su altura realizando la compactación en 3 capas con 25 golpes. La densidad aparente compactada del aserrín resultó ser de 0,51 kg/dm<sup>3</sup>.

**Densidad aparente suelta**

<b>DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL ASERRÍN</b>				
<b>ORIGEN:</b>	Aserradero Paso Lateral Huachi			
<b>MASA RECIPIENTE (Kg):</b>	9.98			
<b>VOLUMEN RECIPIENTE (dm<sup>3</sup>):</b>	20.44			
<b>Material</b>	<b>árido + Recipiente (kg)</b>	<b>árido (kg)</b>	<b>Peso Unitario (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso Unitario Promedio (kg/dm<sup>3</sup>)</b>
ASERRIN	18.30	8.32	0.41	0.42
	18.70	8.72	0.43	

**Tabla 4.8** Densidad aparente suelta del aserrín, Fuente: Elaboración Propia

Para obtener la densidad aparente suelta se precede a llenar el recipiente, enrasar y determinar su peso, se tiene en cuenta que el recipiente es el mismo utilizado en el ensayo anterior por lo que se toma su mismo peso y volumen. Se obtiene como resultado una densidad aparente suelta de 0.42 kg/dm<sup>3</sup>.

**Densidad real y capacidad de absorción**

Con la selección de 6 muestras y con los datos del peso de la canasta en el aire y en el agua vacía y con la muestra se obtiene los siguientes resultados contenidos en la Tabla 4.9. Como resultado final, se obtiene para el aserrín, una densidad real de 1,11 g/cm<sup>3</sup> y una capacidad de absorción del 31,5%.

<b>CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL</b>				
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
M1	Masa del picnómetro	gr	151.90	146.10
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	177.50	168.90
M3	Masa del picnómetro + muestra SSS + agua	gr	652.70	645.90
M4=M3-M2	Masa agua añadida	gr	475.20	477.00
M5	Masa picnómetro + 500cc de agua	gr	650.10	643.70
M6=M5-M1	Masa de 500cc de agua	gr	498.20	497.60
DA=M6/500cm <sup>3</sup>	Densidad del agua	gr/cm <sup>3</sup>	0.996	0.995
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	23.00	20.60
M <sub>sss</sub> =M2-M1	Masa del árido	gr	25.60	22.80
V <sub>sss</sub> =M7/DA	Volumen del agua desalojada	cm <sup>3</sup>	23.08	20.70
DRA=M <sub>sss</sub> /V <sub>sss</sub>	Densidad real de la arena	gr/cm <sup>3</sup>	1.11	1.10
DRA Prom	DENSIDAD REAL DEL ASERRÍN	gr/cm <sup>3</sup>	1.11	
<b>CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN</b>				
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
M7	Masa del recipiente	gr	25.60	25.20
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	29.91	29.44
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	4.31	4.24
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	28.90	28.40
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	3.30	3.20
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	30.61	32.50
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	31.55	

**Tabla 4.9** Densidad real y capacidad de absorción del aserrín, Fuente: Elaboración

Propia

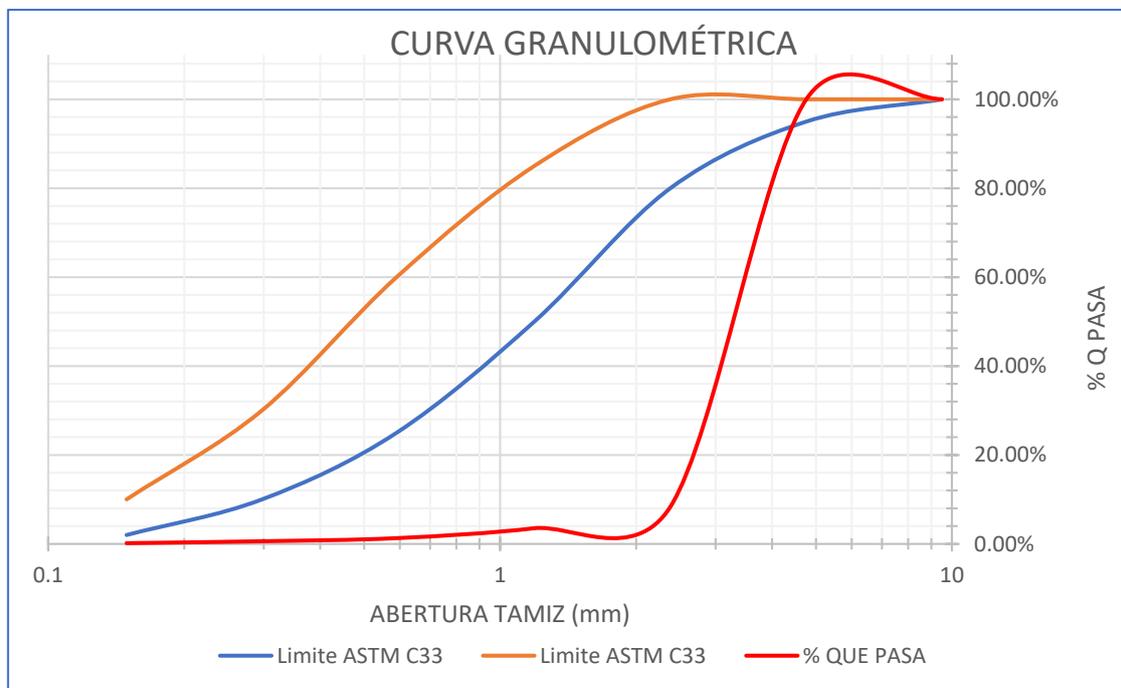
### 4.2.3. Resultados de caracterización de triturado de botellas plásticas PET

Los resultados de los ensayos sobre botellas plásticas PET han sido los que se muestran a continuación. Al igual que en el apartado anterior se ha analizado la granulometría (Tabla 4.10 y Figura 4.4), el contenido de humedad (Tabla 4.11), la densidad aparente (Tabla 4.12) y la densidad real y su capacidad de absorción (Tabla 4.13).

#### Granulometría

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PLÁSTICO PET</b>						
<i>Tamiz</i>	<i>Abertura (mm)</i>	<i>Retenido parcial (gr)</i>	<i>Retenido acumulado (gr)</i>	<i>% Retenido acumulado</i>	<i>% que pasa</i>	<i>Límites ASTM % que pasa</i>
3/8	9.5	0	0	0.00%	100.00%	100
#4	4.76	0	0	0.00%	100.00%	95-100
#8	2.38	917.6	917.6	91.69%	8.31%	80-100
#16	1.19	48.1	965.7	96.49%	3.51%	50-85
#30	0.59	22.3	988	98.72%	1.28%	25-60
#50	0.297	7	995	99.42%	0.58%	10-30
#100	0.149	4.3	999.3	99.85%	0.15%	2-10
#200	0.075	1.5	1000.8	100.00%	0.00%	-
BANDEJA		0	1000.8	100.00%	0.00%	-
<b>MÓDULO DE FINURA</b>				4.86%		

**Tabla 4.10** Análisis granulométrico Plástico PET, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 4.4** Curva granulométrica Plástico PET, Fuente: Elaboración Propia

Este ensayo muestra la granulometría del PET donde se evidencia mayor presencia de partículas que pasan el tamiz 3/8 (10 mm) y #4 (5 mm), apreciándose que la curva granulométrica característica del material está por debajo del límite inferior de la ASTM C33 y, expresa un módulo de finura de 4.86.

### Contenido de humedad

<b>CÁLCULO DE CONTENIDO DE HUMEDAD</b>				
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
M1	Masa del recipiente	gr	30.90	30.70
M2	Masa del recipiente + Agreg. Gr húmedo	gr	75.00	69.80
M3	Masa del recipiente + Agreg. Gr seco	gr	71.50	65.80
M4=M2-M3	Masa del agua	gr	3.50	4.00
M5=M3-M1	Masa Agreg. Gr seco	gr	40.60	35.10
C Hum=M4/M5	Contenido de humedad	%	8.62	11.40
C Hum Promedio	CONTENIDO DE HUMEDAD	%	10.01	

**Tabla 4.11** Contenido de humedad Plástico PET, Fuente: Elaboración Propia

Del ensayo realizado se indica que el material de botellas plásticas PET para los bloques tiene un contenido de humedad del 10.01%.

### Densidad aparente

<b>DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL PET</b>				
<b>árido</b>	<b>árido + Recipiente (kg)</b>	<b>árido (kg)</b>	<b>Peso Unitario (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso Unitario Promedio (kg/dm<sup>3</sup>)</b>
PET	19.04	9.24	0.449	0.45
	19.07	9.27	0.451	
<b>DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL PET</b>				
<b>árido</b>	<b>árido + Recipiente (kg)</b>	<b>árido (kg)</b>	<b>Peso Unitario (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso Unitario Promedio (kg/dm<sup>3</sup>)</b>
PET	17.93	8.13	0.40	0.40
	17.92	8.12	0.39	

**Tabla 4.12** Densidad aparente Plástico PET, Fuente: Elaboración Propia

Los resultados muestran que el PET tiene una densidad aparente compactada de 0.45 kg/dm<sup>3</sup>, y una densidad aparente suelta de 0.4 kg/dm<sup>3</sup>.

**Densidad real y capacidad de absorción**

<b>DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL PLÁSTICO PET</b>				
<b>CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL</b>				
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
M1	Masa del picnómetro	gr	154.70	166.10
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	214.60	245.00
M3	Masa del picnómetro + muestra SSS + agua	gr	665.20	680.30
M4=M3-M2	Masa agua añadida	gr	450.60	435.30
M5	Masa picnómetro + 500cc de agua	gr	653.30	655.20
M6=M5-M1	Masa de 500cc de agua	gr	498.60	489.10
DA=M6/500cm <sup>3</sup>	Densidad del agua	gr/cm <sup>3</sup>	0.997	0.978
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	48.00	53.80
Msss=M2-M1	Masa del árido	gr	59.90	78.90
Vsss=M7/DA	Volumen del agua desalojada	cm <sup>3</sup>	48.13	55.00
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm <sup>3</sup>	1.24	1.43
DRA Prom	DENSIDAD REAL DE LA ARENA	gr/cm <sup>3</sup>	1.34	
<b>CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN</b>				
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
M7	Masa del recipiente	gr	57.70	30.80
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	90.00	68.80
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	32.30	38.00
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	83.40	61.50
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	25.70	30.70
CA=(M9-M11)/M11*100	Capacidad de absorción	%	25.68	23.78
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	24.73	

**Tabla 4.13** Densidad real y capacidad de absorción de Plástico PET, Fuente:

Elaboración Propia

Según las pruebas realizadas, la densidad real del material PET es de 1.34 gr/cm<sup>3</sup> y con una capacidad de absorción del 24.73%.

**4.2.4. Resultados de caracterización de triturado de bolsas plásticas TBP**

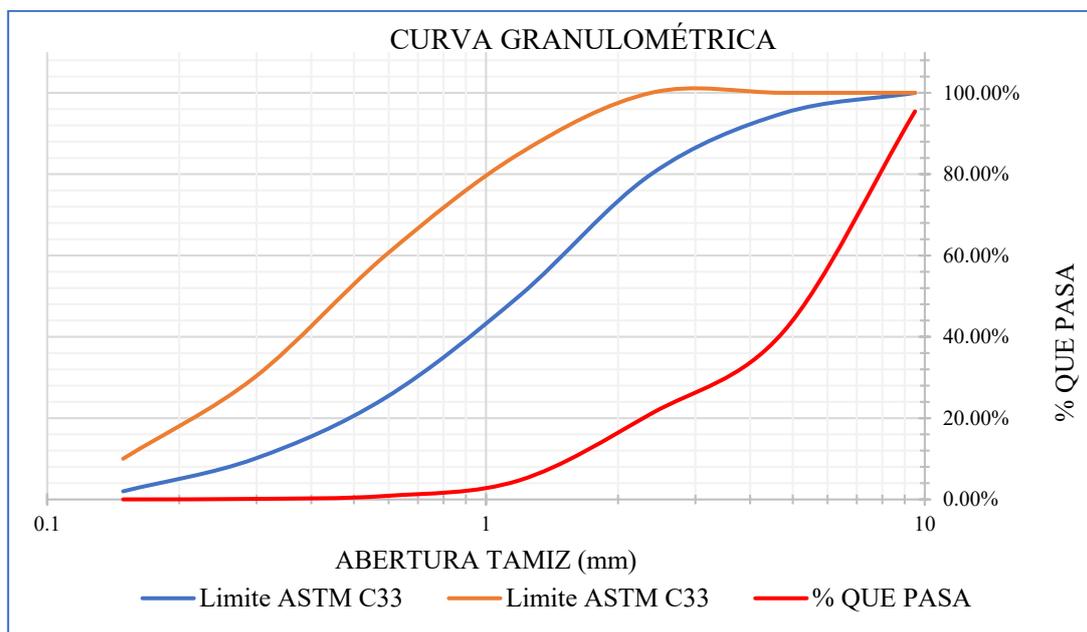
Respecto a los resultados de los ensayos sobre bolsas plásticas para la elaboración de bloques han sido los que se recogen a continuación. Al igual que en apartados anteriores se ha analizado la granulometría (Tabla 4.14 y Figura 4.5), el contenido de humedad (Tabla 4.15), la densidad aparente suelta (Tabla 4.16) y la densidad aparente compactada (Tabla 4.17) y su capacidad de absorción (Tabla 4.8).

**Granulometría**

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL TRITURADO DE BOLSAS PLÁSTICAS</b>						
<b>TAMIZ</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Retenido parcial (gr)</b>	<b>Retenido acumulado (gr)</b>	<b>% Retenido acumulado</b>	<b>% que pasa</b>	<b>Límites ASTM % que pasa</b>
3/8	9.5	45.5	45.5	4.55%	95.45%	100
#4	4.76	542.2	587.7	58.81%	41.19%	95-100
#8	2.38	200.9	788.6	78.92%	21.08%	80-100
#16	1.19	164.1	952.7	95.34%	4.66%	50-85
#30	0.59	38.2	990.9	99.16%	0.84%	25-60
#50	0.297	7.2	998.1	99.88%	0.12%	10-30
#100	0.149	1.2	999.3	100.00%	0.00%	2-10
#200	0.075	0	999.3	100.00%	0.00%	-
<b>MÓDULO DE FINURA</b>				<b>5.37%</b>		

**Tabla 4.14** Análisis granulométrico del triturado de bolsas plásticas, Fuente:

Elaboración Propia.

**Figura 4.5** Curva granulométrica del triturado de bolsas plásticas, Fuente: Elaboración Propia.

Este ensayo muestra la granulometría las bosas plásticas, donde se evidencia mayor que la curva granulométrica característica del material está por debajo del límite inferior de la ASTM C33 y, expresa un módulo de finura de 5.37.

**Contenido de humedad**

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD DEL TRITURADO DE BOLSAS PLÁSTICAS</b>				
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
M1	Masa del recipiente	gr	31.30	30.90
M2	Masa del recipiente + muestra húmeda	gr	62.70	60.00
M3	Masa del recipiente + muestra seca	gr	62.40	59.80
M4=M2-M3	Masa del agua	gr	0.30	0.20
M5=M3-M1	Masa muestra seca	gr	31.10	28.90
C Hum=M4/M5	Contenido de humedad	%	0.96	0.69
C Hum Promedio	Contenido de humedad promedio	%	0.83	

**Tabla 4.15** Contenido de humedad del triturado de bolsas plásticas, Fuente: El. Propia.

Del ensayo realizado se indica que las bolsas plásticas tienen un contenido de humedad del 0.83%.

**Densidad aparente suelta**

<b>DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL TRITURADO DE BOLSAS TRITURADAS TBP</b>				
<b>Material</b>	<b>Árido + Recipiente (kg)</b>	<b>Árido (kg)</b>	<b>Peso Unitario (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso Unitario Promedio (kg/dm<sup>3</sup>)</b>
bolsas plásticas	17.75	17.75	0.38	0.38
	17.65	17.65	0.38	
<b>Masa Recipiente (Kg):</b>	9.97	<b>Volumen Recipiente (dm3):</b>	20.44	

**Tabla 4.16** Densidad aparente suelta del triturado de bolsas plásticas, Fuente: El Propia.

Los resultados muestran que el TBP tienen una densidad aparente suelta de 0.38 kg/dm<sup>3</sup>.

**Densidad aparente compactada**

<b>DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL TRITURADO DE BOLSAS PLÁSTICAS</b>				
<b>Material</b>	<b>Árido + Recipiente (kg)</b>	<b>Árido (kg)</b>	<b>Peso Unitario (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso Unitario Promedio (kg/dm<sup>3</sup>)</b>
bolsas plásticas	18.68	8.71	0.43	0.42
	18.63	8.66	0.42	
<b>Masa Recipiente (Kg):</b>	9.97	<b>Volumen Recipiente (dm3):</b>	20.44	

**Tabla 4.17** Densidad aparente suelta y compactada del triturado de bolsas de plástico.

Los resultados muestran que el TBP tienen una densidad aparente compactada de 0.42 kg/dm<sup>3</sup>.

**Capacidad de absorción**

<b><i>CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL TRITURADO DE BOLSAS PLÁSTICAS</i></b>				
<b><i>DATOS</i></b>	<b><i>DESIGNACIÓN</i></b>	<b><i>UNIDAD</i></b>	<b><i>VALOR</i></b>	
<b>M7</b>	Masa del recipiente	gr	57.60	30.80
<b>M8</b>	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	81.60	60.80
<b>M9=M8-M7</b>	Masa de la muestra SSS	gr	24.00	30.00
<b>M10</b>	Masa del recipiente + muestra seca	gr	81.10	60.20
<b>M11=M10-M7</b>	Masa de la muestra seca	gr	23.50	29.40
<b>CA=((M9-M11)/M11)*100</b>	Capacidad de absorción	%	2.13	2.04
<b>P2=(CA1+CA2)/2</b>	Capacidad de absorción promedio	%	2.08	

**Tabla 4.18** Capacidad de absorción del triturado de bolsas plásticas, Fuente:

Elaboración Propia.

Los resultados muestran que las bosas plásticas tienen una capacidad de absorción de agua del 2.08%.

**4.2.5. Resultados de caracterización de los áridos para la elaboración de bloques alivianados de hormigón**

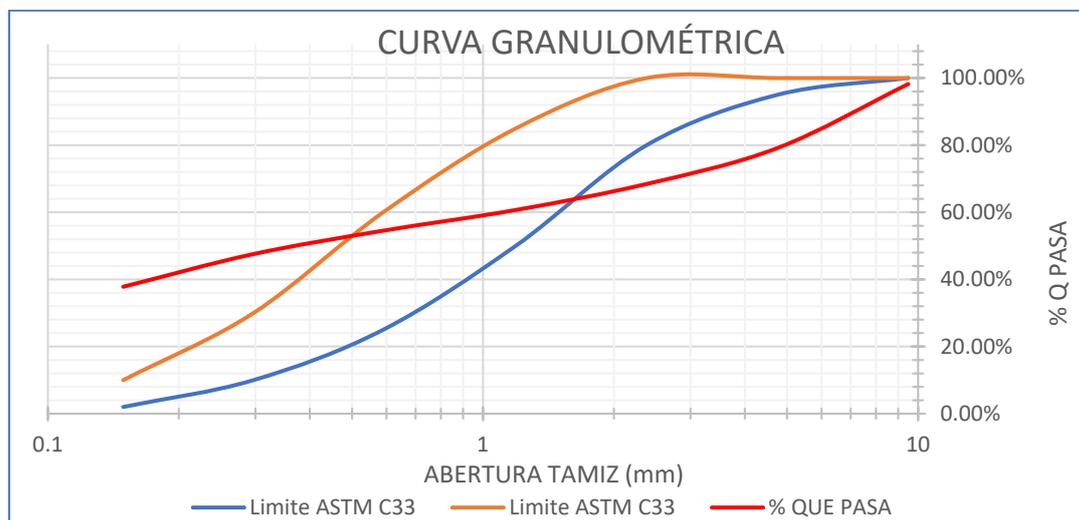
En este apartado se muestran los resultados obtenidos en los ensayos realizados a los diferentes áridos para la fabricación de los bloques alivianados de hormigón. En particular, se pueden consultar en las tablas y figuras de este apartado la granulometría, el contenido de humedad, las densidades y la capacidad de absorción tanto del árido fino como del árido grueso. También, se incluye la densidad del cemento empleado en la elaboración de los bloques.

**Granulometría del árido fino**

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ÁRIDO FINO</b>						
<b>Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Retenido parcial (gr)</b>	<b>Retenido acumulado (gr)</b>	<b>% Retenido acumulado</b>	<b>% que pasa</b>	<b>Límites ASTM % que pasa</b>
3/8	9.5	17.8	17.8	1.79%	98.21%	100
#4	4.76	189.4	207.2	20.84%	79.16%	95-100
#8	2.38	106.5	313.7	31.55%	68.45%	80-100
#16	1.19	77.2	390.9	39.31%	60.69%	50-85
#30	0.59	61.3	452.2	45.48%	54.52%	25-60
#50	0.297	69.2	521.4	52.44%	47.56%	10-30
#100	0.149	96.9	618.3	62.18%	37.82%	2-10
#200	0.075	170	788.3	79.28%	20.72%	-
BANDEJA		206	994.3	100.00%	0.00%	-
<b>MÓDULO DE FINURA</b>				2.54%		

**Tabla 4.19** Resultados de la granulometría del árido fino, Fuente: Elaboración Propia

Del ensayo se puede observar que la muestra se encuentra en una tipología fina ya que el porcentaje retenido acumulado en el tamiz #200 (0.08 mm) es el mayor, el resultado de este ensayo se muestra en la Figura 4.6., observándose que la granulometría no cumple con las prescripciones de la ASTM C33.

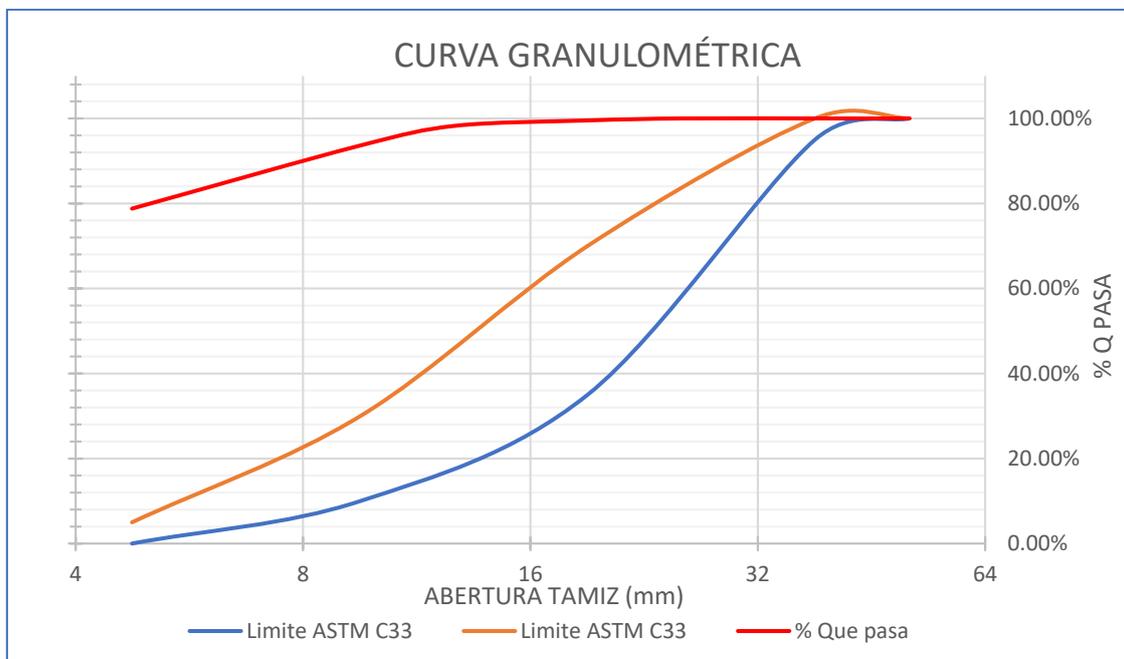
**Figura 4.6** Curva Granulométrica del árido fino, Fuente: Elaboración Propia

**Granulometría del árido grueso**

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ÁRIDO GRUESO</b>						
<b>Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Retenido parcial (gr)</b>	<b>Retenido acumulado (gr)</b>	<b>% Retenido acumulado</b>	<b>% que pasa</b>	<b>Límites ASTM % que pasa</b>
2"	50.8	0	0	0.00%	100.00%	100
1 ½"	38.1	0	0	0.00%	100.00%	95 - 100
1"	25.4	0	0	0.00%	100.00%	-
¾"	19.05	23.4	23.4	0.47%	99.53%	35 - 70
½"	12.7	63.3	86.7	1.74%	98.26%	-
⅜"	9.53	229.7	316.4	6.35%	93.65%	10 - 30
#4	4.75	740	1056.4	21.21%	78.79%	0 - 5
BANDEJA		3924	4980.4	100.00%	0.00%	-
<b>TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:</b>				3/8"		

**Tabla 4.20** Resultados de la granulometría del árido grueso, Fuente: Elaboración Propia

Se realizó el ensayo con 5000 gr y un coeficiente de pérdida de 0.39%. Se puede observar que el tamiz #4 retuvo un total de 1056.4 gr correspondiente al 21.21%, en donde pasa a la bandeja el 78.79% indicando que las partículas son menores a 4.75mm con un tamaño nominal máximo de 3/8 de pulgada (10 mm). Los resultados se muestran en la Figura 4.7.



**Figura 4.7** Curva granulométrica del árido grueso, Fuente: Elaboración Propia

**Contenido de humedad del árido grueso**

<b>CÁLCULO DE CONTENIDO DE HUMEDAD ÁRIDO GRUESO</b>				
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
M1	Masa del recipiente	gr	25.30	25.60
M2	Masa del recipiente + árid. Gr húmedo	gr	75.30	76.40
M3	Masa del recipiente + árido Gr seco	gr	64.80	64.70
M4=M2-M3	Masa del agua	gr	10.50	11.70
M5=M3-M1	Masa árido Gr seco	gr	39.50	39.10
C Hum=M4/M5	Contenido de humedad	%	26.58	29.92
C Hum Promedio	CONTENIDO DE HUMEDAD	%	28.25	

**Tabla 4.21** Contenido de humedad del árido grueso, Fuente: Elaboración Propia

Con un peso de 75.30 gr en donde 25.30 gr son del peso original del recipiente y 50 gr corresponden a la muestra humedad se obtuvo un contenido de humedad de 28.25%.

**Contenido de humedad del árido fino**

<b>CÁLCULO DE CONTENIDO DE HUMEDAD ÁRIDO FINO</b>				
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
M1	Masa del recipiente	gr	30.30	30.70
M2	Masa del recipiente + árido Gr húmedo	gr	89.40	89.90
M3	Masa del recipiente + árido Gr seco	gr	81.70	82.40
M4=M2-M3	Masa del agua	gr	7.70	7.50
M5=M3-M1	Masa árido Gr seco	gr	51.40	51.70
C Hum=M4/M5	Contenido de humedad	%	14.98	14.51
C Hum Promedio	CONTENIDO DE HUMEDAD	%	14.74	

**Tabla 4.22** Contenido de humedad del árido fino, Fuente: Elaboración Propia

Se usaron 59.1gr de muestra además de un recipiente con 30.30 gr de peso obteniéndose como resultado del ensayo un contenido de humedad de 14.74% en el árido fino.

**Densidad aparente compactada del árido fino y grueso**

Para la realización de este ensayo es necesario el uso de un recipiente cuyo volumen se mide en  $\text{dm}^3$ , en donde el peso del recipiente dio un valor de 9.8 kg y un volumen de  $20.56 \text{ dm}^3$ , donde se agregaron 15.30 kg de árido grueso y 18 kg del árido fino.

<b>DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL ÁRIDO FINO Y GRUESO</b>				
<b>ORIGEN:</b>	Área de pequeña minería " PROFUTURO" Cod. 201004			
<b>MASA RECIPIENTE (Kg):</b>	9.8			
<b>VOLUMEN RECIPIENTE (dm<sup>3</sup>):</b>	20.56			
<i>árido</i>	<i>Árido + Recipiente (kg)</i>	<i>Árido (kg)</i>	<i>Peso Unitario (kg/dm<sup>3</sup>)</i>	<i>Peso Unitario Promedio (kg/dm<sup>3</sup>)</i>
GRUESO	25.10	15.30	0.74	0.74
	24.90	15.10	0.73	
FINO	27.80	18.00	0.88	0.87
	27.70	17.90	0.87	

**Tabla 4.23** Resultados de la densidad aparente compactada del árido fino y grueso,

Fuente: Elaboración Propia

**Densidad aparente suelta del árido fino y grueso**

Para este ensayo se utilizó el mismo recipiente descrito en el ensayo anterior por lo que se usa los mismos datos de volumen y peso con la diferencia en la cantidad del árido grueso que ahora fue de 12.20 kg y 16.70 kg del fino.

<b>DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL ARIDO FINO Y GRUESO</b>				
<b>ORIGEN:</b>	Área de pequeña minería " PROFUTURO" Cod. 201004			
<b>MASA RECIPIENTE (Kg):</b>	9.8			
<b>VOLUMEN RECIPIENTE (dm<sup>3</sup>):</b>	20.56			
<i>Árido</i>	<i>Árido + Recipiente (kg)</i>	<i>Árido (kg)</i>	<i>Peso Unitario (kg/dm<sup>3</sup>)</i>	<i>Peso Unitario Promedio (kg/dm<sup>3</sup>)</i>
GRUESO	22.00	12.20	0.59	0.60
	22.10	12.30	0.60	
FINO	26.50	16.70	0.81	0.81
	26.50	16.70	0.81	

**Tabla 4.24** Resultados de la densidad aparente suelta del árido fino y grueso, Fuente:

Elaboración Propia

**Densidad aparente compactada de la mezcla**

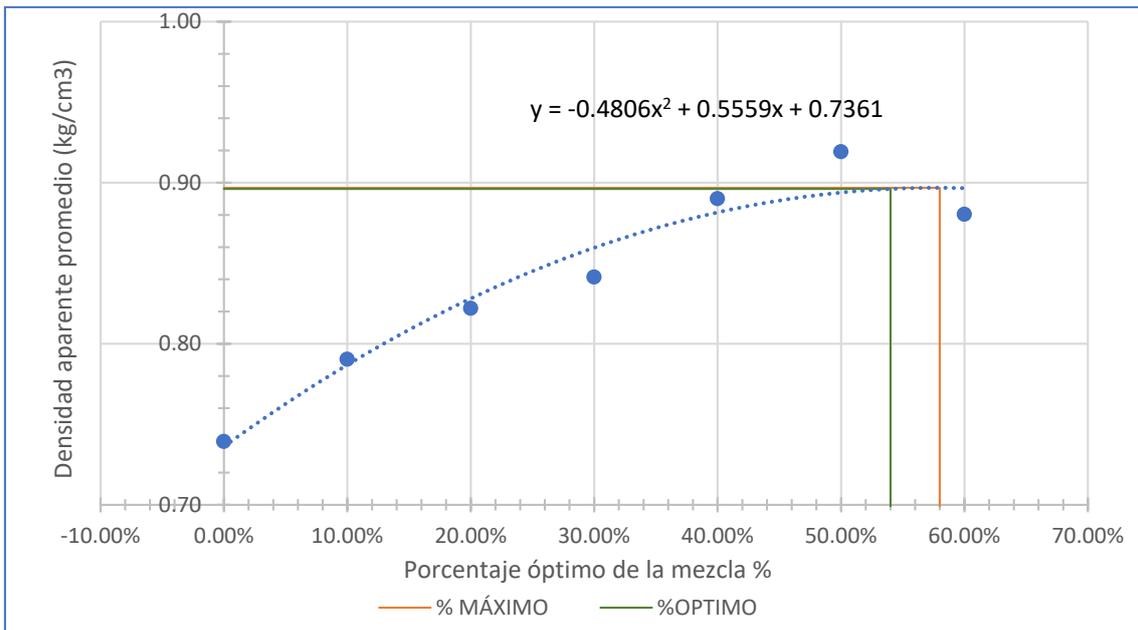
Una vez establecidas las densidades de cada árido, se procede a establecer la densidad compacta de toda la mezcla con el uso del recipiente de peso 9.8 kg y volumen 20.56 dm<sup>3</sup>.

<b>DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA MEZCLA</b>								
<b>MASA RECIPIENTE (Kg):</b>			9.8					
<b>VOLUMEN RECIPIENTE (dm<sup>3</sup>):</b>			20.56					
% Mezcla		Cantidad (kg)		Fino añadido (kg)	Árido + Recipiente (kg)	Árido (kg)	Peso unitario mezcla (kg/dm <sup>3</sup> )	Peso unitario promedio
<i>GRUESO</i>	<i>FINO</i>	<i>Grueso</i>	<i>Fino</i>	<i>FINO</i>	<i>ÁRIDO FINO + GRUESO</i>			
100.00%	0.00%	40.00	0.00	0.00	25.10	15.30	0.74	0.74
					24.90	15.10	0.73	
90.00%	10.00 %	40.00	4.44	4.44	26.10	16.30	0.79	0.79
					26.00	16.20	0.79	
80.00%	20.00 %	40.00	10.00	5.56	26.80	17.00	0.83	0.82
					26.60	16.80	0.82	
70.00%	30.00 %	40.00	17.14	7.14	27.20	17.40	0.85	0.84
					27.00	17.20	0.84	
60.00%	40.00 %	40.00	26.67	9.53	28.20	18.40	0.89	0.89
					28.00	18.20	0.89	
50.00%	50.00 %	40.00	40.00	13.33	28.80	19.00	0.92	0.92
					28.60	18.80	0.91	
40.00%	60.00 %	40.00	60.00	20.00	28.00	18.20	0.89	0.88
					27.80	18.00	0.88	

**Tabla 4.25** Resultados de la densidad aparente compactada de la mezcla, Fuente:

Elaboración Propia

Los resultados del ensayo se muestran en la Figura 4.8. El porcentaje máximo del árido fino como se muestra en esta figura es del 58%, mientras que el porcentaje máximo para el grueso es del 42%.



**Figura 4.8** Gráfico del porcentaje óptimo vs la densidad aparente, Fuente: Elaboración Propia

**Densidad real y capacidad de absorción del árido grueso**

Para la determinación de la densidad real, se utilizan 4 muestras dadas en base al peso de la canasta en el aire, agua tanto vacía y con los áridos. La densidad se obtiene cuando la muestra está en estado saturado y con superficie seca en donde con ayuda del picnómetro se obtienen los resultados de la Tabla 4.26.

<b><i>CALCULO DE LA DENSIDAD REAL</i></b>			
<b><i>DATOS</i></b>	<b><i>DESIGNACIÓN</i></b>	<b><i>UNIDAD</i></b>	<b><i>VALOR</i></b>
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1195.00
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1027.00
M3	Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	gr	1955.00
M4	Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	gr	1104.00
DA	Densidad real del agua	gr/cm3	1.00
M5 = M3-M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	760.00
M6 = M4-M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	77.00
VR=(M5-M6) /DA	Volumen real de la muestra	cm3	683.00
DR=M5/VR	Densidad real	gr/cm3	1.113

**Tabla 4.26** Resultados de la densidad real del árido grueso, Fuente: Elaboración Propia

**Densidad real y capacidad de absorción del árido fino**

Para el cálculo de la capacidad de absorción (Tabla 4.27) es necesario que la muestra se encuentre en estado saturado con superficie seca en donde primero se procede a colocar las muestras en el horno para secar durante 24 horas.

<b>CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN</b>				
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
M7	Masa del recipiente	gr	31.00	30.80
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	74.10	74.40
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	43.10	43.60
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	58.20	58.40
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	27.20	27.60
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	58.46	57.97
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	58.21	

**Tabla 4.27** Capacidad de absorción del árido grueso, Fuente: Elaboración Propia

Para la determinación de la densidad real se analizan 11 muestras en base al peso de la canasta en el aire y en el agua vacía y obteniéndose los resultados de la Tabla 4.28.

<b>CALCULO DE LA DENSIDAD REAL</b>				
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
M1	Masa del picnómetro	gr	153.3	146.00
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	281.7	315.40
M3	Masa del picn. + muestra SSS + agua	gr	707.9	719.60
M4=M3-M2	Masa agua añadida	gr	426.2	404.20
M5	Masa picnómetro + 500cc de agua	gr	651.8	645.20
M6=M5-M1	Masa de 500cc de agua	gr	498.5	499.20
DA=M6/500cm3	Densidad del agua	gr/cm3	1.00	1.00
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	72.30	95.00
Msss=M2-M1	Masa del árido	gr	128.4	169.40
Vsss=M7/DA	Volumen del agua desalojada	cm3	72.52	95.15
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm3	1.77	1.78
DRA Prom	DENSIDAD REAL DE LA ARENA	gr/cm3	1.78	
<b>CÁLCULO DE LACAPACIDAD DE ABSORCIÓN</b>				
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
M7	Masa del recipiente	gr	24.20	26.50
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	94.10	96.80
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	69.90	70.30
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	79.40	82.00
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	55.20	55.50
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	26.63	26.67
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	26.65	

**Tabla 4.28** Resultados de la capacidad de absorción y densidad real del árido fino, Fuente: Elaboración Propia

**Densidad real del cemento**

Para el ensayo se han utilizado 7 muestras, en donde en base al peso de la canasta en el aire y en el agua con y sin las muestras se obtiene los resultados de la Tabla 4.29.

<b>CALCULO DE LA DENSIDAD REAL DEL CEMENTO</b>				
<b>DATOS</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	
M1	Masa del picnómetro	gr	154.70	153.30
M2	Masa del picnómetro + muestra	gr	269.50	251.80
M3	Masa del picnómetro + muestra + gasolina	gr	608.10	594.80
M4=M3-M2	Masa gasolina añadida	gr	338.60	343.00
M5	Masa picnómetro + 500cc de gasolina	gr	522.50	521.30
M6=M5-M1	Masa de 500cc de gasolina	gr	367.80	368.00
DG=M6/500cm <sup>3</sup>	Densidad de la gasolina	gr/cm <sup>3</sup>	0.74	0.74
M7=M6-M4	Masa de la gasolina desalojada por la muestra	gr	29.20	25.00
M <sub>C</sub> =M2-M1	Masa del cemento	gr	114.80	98.50
V <sub>G</sub> =M7/DG	Volumen de la gasolina desalojada	cm <sup>3</sup>	39.70	33.97
DRC=M <sub>C</sub> /V <sub>G</sub>	Densidad real del cemento	gr/cm <sup>3</sup>	2.89	2.90
	Densidad real promedio	gr/cm <sup>3</sup>	2.896	

**Tabla 4.29** Resultados de la densidad real del cemento, Fuente: Elaboración Propia

### 4.3. BLOQUE COMERCIAL INEN 3066

Con el objetivo de poder comparar los resultados de los bloques elaborados en la presente investigación se han ensayado bloques comerciales según la norma INEN 3066 para tener valores de referencia. Estos datos serán útiles para establecer las dosificaciones óptimas en los bloques fabricados con cada uno de los materiales de desecho.

#### 4.3.1. Ensayos térmicos

Se elaboraron y ensayaron 5 paredes obteniendo el promedio mostrado en la Tabla 4.30.

<b>PROMEDIO DE <math>\Delta T</math>(máx.) PARED 1 Y 2</b>
27.30
<b>PROMEDIO DE <math>\Delta T</math>(máx.) AMBIENTE 1 Y 2</b>
31.27

**Tabla 4.30** Promedio de los ensayos en las paredes con bloques INEN 3066, Fuente:

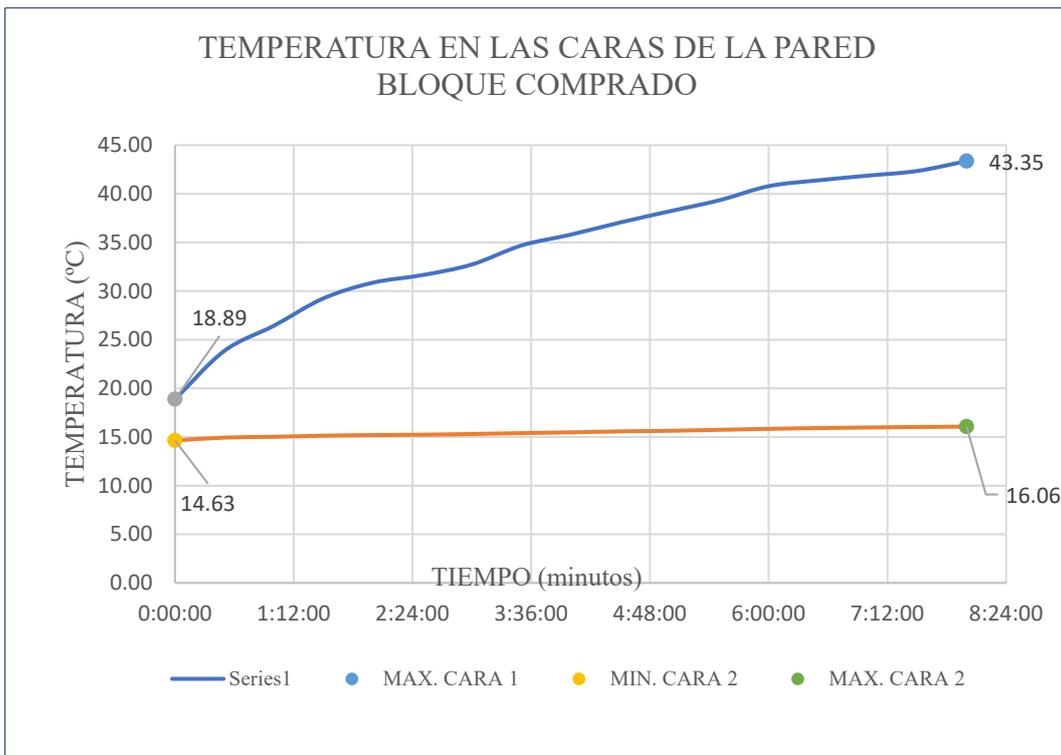
Elaboración Propia

Para estos bloques se ha obtenido el coeficiente de conductividad térmica (Tabla 4.31), así como, la temperatura en las caras de la pared (Figura 4.9) y en el ambiente (Figura 4.10) en la cámara de ensayo.

<b>COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE PARED BLOQUE COMERCIAL INEN 3066</b>			
<b><i>Símbolo</i></b>	<b><i>Descripción</i></b>	<b><i>Valor</i></b>	<b><i>Unidad</i></b>
$\phi$	Flujo térmico	600	W
A	Área de la muestra	0.56	m <sup>2</sup>
$q = \phi/A$	Densidad de flujo térmico	1071.43	W/m <sup>2</sup>
	°k	273	°K
$\Delta T = t_f - t_i$	$\Delta T$ (máx.) + 273	300.30	°k
e	Espesor muestra	0.15	m <sup>2</sup>
$\lambda = q/(\Delta T/e)$	<b>Coef. conductividad Térmica</b>	<b>0.535</b>	<b>w/m·K</b>

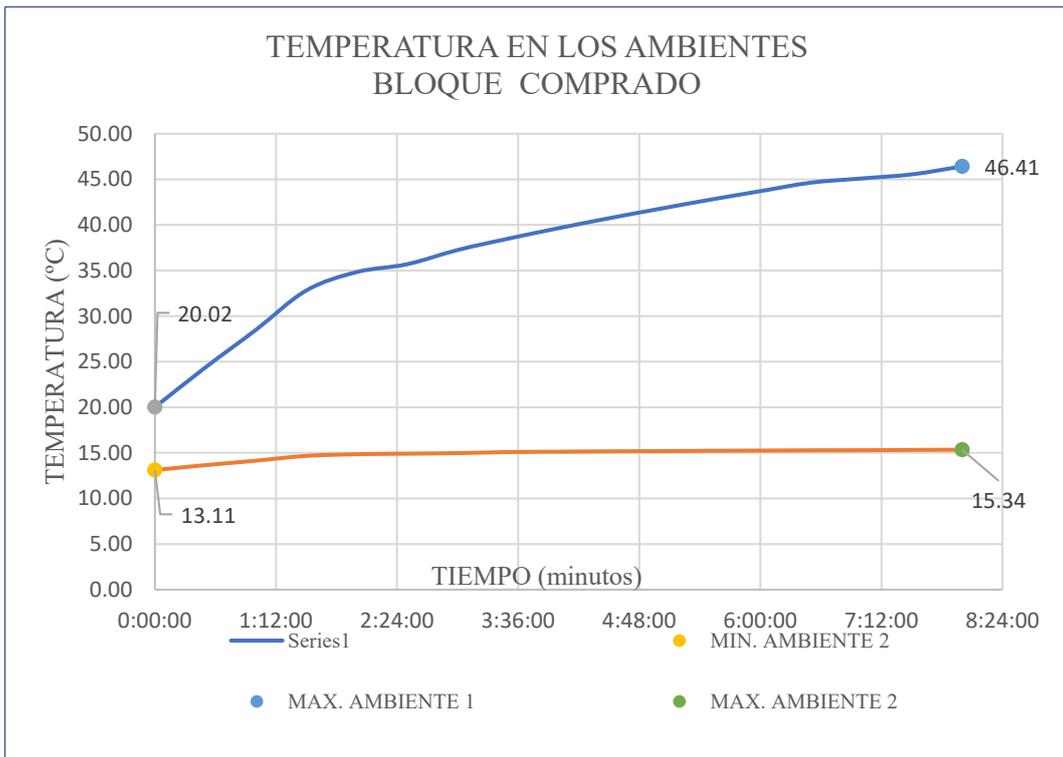
**Tabla 4.31** Coeficiente de conductividad térmica de pared de bloques INEN 3066,

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 4.9** Temperaturas en las caras de la pared de bloques INEN 3066, Fuente:

Elaboración Propia



**Figura 4.10** Temperatura en ambientes de la pared de bloques INEN 3066, Fuente: Elaboración Propia

#### 4.3.2. Ensayos acústicos

Se elaboraron y ensayaron 5 paredes con bloque comercial obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 4.32 y la presión sonora de la pared (Figura 4.11).

<i>PROMEDIO EMISOR (dBA)</i>	<i>PORMEDIO RECEPTOR (dBA)</i>	<i>DIFERENCIA PROMEDIO (dBA)</i>
83.51	47.29	36.22

**Tabla 4.32** Promedio de los resultados de ensayos acústicos de la pared con bloques INEN 3066, Fuente: Elaboración Propia

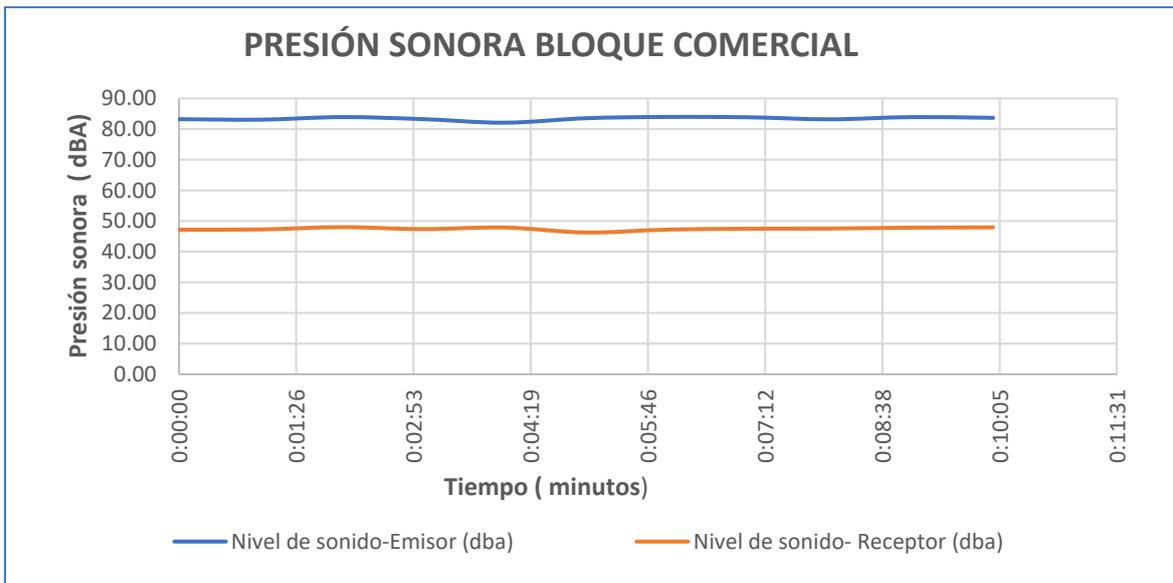


Figura 4.11 Presión sonora pared con bloques INEN 3066, Fuente: Elaboración Propia

### 4.3.3. Ensayos de compresión

También, se han realizado ensayos de compresión. La Tabla 4.33 muestra los resultados obtenidos de los bloques ensayados, donde la resistencia promedio es de 43.86 Kg/cm<sup>2</sup>.

<b>BLOQUE DE HORMIGÓN INEN 3066</b>							
<b>BLOQUE</b>	<b>DIMENSIONES</b>				<b>CARGA</b>	<b>RESISTENCIA</b>	<b>PROMEDIO</b>
	<b>a (cm)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>h (cm)</b>	<b>Kg</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>	
1	20	15	300	40	13163.57	43.88	43.86
2	20	15	300	40	13107.48	43.69	
3	20	15	300	40	13204.35	44.01	
<b>Resistencia promedio</b>						<b>43.86</b>	

Tabla 4.33 Resultados de los ensayos de compresión de los bloques INEN 3066,

Fuente: Elaboración Propia



## CAPÍTULO 5

### 5. DOSIFICACIÓN Y RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS BLOQUES DE ADOBE OBJETO DE ESTUDIO

#### 5.1. BLOQUES DE ADOBE CON ADICIÓN DE ASERRÍN Y POLIESTIRENO

Las Tablas 5.1 y 5.2 presentan la dosificación para los bloques de adobe con adición de aserrín y poliestireno. Los porcentajes de adición han variado desde el 0% hasta el 15% pasando por el 5 y el 10%. Los ensayos térmicos llevados a cabo se presentan en las Figuras 5.1 a 5.9 y en las Tablas 5.3 y 5.4, distinguiendo en función del porcentaje de adición.

Por otro lado, los resultados de los ensayos acústicos se recogen en las 5.10 a 5.17 y en la Tabla 5.5. Mientras que en la Figura 5.18 y en la Tabla 5.6 se muestran los resultados correspondientes al ensayo de compresión.

##### 5.1.1. Dosificación de mezclas de adobe con aserrín y poliestireno

<i>Nombre</i>	<i>Peso del bloque (%)</i>	<i>Peso del suelo</i>	<i>Aserrín y Poliestireno (%)</i>	<i>Peso del aserrín y poliestireno</i>
		<i>kg</i>		<i>kg</i>
Adobe +0% de Aserrín y Poliestireno	100	11.11	0	0
Adobe +5% de Aserrín y Poliestireno	100	11.11	5	0.64
Adobe +10% de Aserrín y Poliestireno	100	11.11	10	1.27
Adobe +15% de Aserrín y Poliestireno	100	11.11	15	1.91

**Tabla 5.1** Dosificación para bloques de adobe con Aserrín y Poliestireno-kg, Fuente:

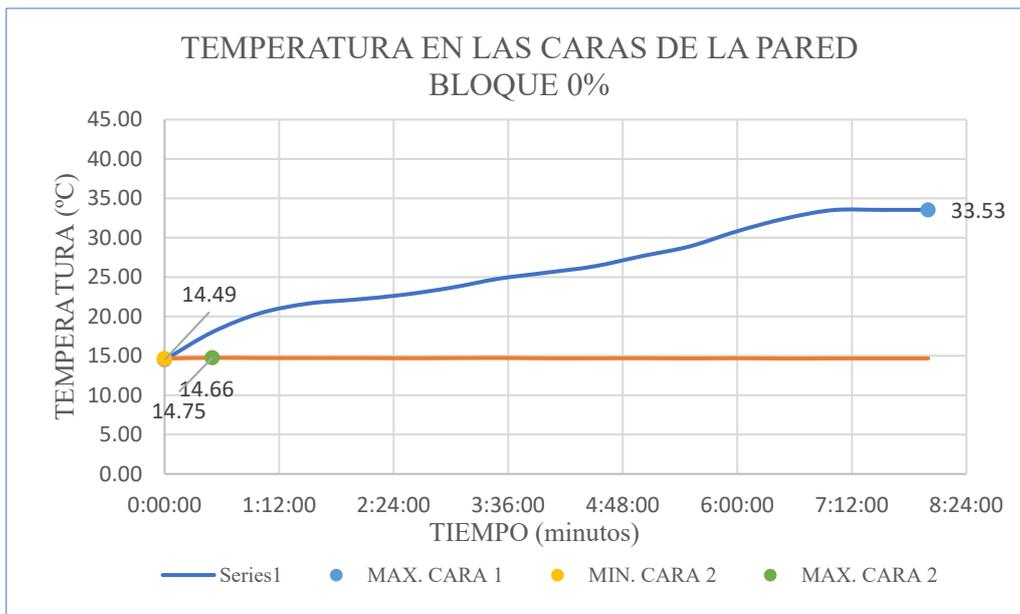
Elaboración Propia

Nombre	Tipo de tierra cruda	Composición			Total de muestras
		Material (%)	Agua (%)	Aserrín y Poliéstireno (%)	
Adobe +0% de Aserrín y Poliéstireno	Adobe	100	12	0	102
Adobe +5% de Aserrín y Poliéstireno	Adobe	100	12	5	102
Adobe +10% de Aserrín y Poliéstireno	Adobe	100	12	10	102
Adobe +15% de Aserrín y Poliéstireno	Adobe	100	12	15	102

**Tabla 5.2** Dosificación para bloques de adobe con Aserrín y Poliéstireno-%, Fuente:

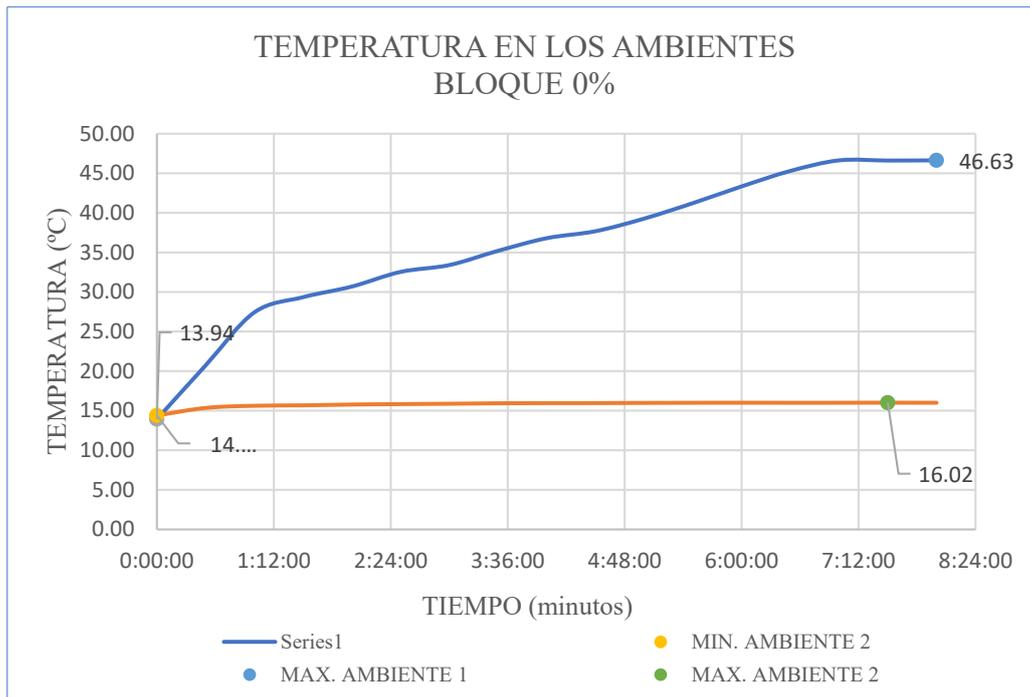
Elaboración Propia

**5.1.2. Ensayos térmicos con bloques de adobe con aserrín y poliéstireno**

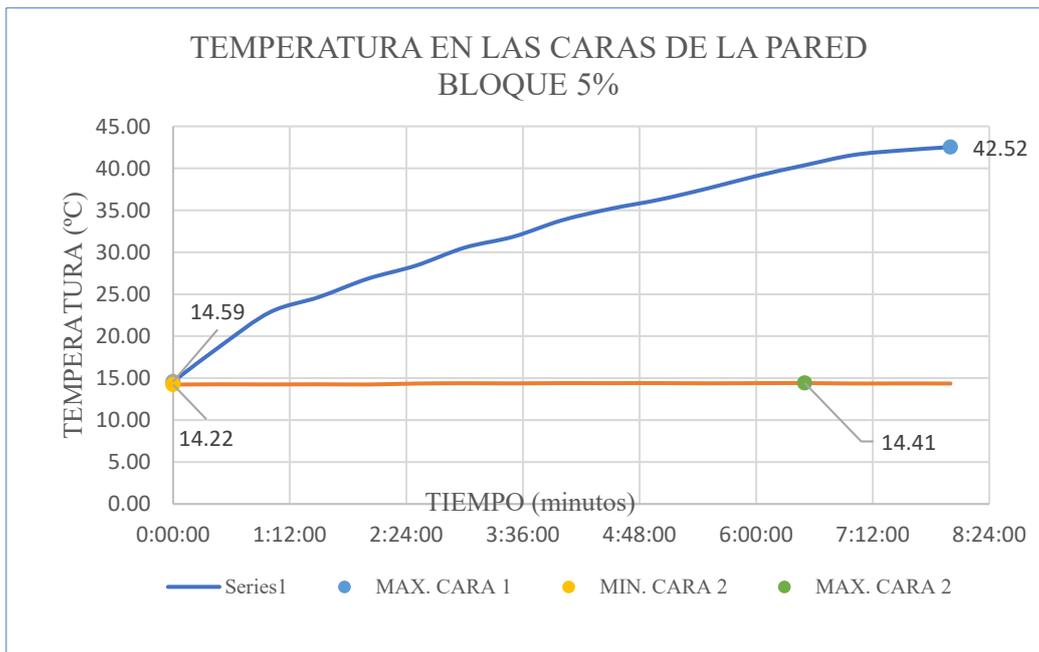


**Figura 5.1** Temperatura en caras de la pared Adobe 0%Aserrín y Poliéstireno, Fuente:

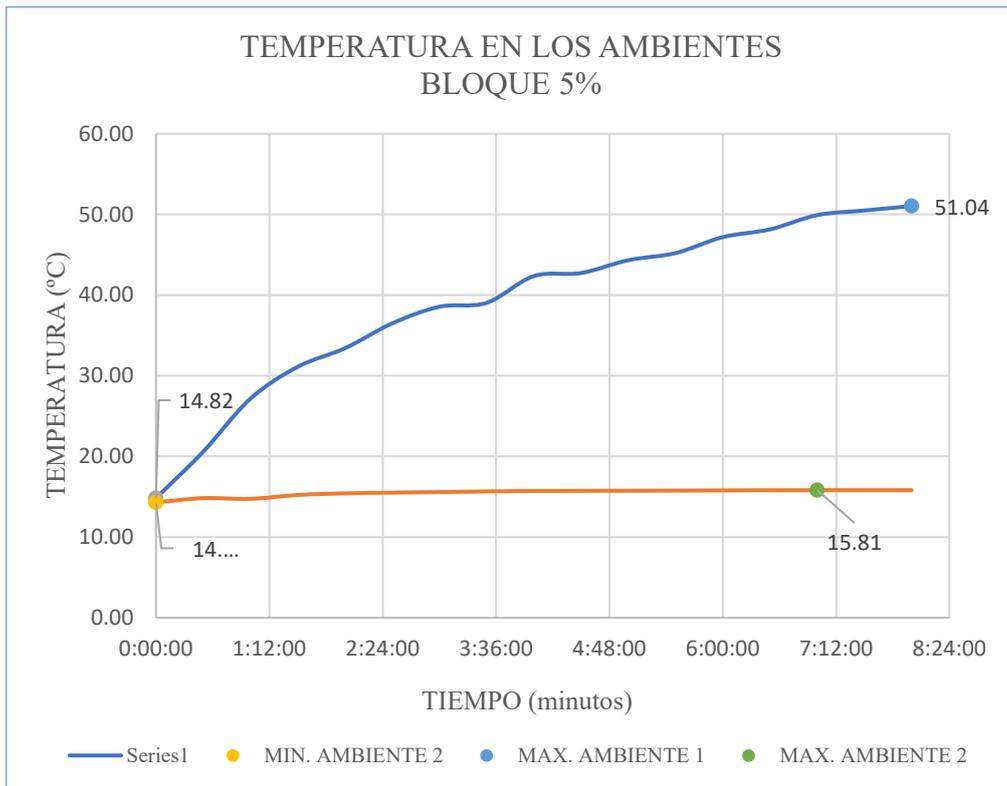
Elaboración Propia



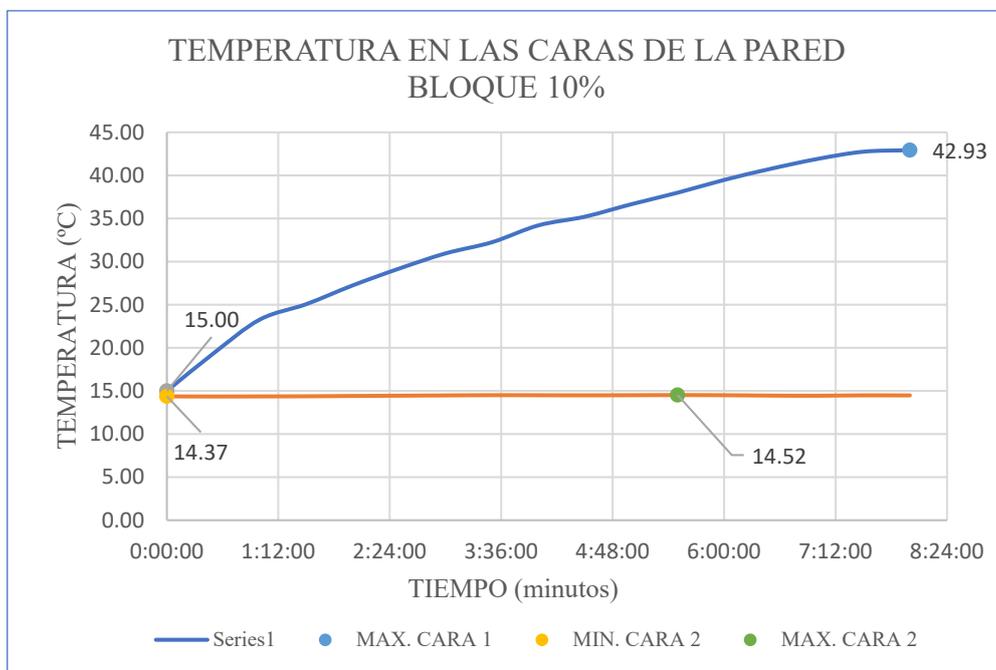
**Figura 5.2** Temperatura en ambientes de la pared Adobe 0% Aserrín y Poliestireno,  
Fuente: Elaboración Propia



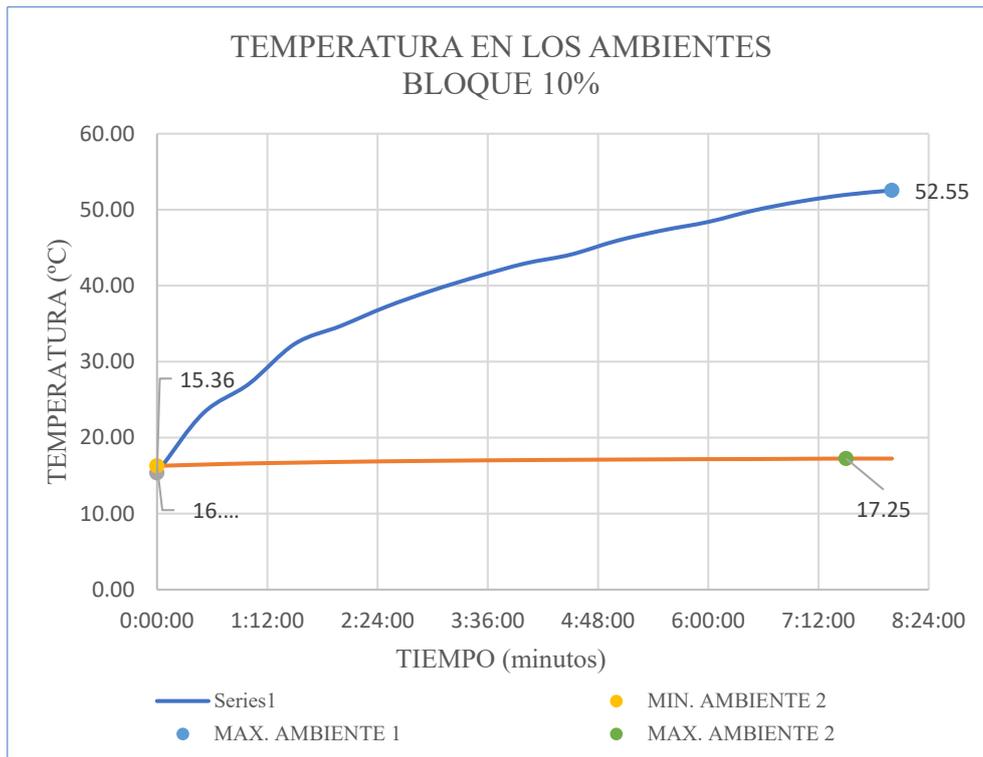
**Figura 5.3** Temperatura en caras de la pared Adobe 5%Aserrín y Poliestireno, Fuente:  
Elaboración Propia



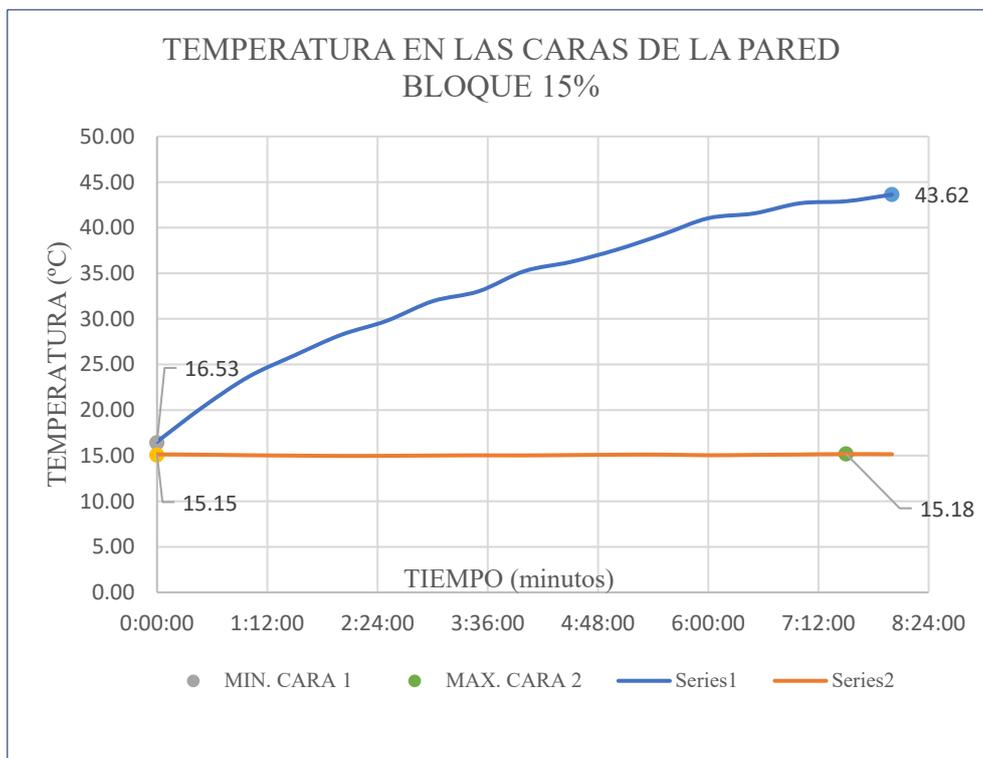
**Figura 5.4** Temperatura en ambientes de la pared Adobe 5% Aserrín y Poliestireno, Fuente: Elaboración Propia



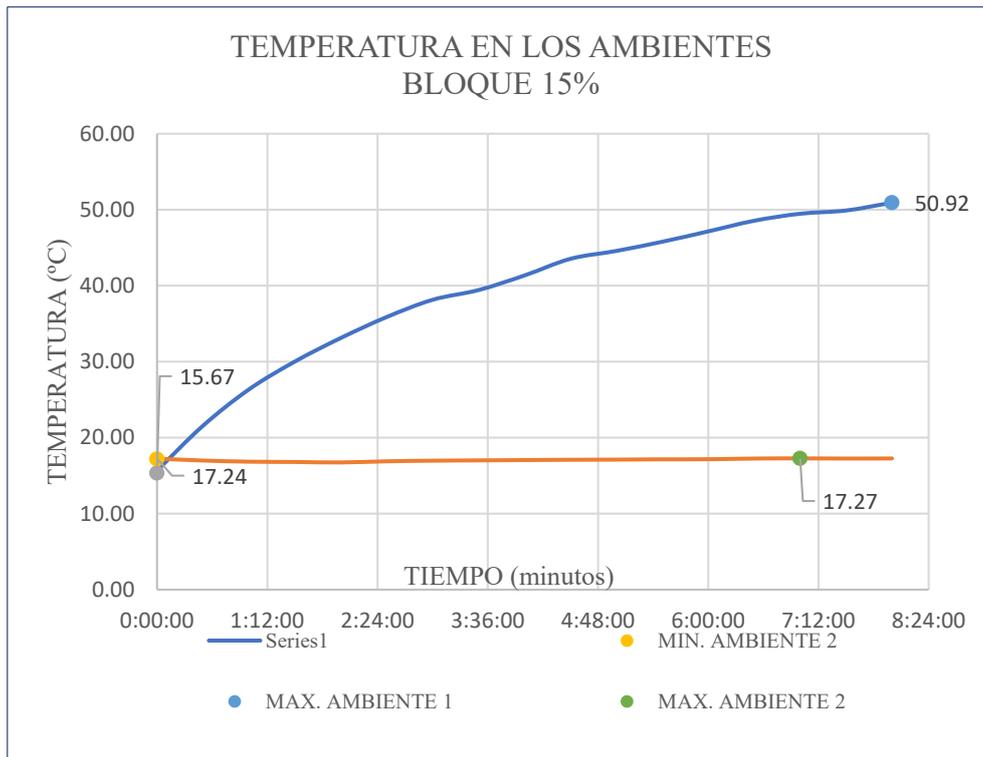
**Figura 5.5** Temperatura en caras de la pared Adobe 10%Aserrín y Poliestireno, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 5.6** Temperatura en ambientes de la pared Adobe 10% Aserrín y Poliéstireno, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 5.7** Temperatura en caras de la pared Adobe 15% Aserrín y Poliéstireno, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 5.8** Temperatura en ambientes de la pared Adobe 15% Aserrín y Poliéstireno,

Fuente: Elaboración Propia

Se han ensayado 4 paredes por porcentaje, cada una formada por 18 bloques; con un total de 16 ensayos obteniéndose los siguientes datos:

<b>PROMEDIO DE <math>\Delta T</math>(máx.) CARA PARED 1 Y 2 (°C)</b>			
<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>
18.78	28.11	28.42	29.06
<b>PROMEDIO DE <math>\Delta T</math>(máx.) AMBIENTE 1 Y 2 (°C)</b>			
<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>
30.62	35.22	35.30	33.70

**Tabla 5.3** Promedio de ensayos de paredes de Adobe más Aserrín y Poliéstireno,

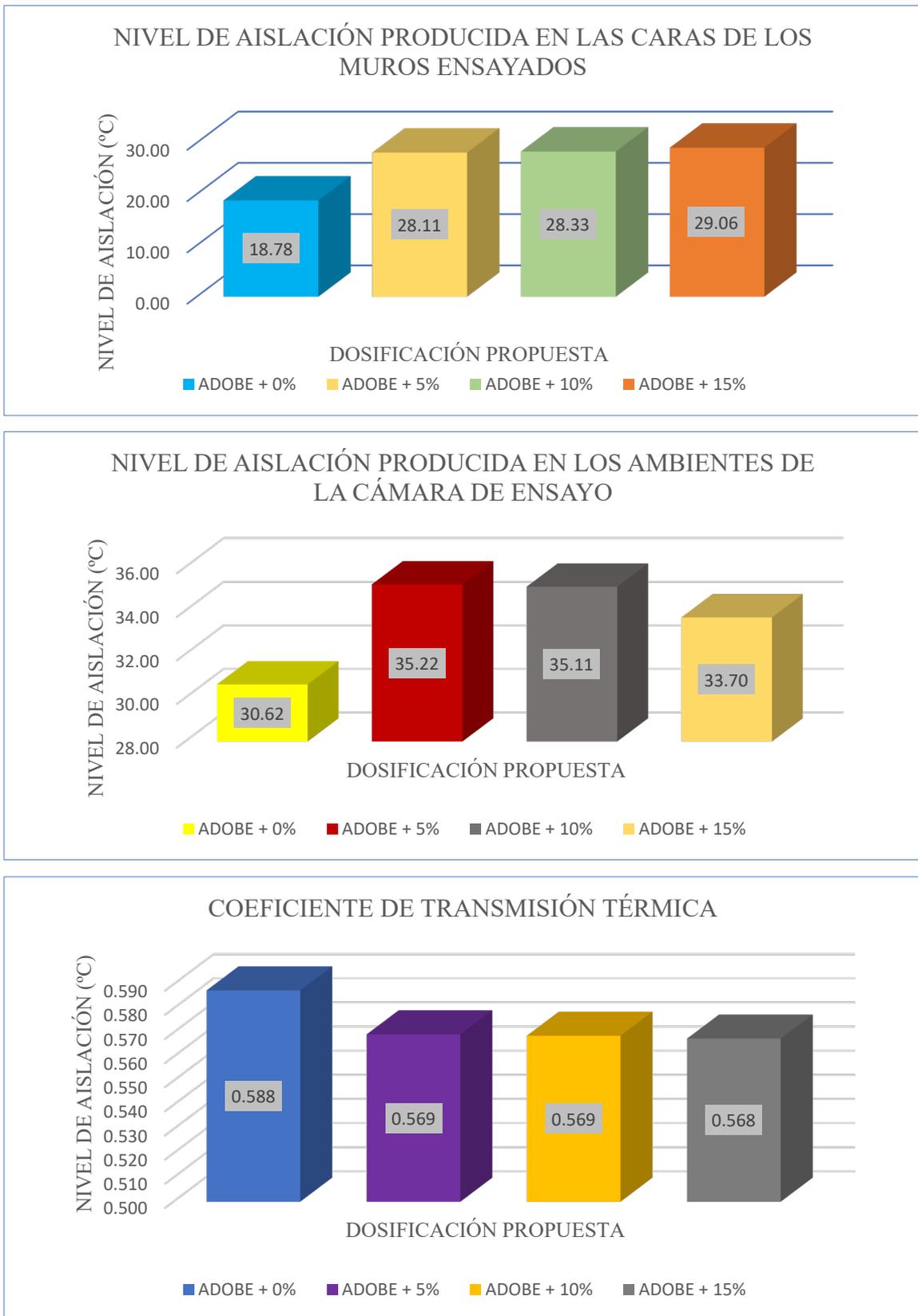
Fuente: Elaboración Propia

<b>COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE PARED BLOQUE ADOBE MÁS ASERRÍN Y POLIESTIRENO</b>						
<b><i>Símbolo</i></b>	<b><i>Descripción</i></b>	<b><i>0%</i></b>	<b><i>5%</i></b>	<b><i>10%</i></b>	<b><i>15%</i></b>	<b><i>Unidad</i></b>
$\varphi$	Flujo térmico	600	600	600	600	W
A	Área de la muestra	0.70	0.70	0.70	0.70	m <sup>2</sup>
$q = \varphi/A$	Densidad de flujo térmico	857.1 4	857.1 4	857.1 4	857.1 4	W/m <sup>2</sup>
	°k	273	273.0 0	273.0 0	273.0 0	°K
$\Delta T = t_f - t_i$	$\Delta T (\text{max}) + 273$	291.7 8	301.1 1	301.4 2	302.0 6	°k
e	Espesor muestra	0.20	0.20	0.20	0.20	m <sup>2</sup>
$\lambda = q/(\Delta T/e)$	<b>Coef. conductividad Térmica</b>	0.588	0.569	0.569	0.568	<b>w/m K</b>

**Tabla 5.4** Promedio de ensayos de paredes de Adobe más Aserrín y Poliestireno,

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 5.9 se puede observar una comparativa de las variaciones térmicas entre los ambientes y las paredes de la cámara térmica con respecto a la composición de cada muro, así como del coeficiente de transmisión térmica obtenido para cada una de las dosificaciones.



**Figura 5.9** Comparativa de los ensayos térmicos de paredes de adobe con adición de Aserrín y Poliestireno, Fuente: Elaboración Propia

### 5.1.3. Ensayos acústicos con bloques de adobe con aserrín y poliestireno

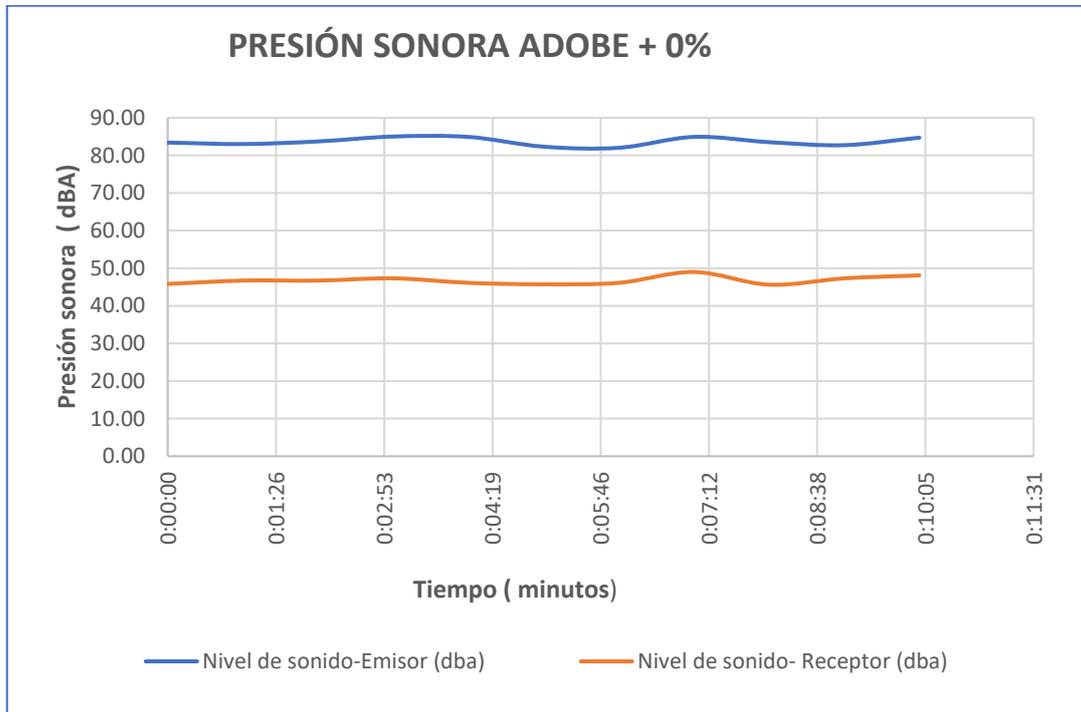


Figura 5.10 Presión sonora ensayo pared Adobe 0% Aserrín y Poliestireno, Fuente: Elaboración Propia

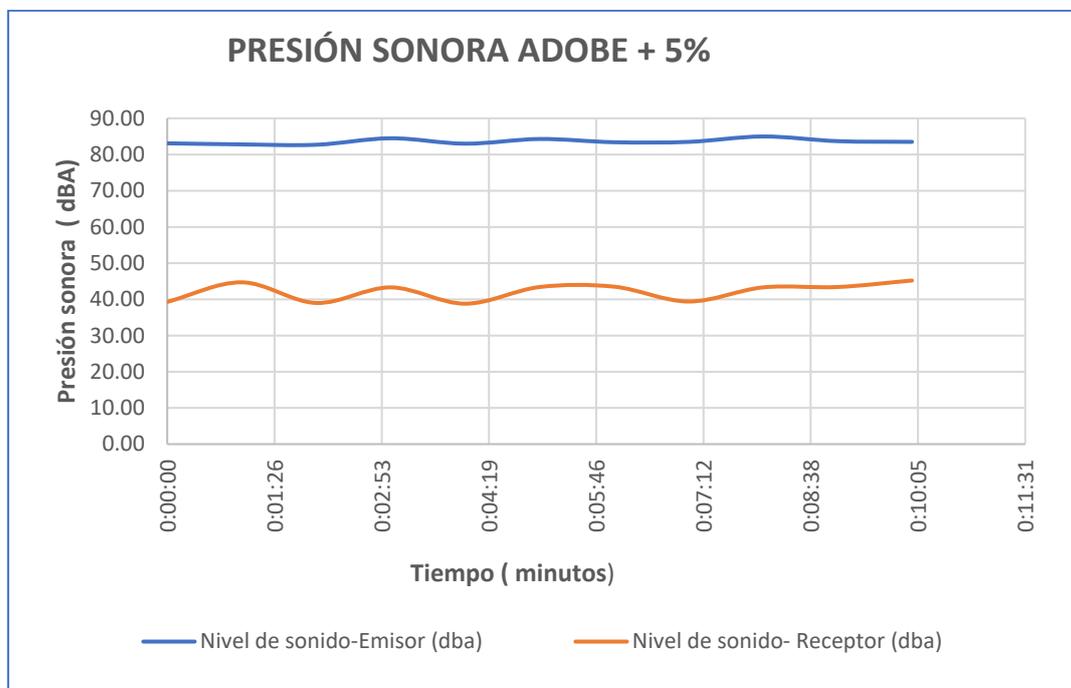
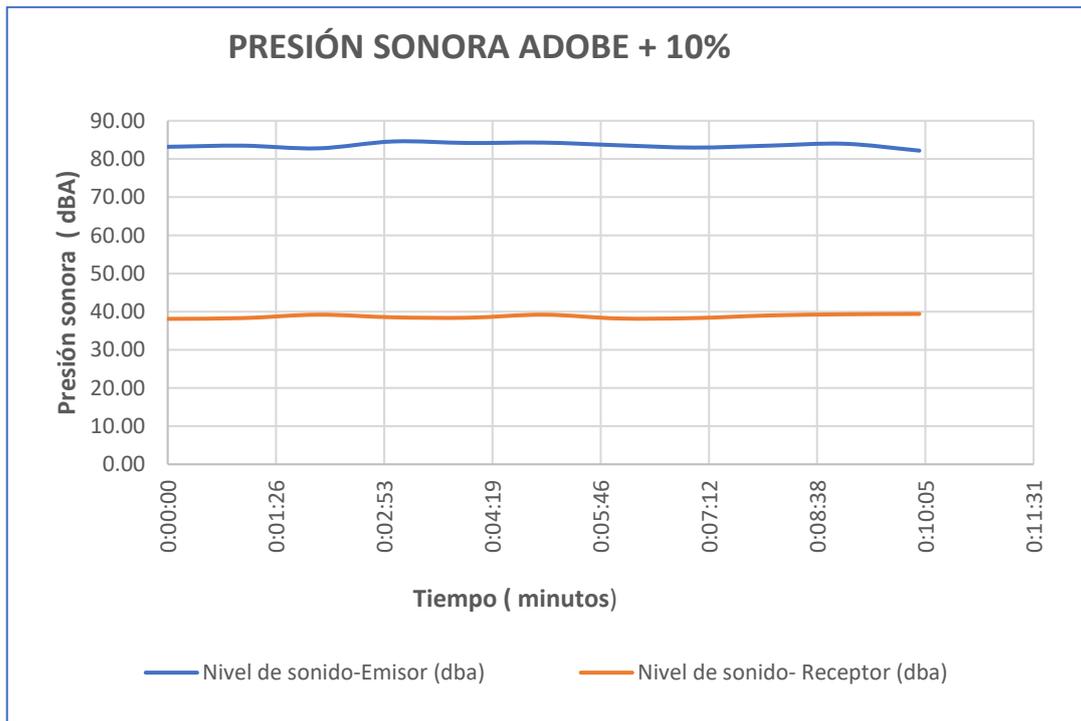
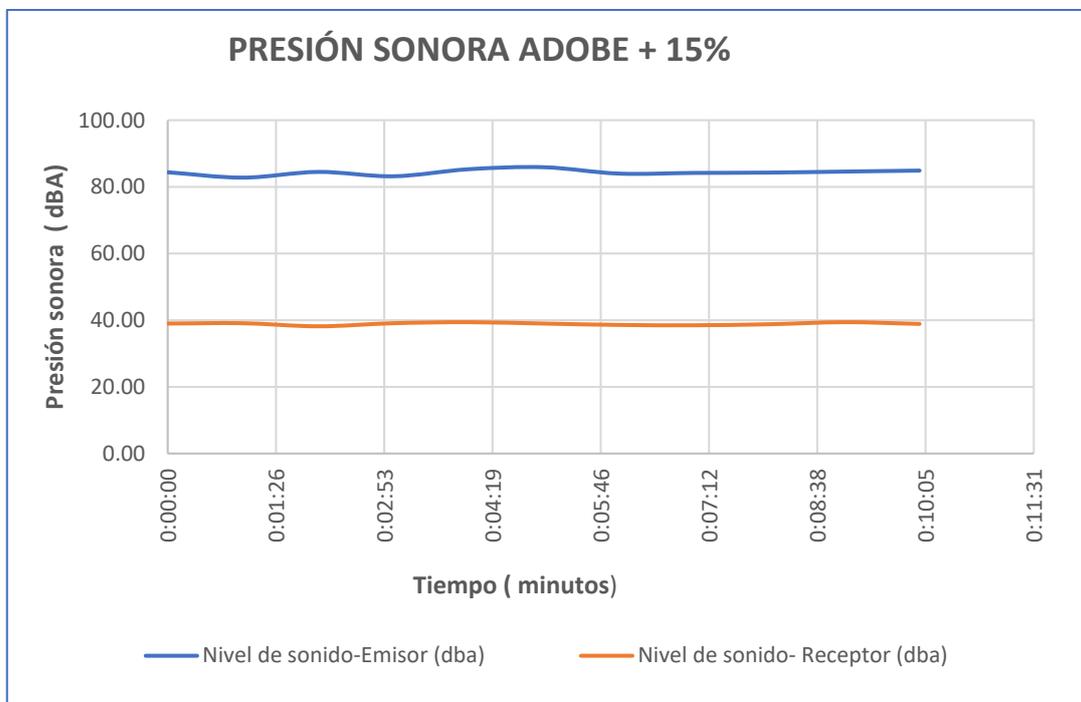


Figura 5.11 Presión sonora ensayo pared Adobe 5% Aserrín y Poliestireno, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 5.12** Presión sonora ensayo pared Adobe 10% Aserrín y Poliestireno, Fuente: Elaboración Propia



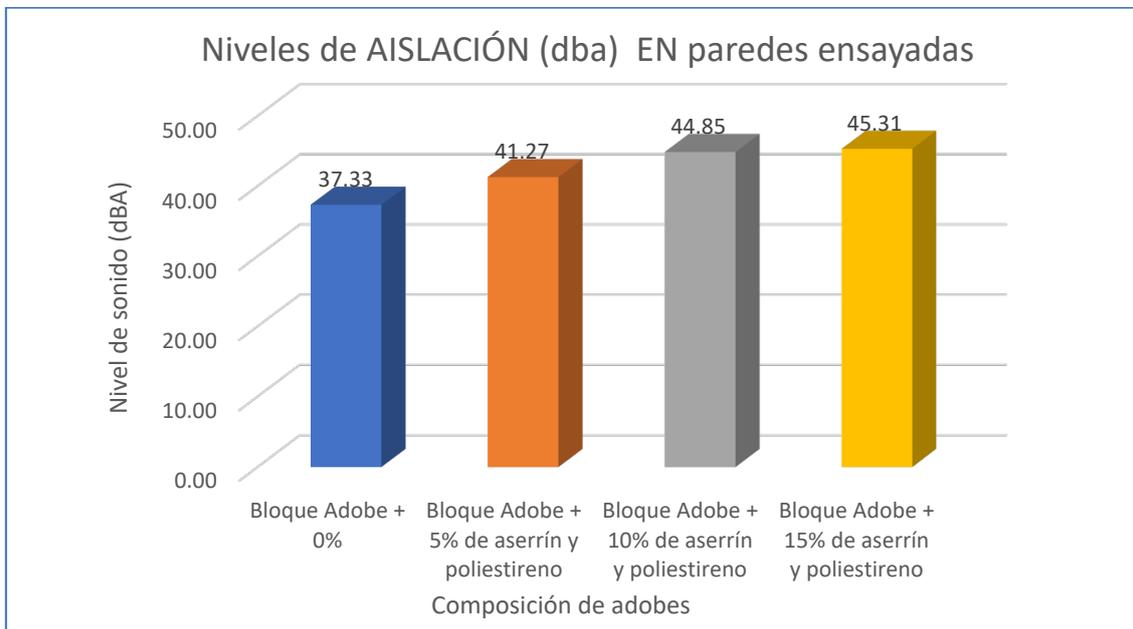
**Figura 5.13** Presión sonora ensayo pared Adobe 15% Aserrín y Poliestireno, Fuente: Elaboración Propia

Se ensayaron 4 paredes por porcentaje, cada una formada por 18 bloques; con un total de 16 ensayos.

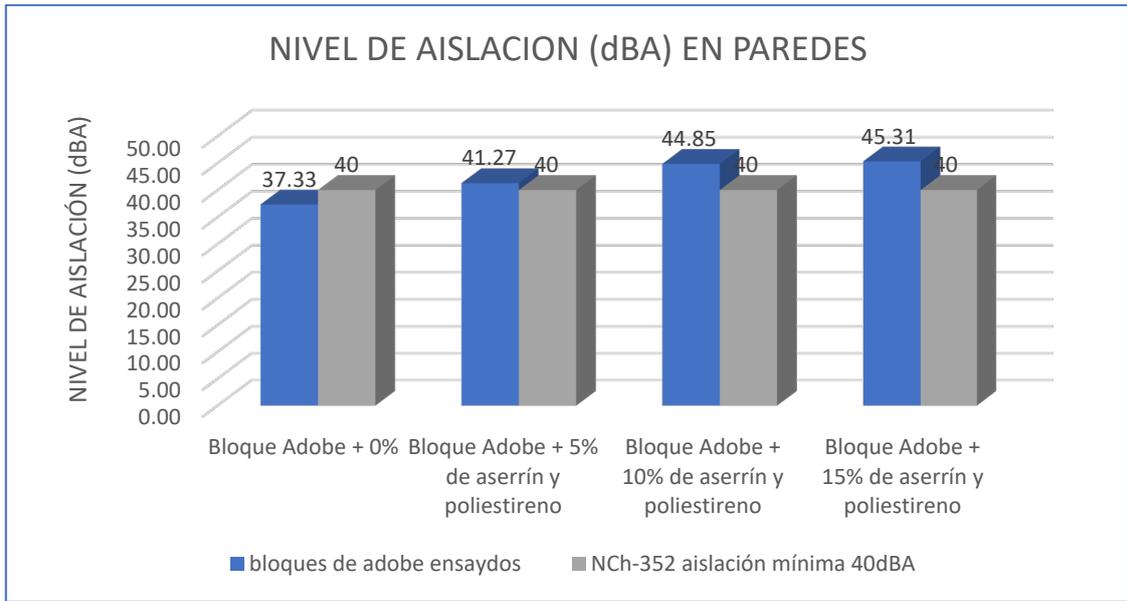
<b>RESULTADOS PROMEDIOS DE LOS ENSAYOS ACUSTICOS</b>			
<b>%</b>	<b>PROMEDIO EMISOR (dBA)</b>	<b>PROMEDIO RECEPTOR (dBA)</b>	<b>DIFERENCIA PROMEDIO (dBA)</b>
<b>0%</b>	83.65	46.32	37.33
<b>5%</b>	83.39	42.12	41.27
<b>10%</b>	83.39	38.55	44.85
<b>15%</b>	84.22	38.91	45.31

**Tabla 5.5** Promedio de resultados de ensayos acústicos Adobe más Aserrín y Poliéstireno, Fuente: Elaboración Propia

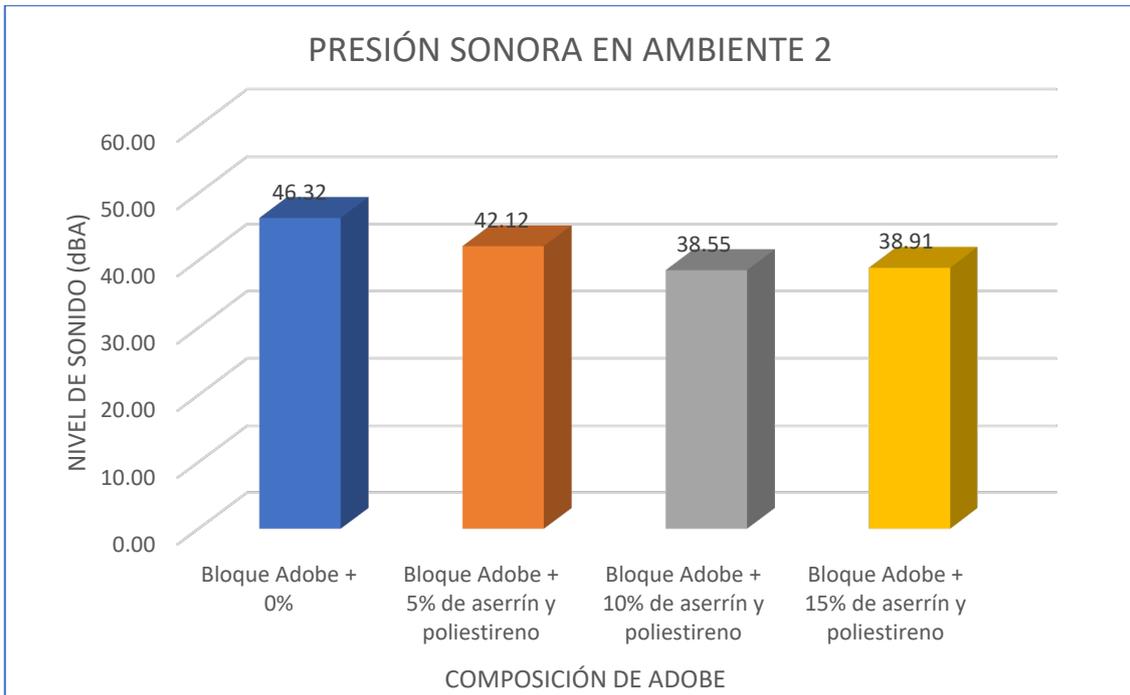
En las Figuras 5.14 a 5.16 se puede observar una comparación de los niveles de aislación en los ambientes de la cámara acústica con respecto a la composición de cada muro y las normas NCh y NEC.



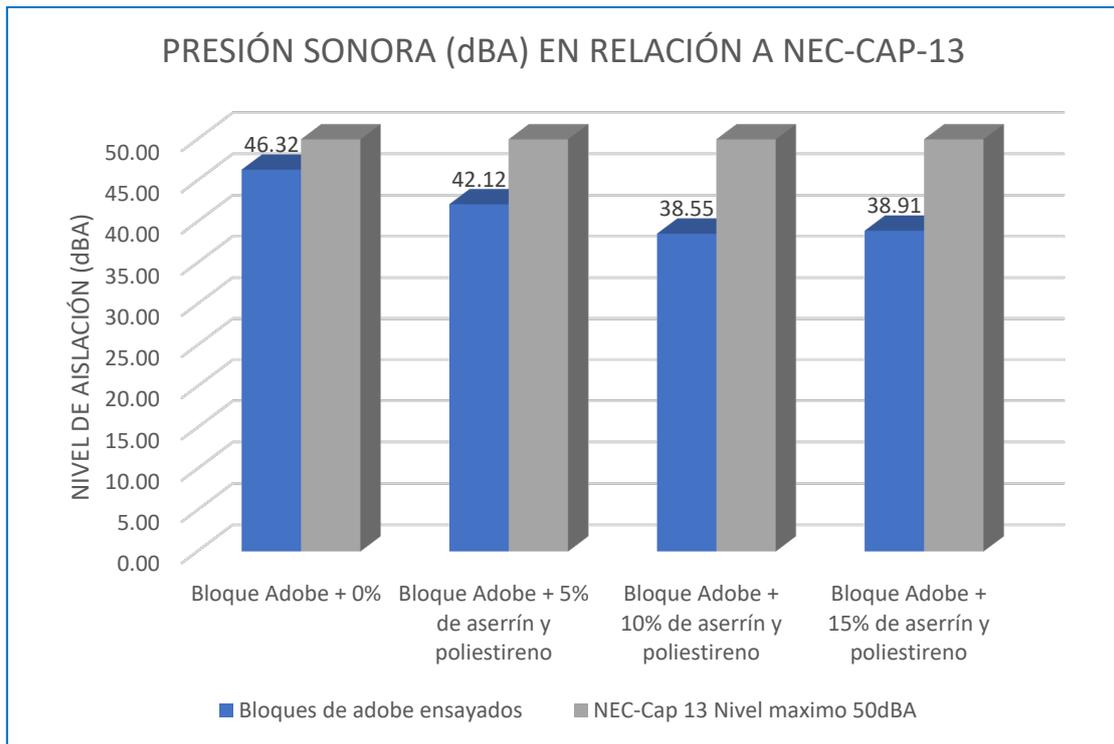
**Figura 5.14** Niveles de aislación en paredes de Adobe con adición de Aserrín y Poliéstireno, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 5.15** Niveles de aislación, comparación NCh-352 paredes de Adobe con adición de Aserrín y Poliestireno, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 5.16** Presión sonora ambiente 2, paredes de Adobe con adición de Aserrín y Poliestireno, Fuente: Elaboración Propia



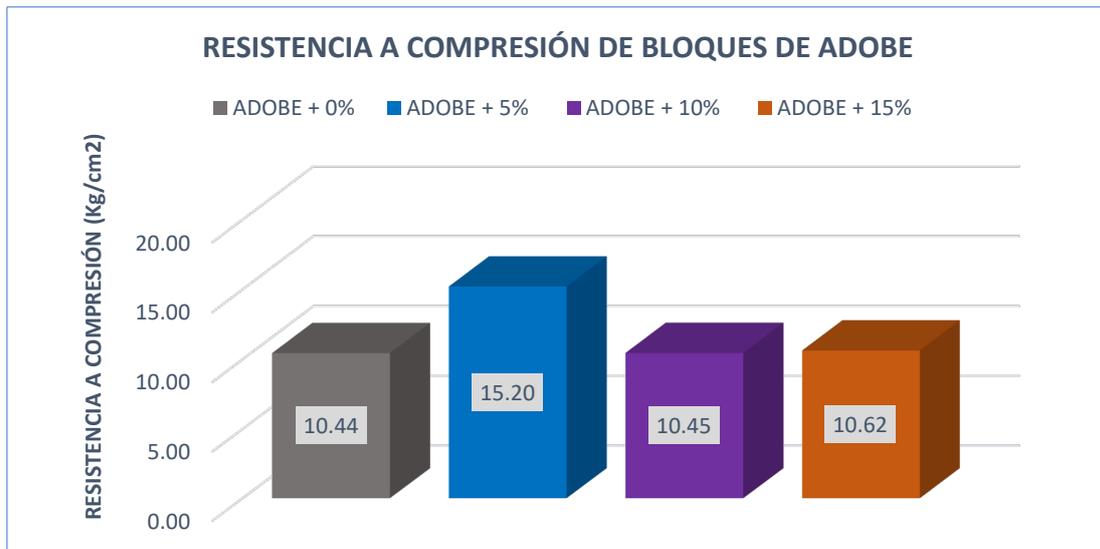
**Figura 5.17** Comparación de presión sonora de paredes de Adobe con adición de Aserrín y Poliestireno con norma NEC, Fuente: Elaboración Propia

#### 5.1.4. Ensayos de compresión en bloques de adobe con aserrín y poliestireno.

La resistencia promedio que se muestra en la Tabla 5.6 y en la Figura 5.18 se ha obtenido del promedio total de los 30 bloques que han sido ensayados para cada una de las dosificaciones analizadas.

<b>COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE BLOQUES DE ADOBE</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RESISTENCIA</b>	<b>UNIDAD</b>
ADOBE + 0%	10.44	kg/cm <sup>2</sup>
ADOBE + 5%	15.20	kg/cm <sup>2</sup>
ADOBE + 10%	10.45	kg/cm <sup>2</sup>
ADOBE + 15%	10.62	kg/cm <sup>2</sup>

**Tabla 5.6** Comparación resultados de paredes de Adobe con adición de Aserrín y Poliestireno, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 5.18** Comparación resultados de paredes de Adobe con adición de Aserrín y Poliestireno, Fuente: Elaboración Propia

## 5.2. BLOQUES DE ADOBE CON ADICIÓN DE BOTELLAS PLÁSTICAS PET

Las Tablas 5.7 y 5.8 presentan la dosificación para los bloques de adobe con adición de botellas plásticas PET. Al igual que en el apartado anterior, los porcentajes de adición han variado desde el 0% hasta el 15% pasando por el 5 y el 10%. Los ensayos térmicos llevados a cabo se presentan en las Figuras 5.19 a 5.27 y en las Tablas 5.9 y 5.10, distinguiendo en función del porcentaje de adición.

Por otro lado, los resultados de los ensayos acústicos se recogen en las Figuras 5.28 a 5.35 y en la Tabla 5.11. Mientras que en la Figura 5.36 y en la Tabla 5.12 se muestran los resultados correspondientes al ensayo de compresión.

### 5.2.1. Dosificación de mezclas de adobe con adición de botellas plásticas PET

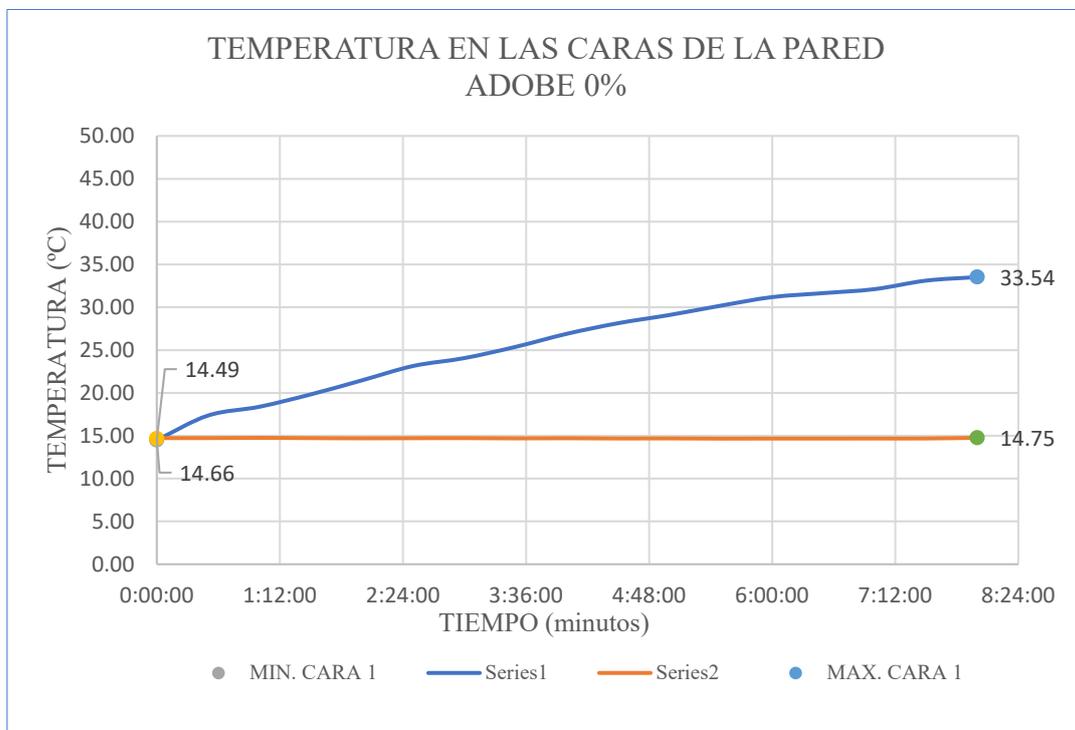
<i>Nombre</i>	<i>Peso del bloque (%)</i>	<i>Peso del suelo</i>	<i>Plástico PET (%)</i>	<i>Peso del plástico PET</i>
		<i>kg</i>		<i>kg</i>
Adobe +0% PET	100	11.11	0	0
Adobe +5% PET	100	11.11	5	0.64
Adobe +10% PET	100	11.11	10	1.27
Adobe +15% PET	100	11.11	15	1.91

**Tabla 5.7** Dosificación para bloques de adobe con PET-kg, Fuente: Elaboración Propia

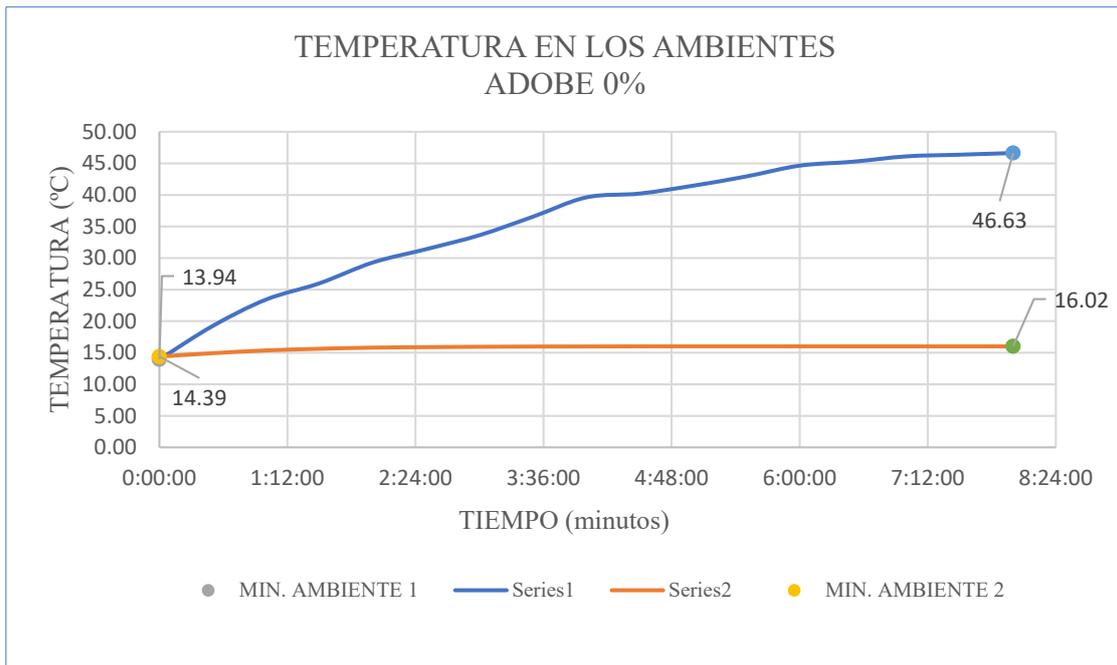
Nombre	Tipo de tierra cruda	Composición			Total, de muestras
		Material (%)	Agua (%)	Plástico PET (%)	
Adobe +0% PET	Adobe	100	12		102
Adobe +5% PET	Adobe	100	12	5	102
Adobe +10% PET	Adobe	100	12	10	102
Adobe +15% PET	Adobe	100	12	15	102

**Tabla 5.8** Dosificación para bloques de adobe con PET-%, Fuente: Elaboración Propia

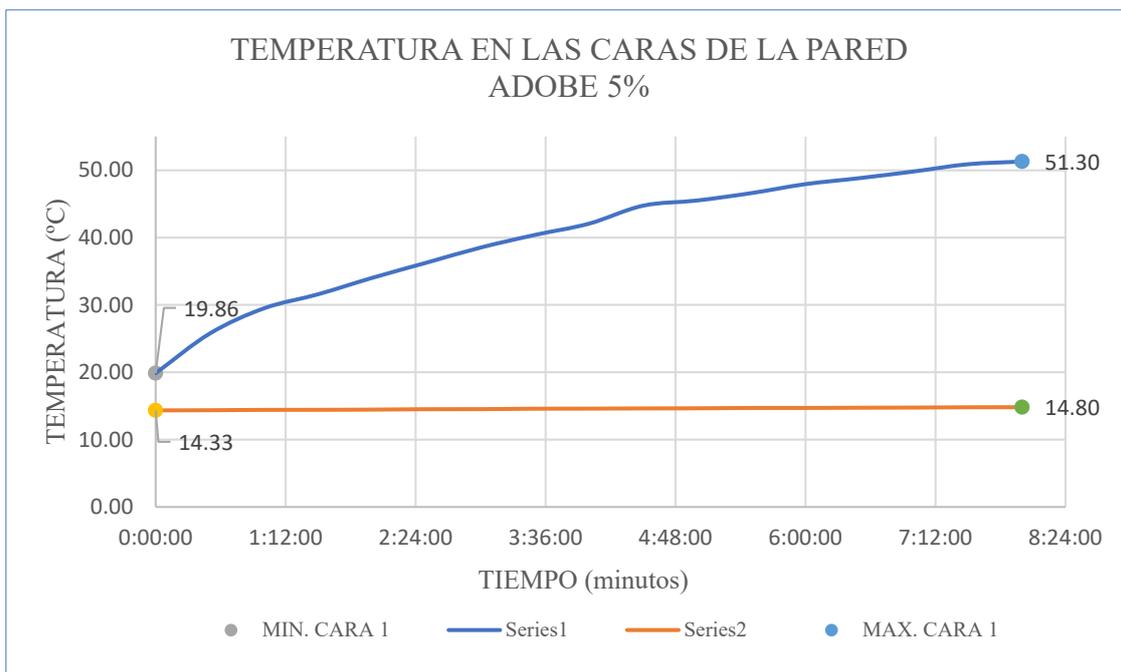
### 5.2.2. Ensayos térmicos con bloques de adobe con adición de plástico PET



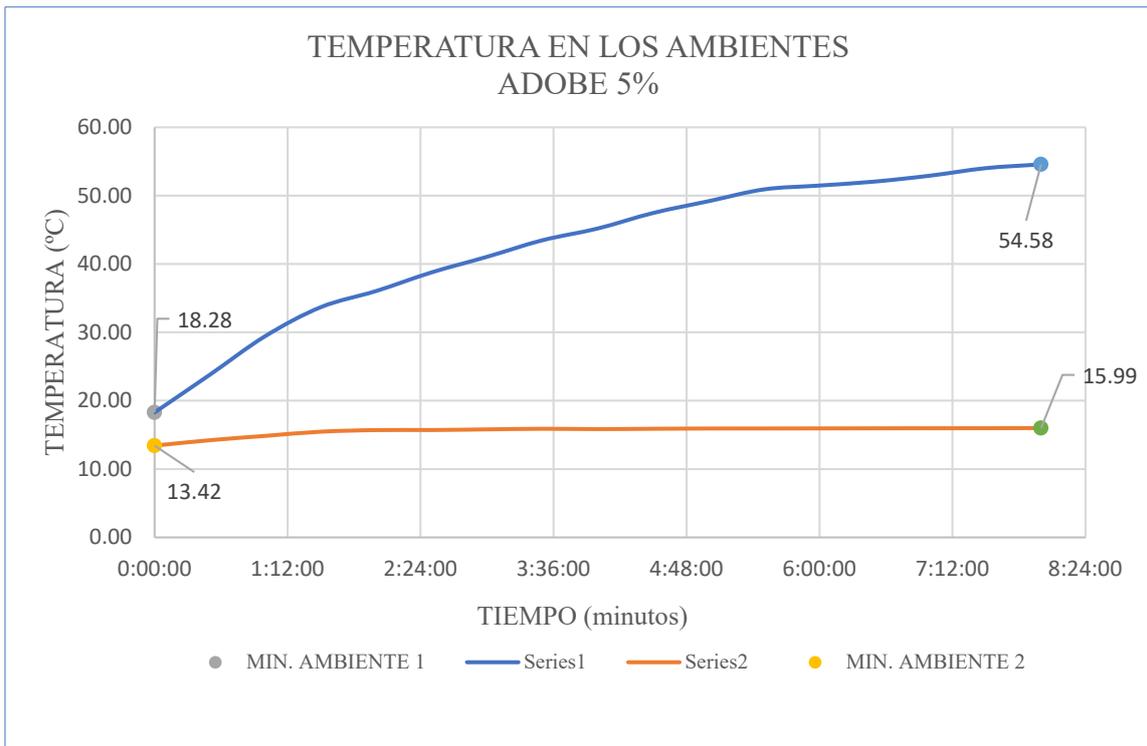
**Figura 5.19** Temperatura en caras de la pared Adobe 0% PET, Fuente: Elaboración Propia



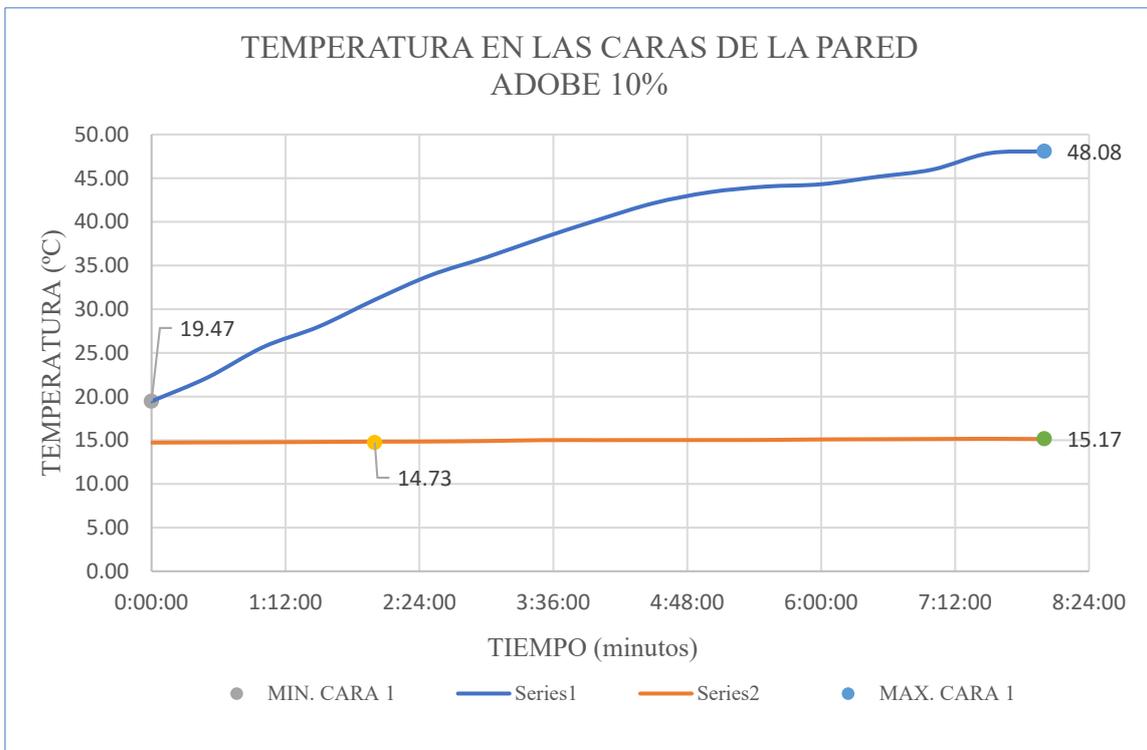
**Figura 5.20** Temperatura en ambientes de la pared Adobe 0% PET, Fuente: Elaboración Propia



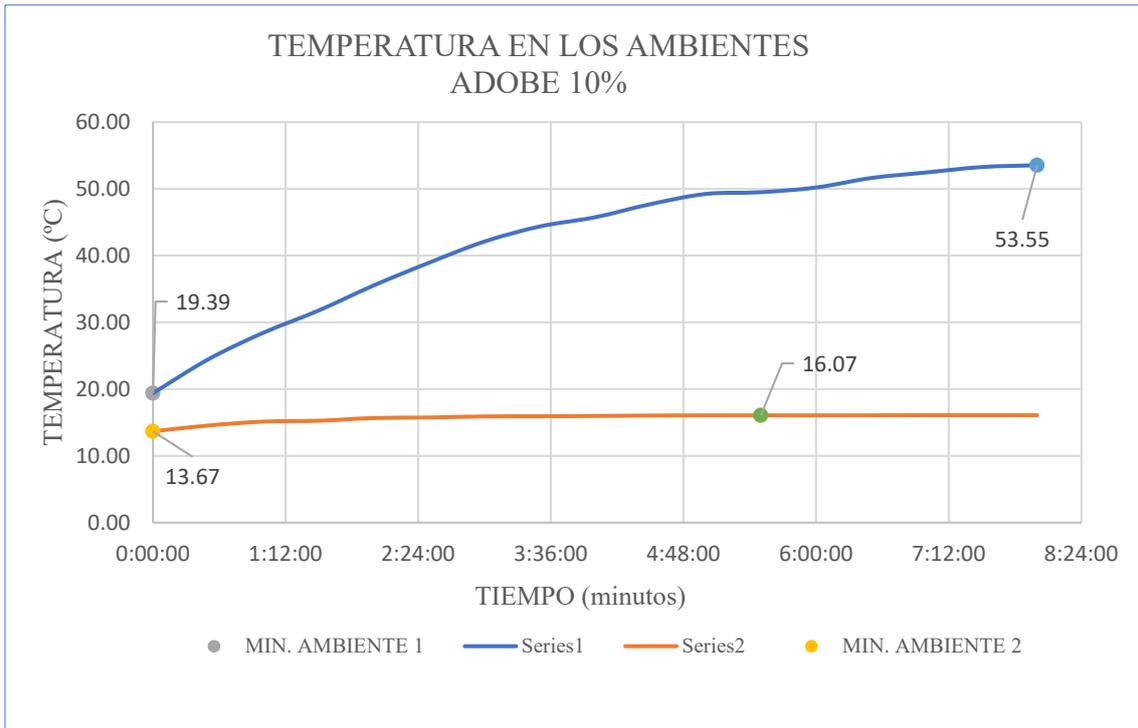
**Figura 5.21** Temperatura en caras de la pared Adobe 5% PET, Fuente: Elaboración Propia



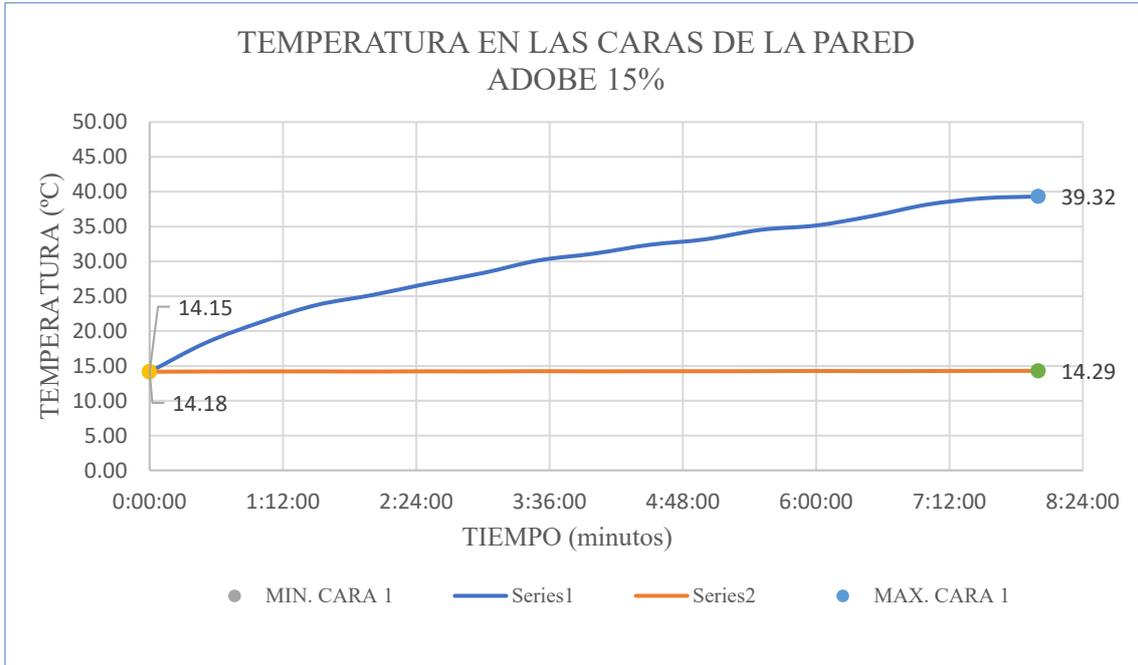
**Figura 5.22** Temperatura en ambientes de la pared Adobe 5% PET, Fuente: Elaboración Propia



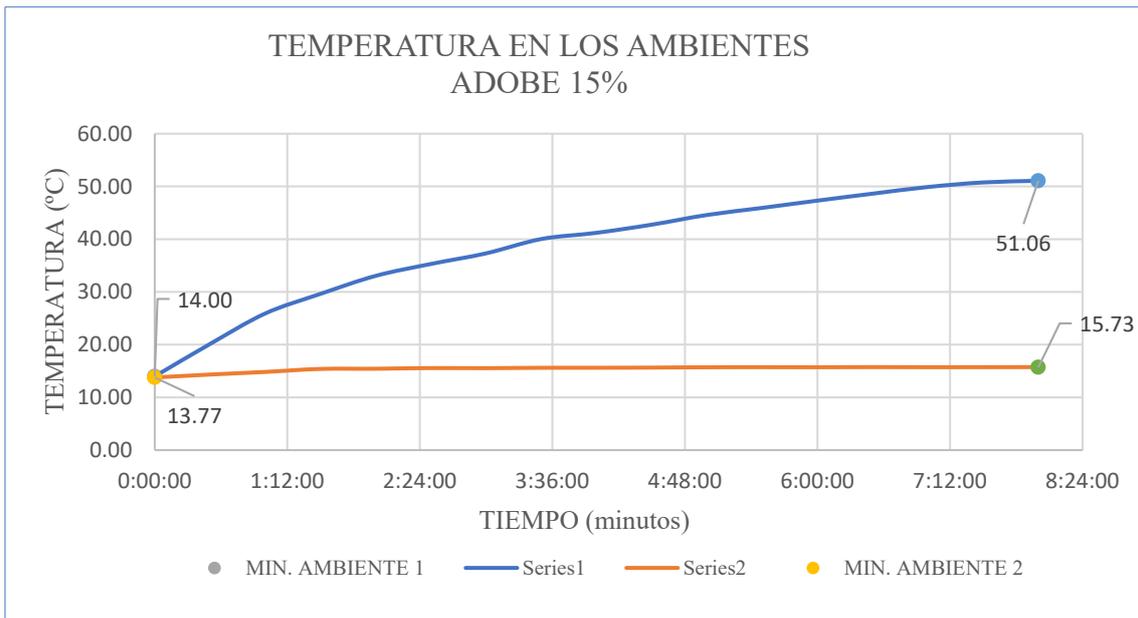
**Figura 5.23** Temperatura en caras de la pared Adobe 10% PET, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 5.24** Temperatura en ambientes de la pared Adobe 10% PET, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 5.25** Temperatura en caras de la pared Adobe 15% PET, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 5.26** Temperatura en ambientes de la pared Adobe 15% PET, Fuente: Elaboración Propia

Se ensayaron 4 paredes por porcentaje, cada una formada por 18 bloques; con un total de 16 ensayos obteniéndose los resultados de las Tablas 5.9 y 5.10.

<b>PROMEDIO DE <math>\Delta T</math>(máx.) CARA PARED 1 Y 2 (°C)</b>			
0%	5%	10%	15%
18.79	36.49	32.91	25.02
<b>PROMEDIO DE <math>\Delta T</math>(máx.) AMBIENTE 1 Y 2 (°C)</b>			
0%	5%	10%	15%
30.62	38.59	37.47	35.33

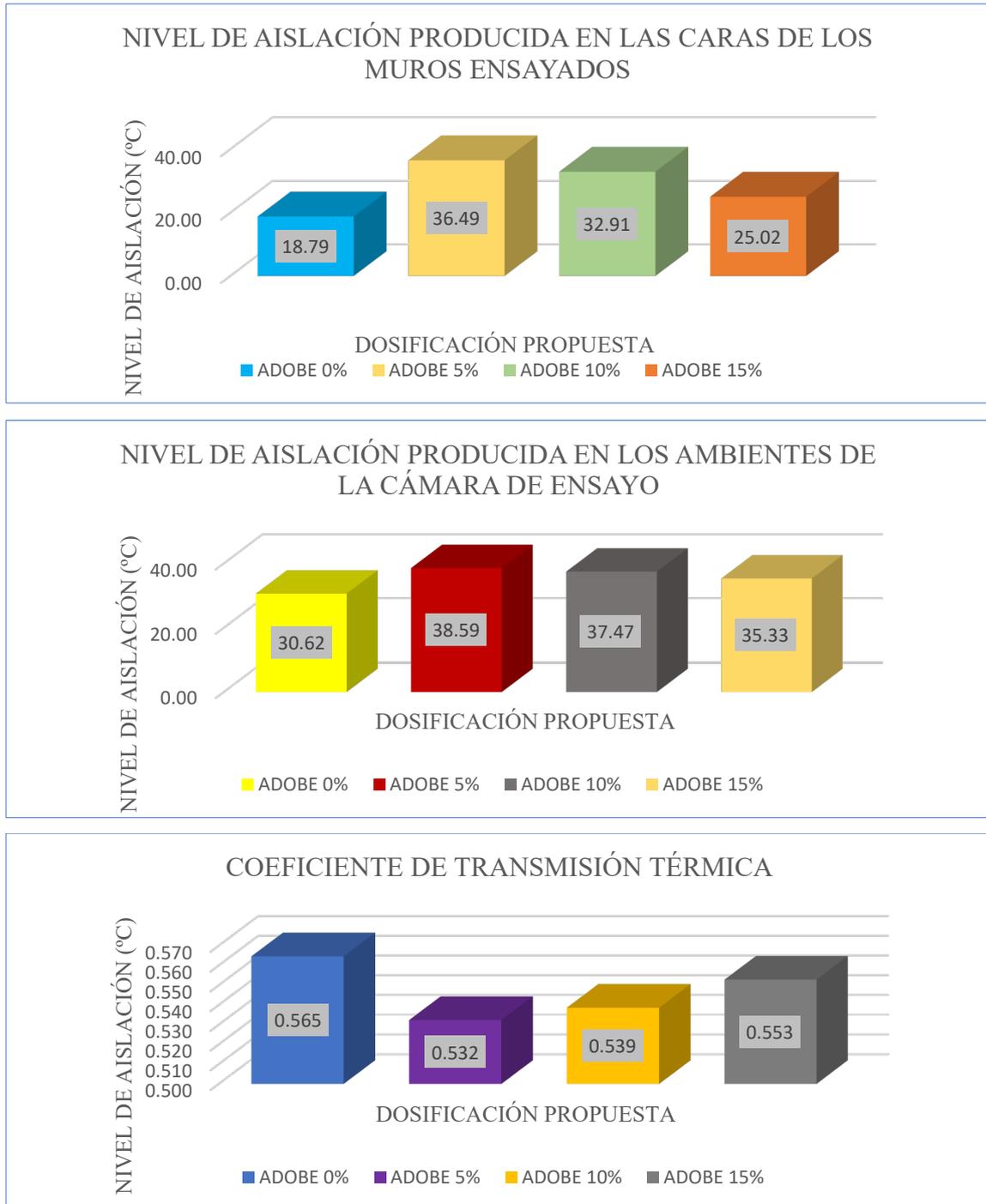
**Tabla 5.9** Promedio de ensayos de paredes de Adobe + PET, Fuente: Elaboración Propia

<b>COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE PARED BLOQUE ADOBE MÁS PET</b>						
<i>Símbolo</i>	<i>Descripción</i>	0%	5%	10%	15%	<i>Unidad</i>
$\phi$	Flujo térmico	600	600	600	600	W
A	Área de la muestra	0.728	0.728	0.728	0.728	m <sup>2</sup>
$q = \phi/A$	Densidad de flujo térmico	824.18	824.18	824.18	824.18	W/m <sup>2</sup>
	°k	273	273	273	273	°K
$\Delta T = t_f - t_i$	$\Delta T$ (max)+ 273	291.79	309.49	305.91	298.02	°k
e	Espesor muestra	0.20	0.20	0.20	0.20	m <sup>2</sup>
$\lambda = q/(\Delta T/e)$	<b>Coef. conductividad Térmica</b>	0.565	0.533	0.539	0.553	<b>w/m·K</b>

**Tabla 5.10** Coeficiente de conductividad térmica Adobe + PET, Fuente: Elaboración Propia

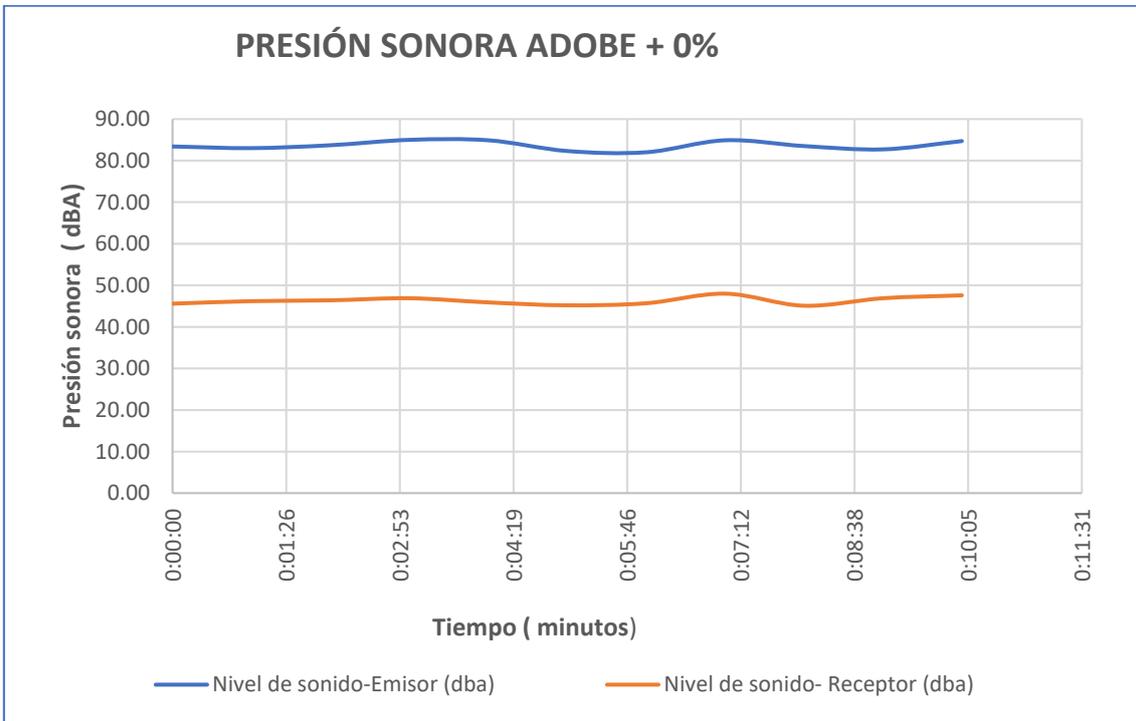
Propia

En la Figura 5.27 se puede observar una comparativa de las variaciones térmicas entre los ambientes y las paredes de la cámara térmica con respecto a la composición de cada muro, así como del coeficiente de transmisión térmica obtenido para cada una de las dosificaciones de plástico PET.

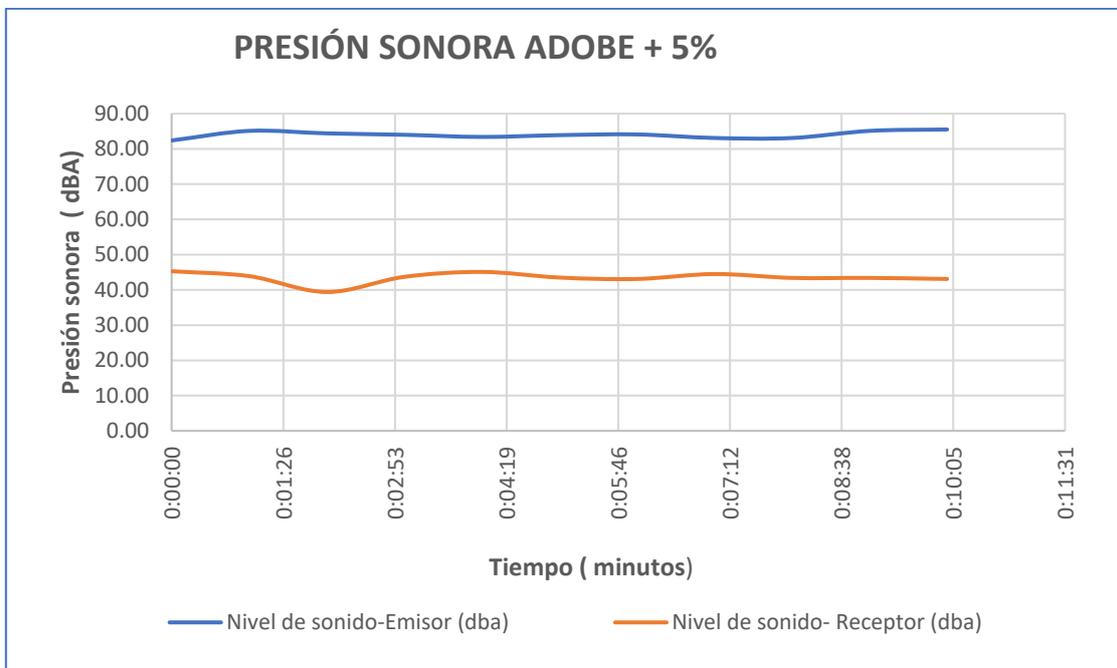


**Figura 5.27** Comparativa de los ensayos térmicos de paredes de adobe con adición de PET, Fuente: Elaboración Propia

**5.2.3. Ensayos acústicos con bloques de adobe con adición de plástico PET**



**Figura 5.28** Presión sonora ensayo pared Adobe 0% PET, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 5.29** Presión sonora ensayo pared Adobe 5% PET, Fuente: Elaboración Propia

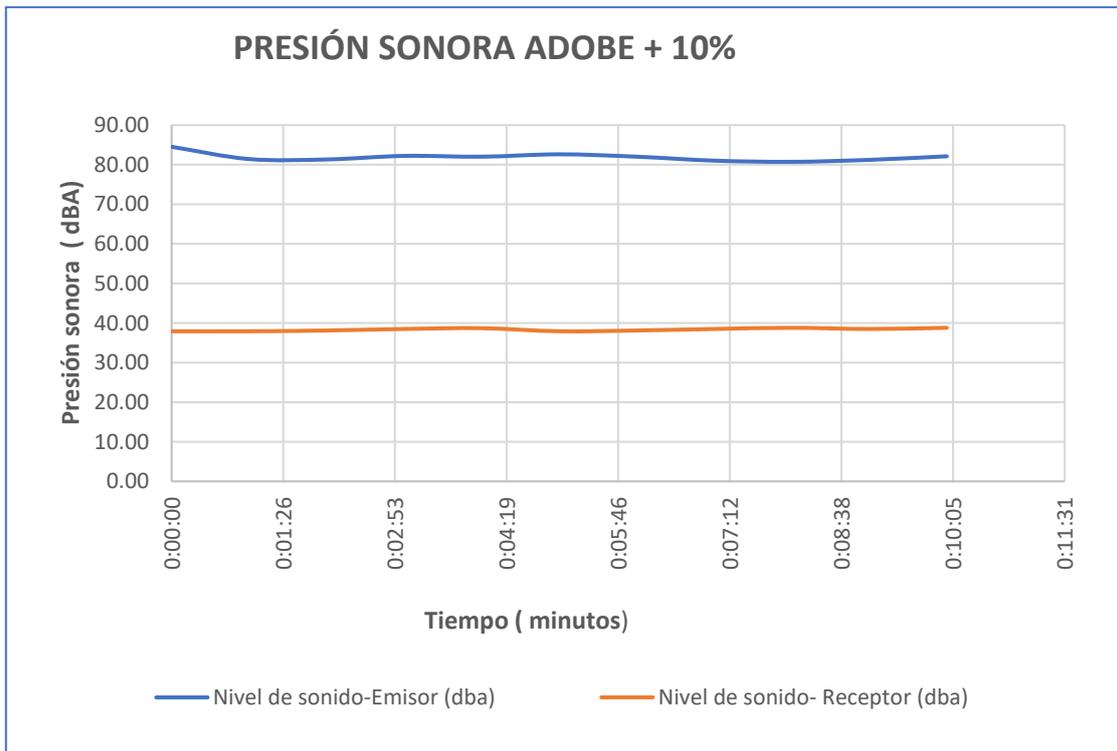


Figura 5.30 Presión sonora ensayo pared Adobe 10% PET, Fuente: Elaboración Propia

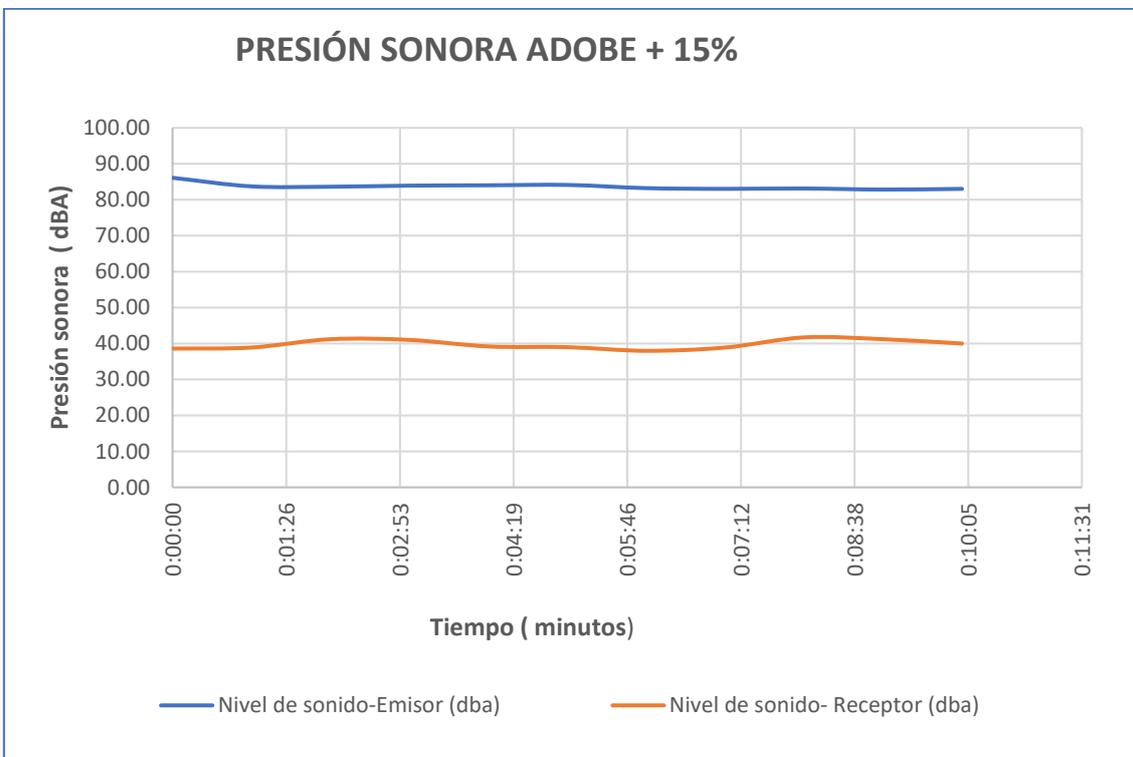


Figura 5.31 Presión sonora ensayo pared Adobe 15% PET, Fuente: Elaboración Propia

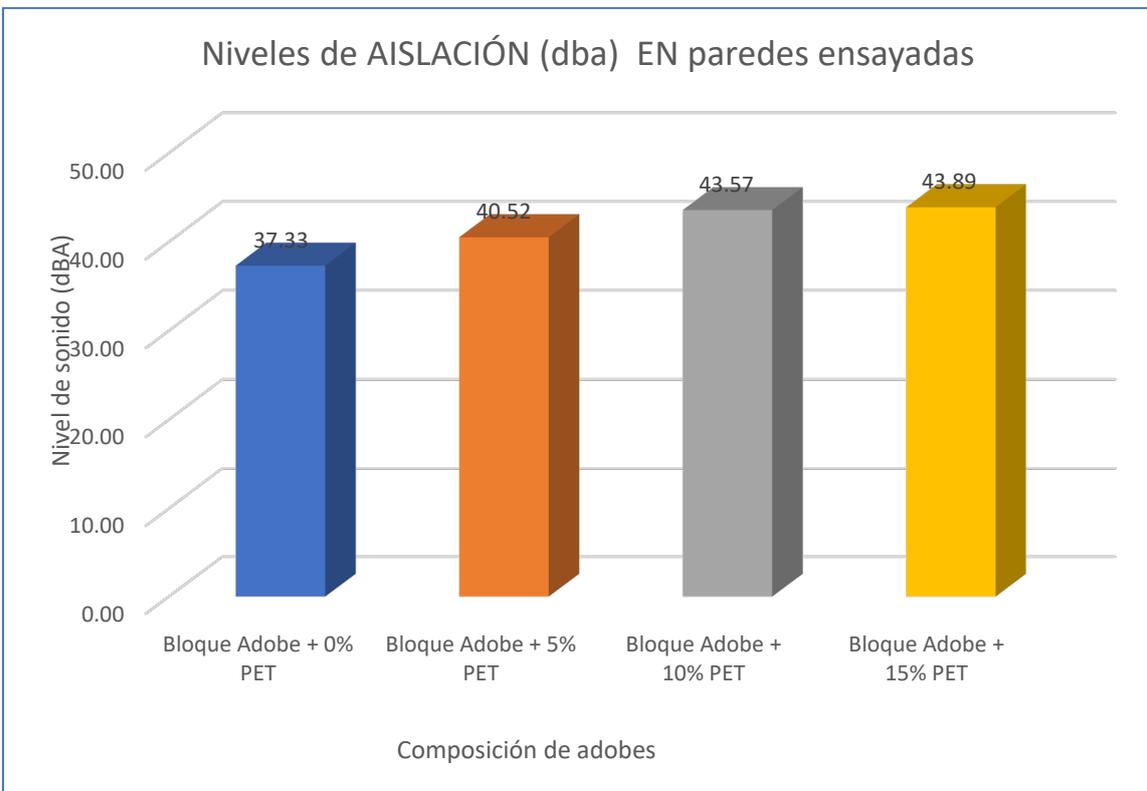
Se ensayaron 4 paredes por porcentaje, cada una formada por 18 bloques; con un total de 16 ensayos obteniéndose los resultados de la Tabla 5.11.

<b>RESULTADOS PROMEDIOS DE LOS ENSAYOS ACUSTICOS</b>			
<b>%</b>	<b>PROMEDIO EMISOR (dBA)</b>	<b>PROMEDIO RECEPTOR (dBA)</b>	<b>DIFERENCIA PROMEDIO (dBA)</b>
<b>0%</b>	83.65	46.32	37.33
<b>5%</b>	84.01	43.49	40.52
<b>10%</b>	81.91	38.34	43.57
<b>15%</b>	83.68	39.79	43.89

**Tabla 5.11** Promedio de resultados de ensayos acústicos Adobe + PET, Fuente:

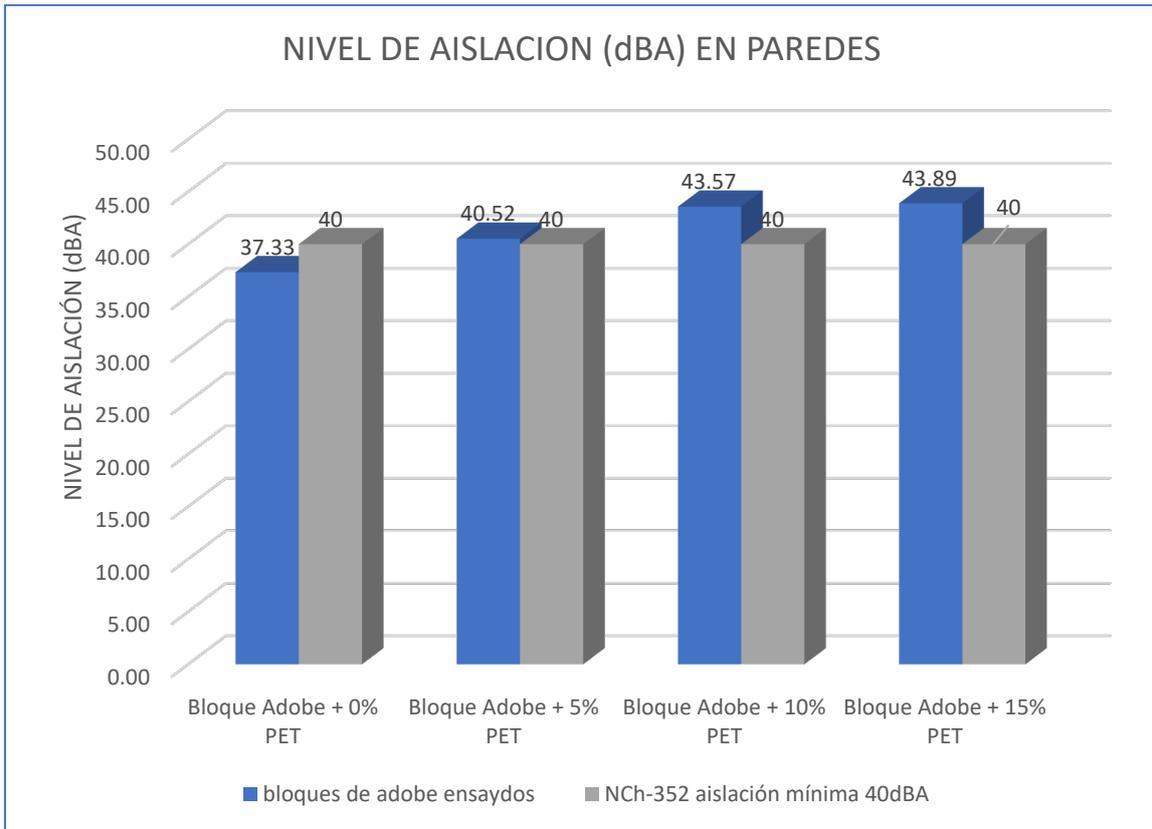
Elaboración Propia

En las Figuras 5.32 a 5.35 se puede observar una comparación de los niveles de aislación en los ambientes de la cámara acústica con respecto a la composición de cada muro y las normas NCh y NEC.

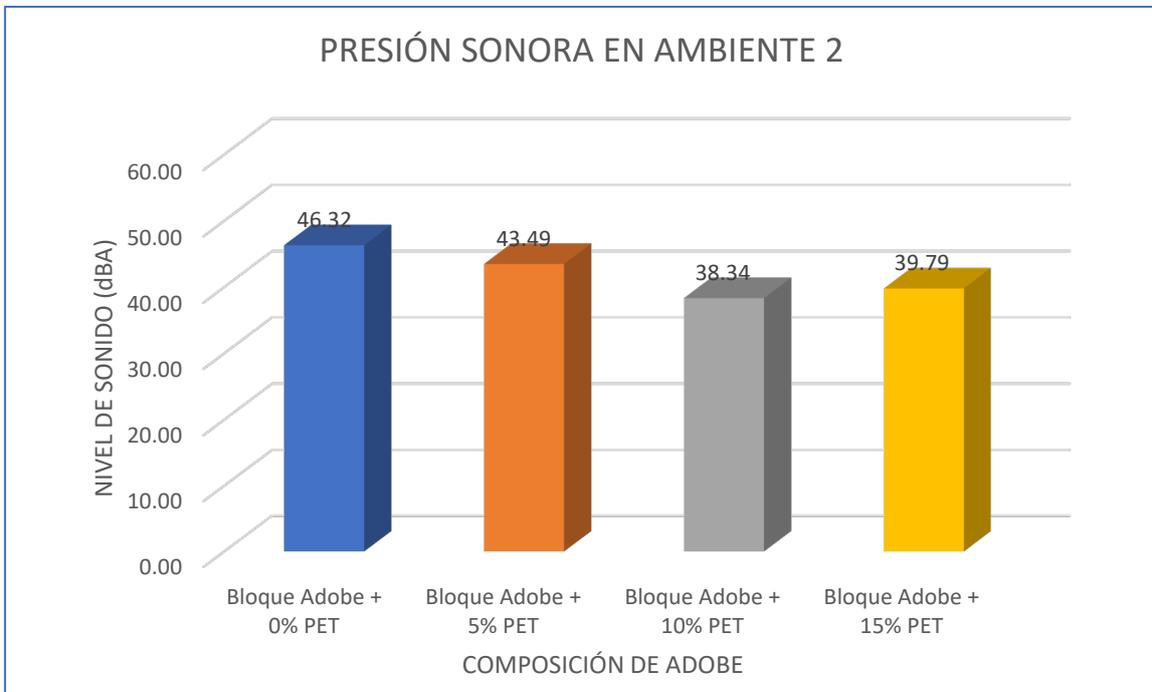


**Figura 5.32** Niveles de aislación en paredes de Adobe con adición de PET, Fuente:

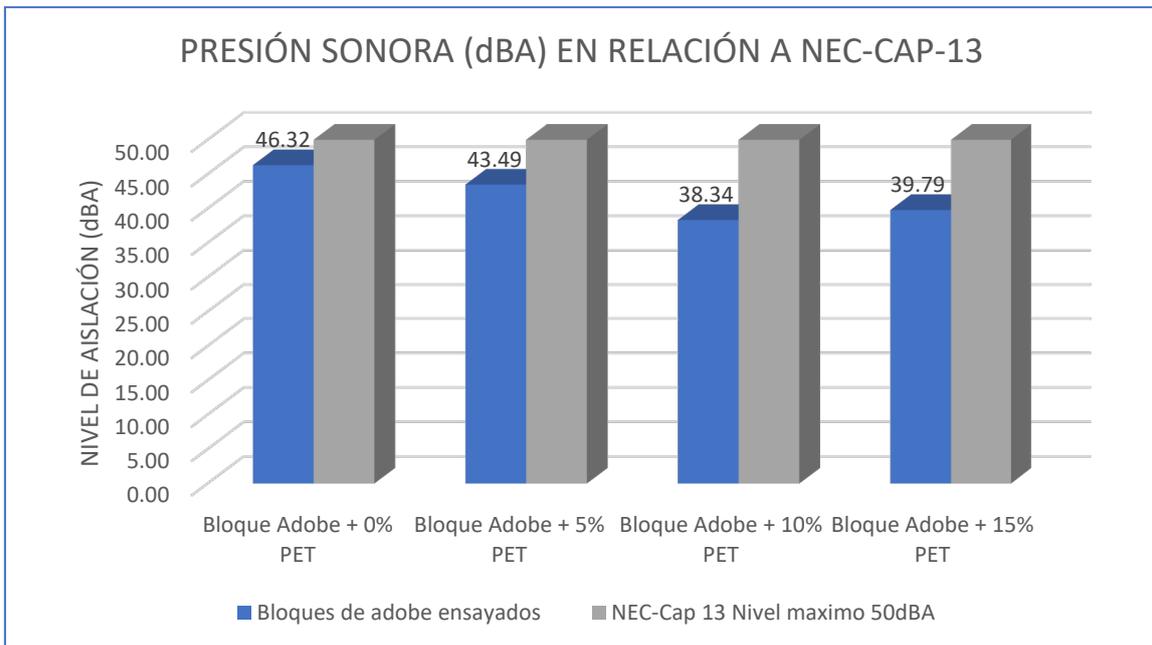
Elaboración Propia



**Figura 5.33** Niveles de aislación, comparación NCh-352 paredes de Adobe con adición de PET, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 5.34** Presión sonora ambiente 2, paredes de Adobe con adición de PET, Fuente: Elaboración Propia



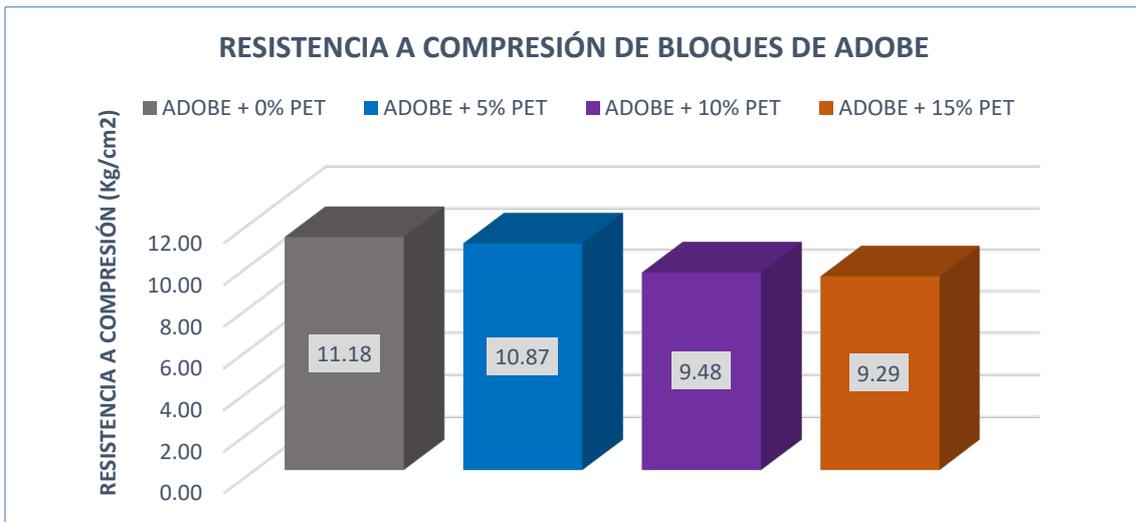
**Figura 5.35** Comparación de presión sonora de paredes de Adobe con adición de PET con norma NEC, Fuente: Elaboración Propia

#### 5.2.4. Ensayos de compresión con bloques de adobe con adición de plástico PET

La resistencia promedio que se muestra en la Tabla 5.12 y en la Figura 5.36 se ha obtenido del promedio total de los 30 bloques que han sido ensayados para cada dosificación.

COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE BLOQUES DE ADOBE		
DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA	UNIDAD
ADOBE + 0% PET	11.18	kg/cm <sup>2</sup>
ADOBE + 5% PET	10.87	kg/cm <sup>2</sup>
ADOBE + 10% PET	9.48	kg/cm <sup>2</sup>
ADOBE + 15% PET	9.29	kg/cm <sup>2</sup>

**Tabla 5.12** Comparación resultados de paredes de Adobe con adición de PET, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 5.36** Comparación resultados de paredes de Adobe con adición de PET, Fuente: Elaboración Propia

### 5.3. BLOQUES DE ADOBE CON ADICIÓN DE BOLSAS PLÁSTICAS TBP

Las Tablas 5.13 y 5.14 presentan la dosificación para los bloques de adobe con adición de bolsas plásticas. Al igual que apartados anteriores, los porcentajes de adición han variado desde el 0% hasta el 15% pasando por el 5 y el 10%. Los ensayos térmicos llevados a cabo se presentan en las Figuras 5.37 a 5.45 y en las Tablas 5.15 y 5.16, distinguiendo en función del porcentaje de adición.

Por otro lado, los resultados de los ensayos acústicos se recogen en las Figuras 5.46 a 5.53 y en la Tabla 5.17. Mientras que en la Figura 5.54 y en la Tabla 5.18 se muestran los resultados correspondientes al ensayo de compresión.

#### 5.3.1. Dosificación de mezclas de adobe con adición de bolsas plásticas TBP

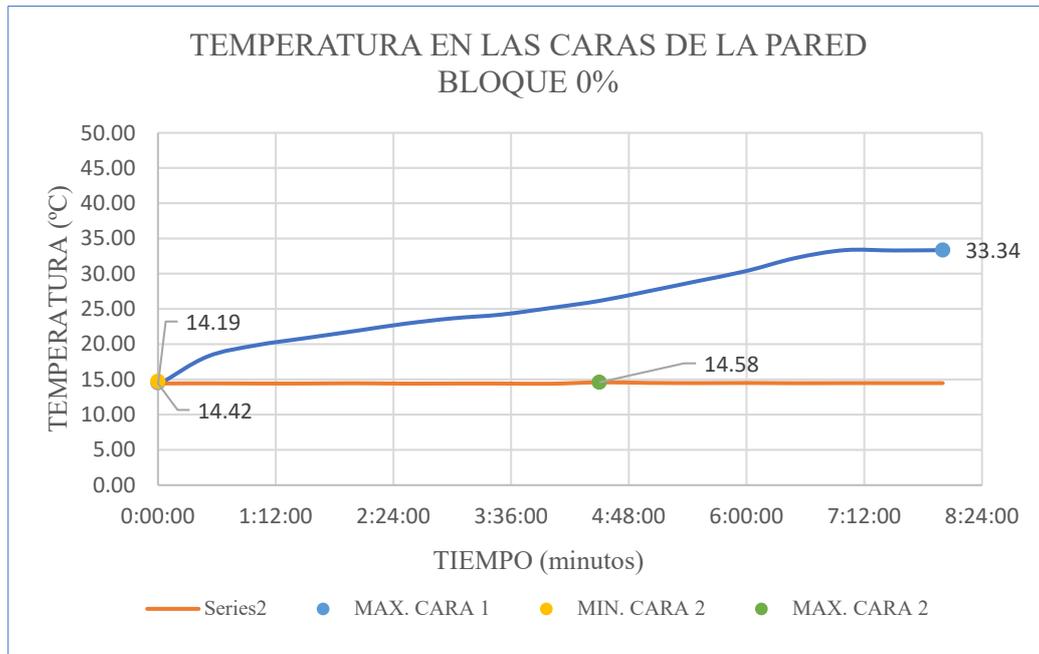
<i>Nombre</i>	<i>Peso del bloque (%)</i>	<i>Peso del suelo</i>	<i>Bolsas plásticas (%)</i>	<i>Peso de bolsas plásticas</i>
		<i>kg</i>		<i>kg</i>
Adobe +0% de bolsas plásticas	100	11.11	0	0
Adobe +5% de bolsas plásticas	100	11.11	5	0.38
Adobe +10% de bolsas plásticas	100	11.11	10	0.76
Adobe +15% de bolsas plásticas	100	11.11	15	1.13

**Tabla 5.13** Dosificación de bloques de adobe con adición de triturado de bolsas de plástico-kg, Fuente: Elaboración Propia.

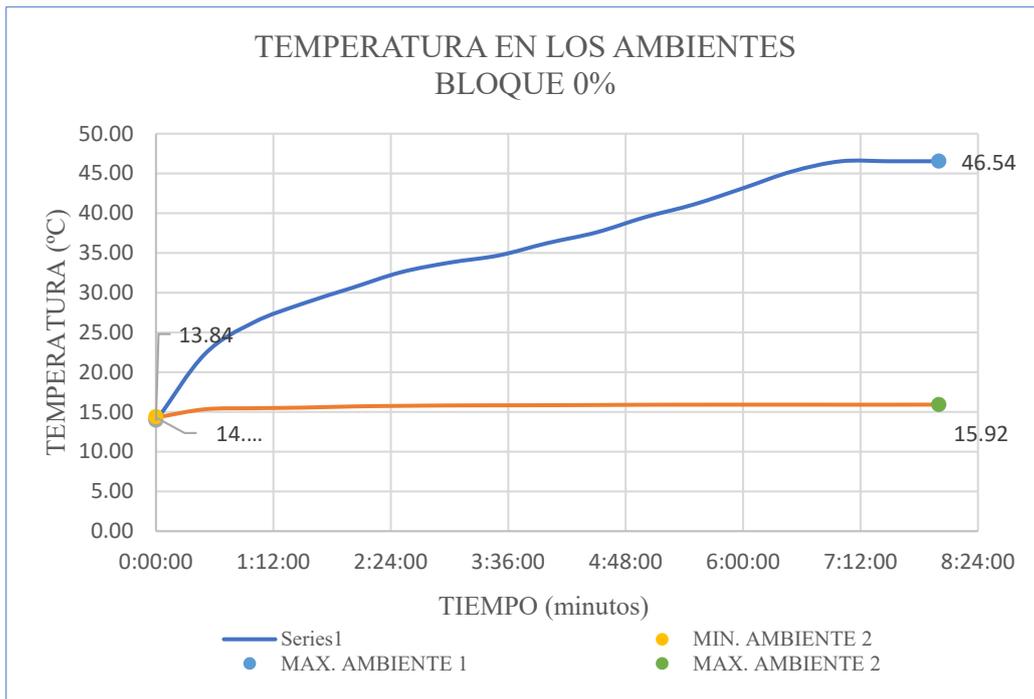
Nombre	Tipo de tierra cruda	Composición			Total de muestras
		Material (%)	Agua (%)	Bolsas plásticas (%)	
Adobe +0% de bolsas plásticas	Adobe	100	12	0	102
Adobe +5% de bolsas plásticas	Adobe	100	12	5	102
Adobe +10% de bolsas plásticas	Adobe	100	12	10	102
Adobe +15% de bolsas plásticas	Adobe	100	12	15	102

**Tabla 5.14** Dosificación de bloques de adobe con adición de triturado de bolsas de plástico-%, Fuente: Elaboración Propia.

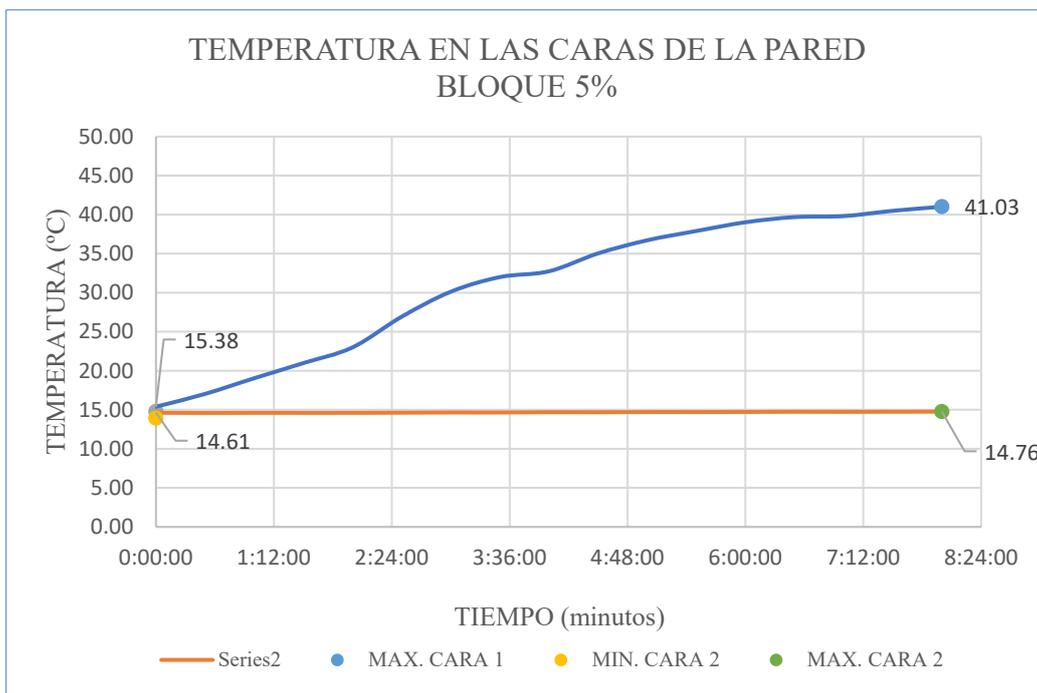
**5.3.2. Ensayos térmicos con bloques de adobe con bolsas plásticas TBP**



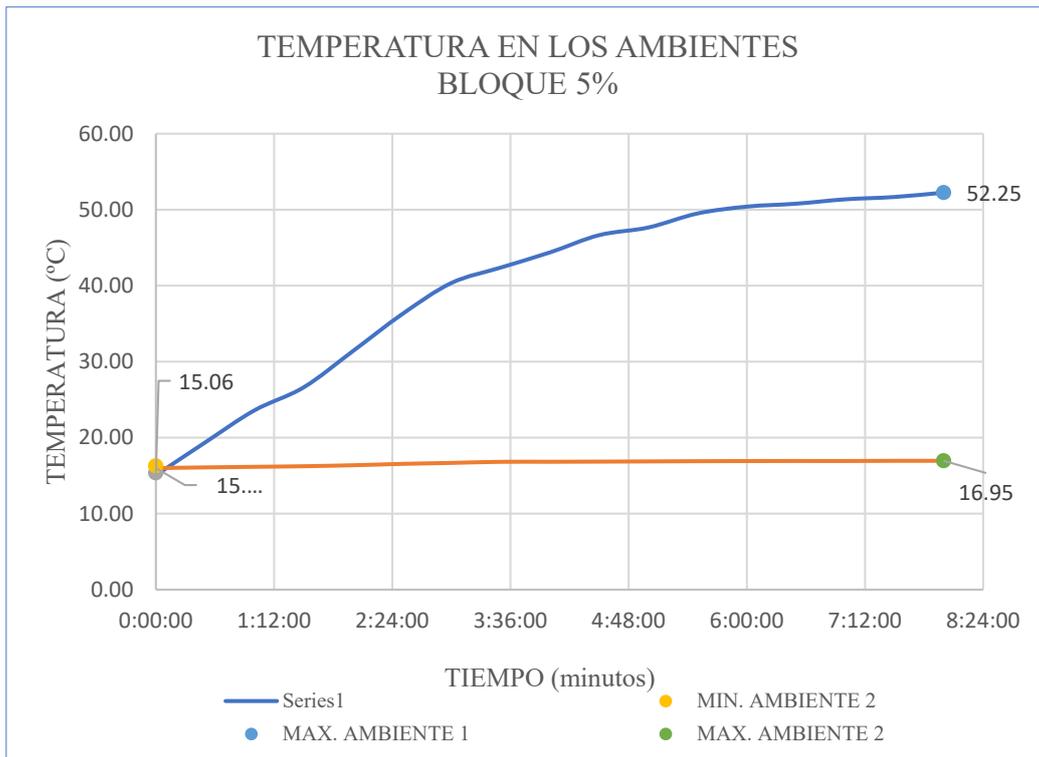
**Figura 5.37** Temperatura en caras de la pared Adobe 0% TBP, Fuente: Elaboración Propia.



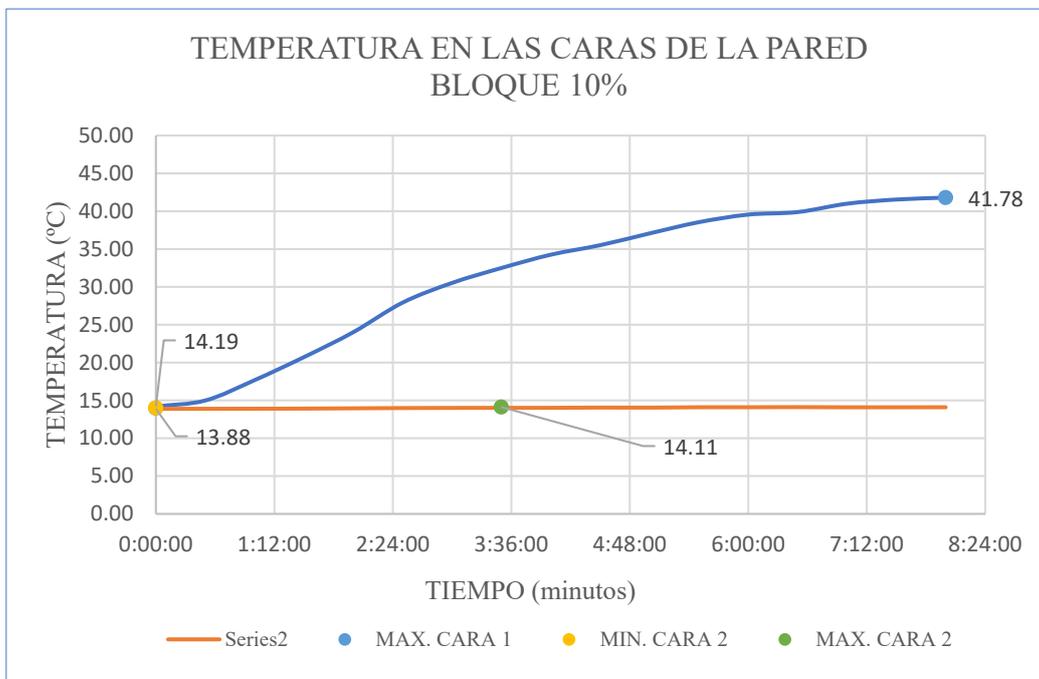
**Figura 5.38** Temperatura en ambientes de la pared Adobe 0% TBP, Fuente: Elaboración Propia.



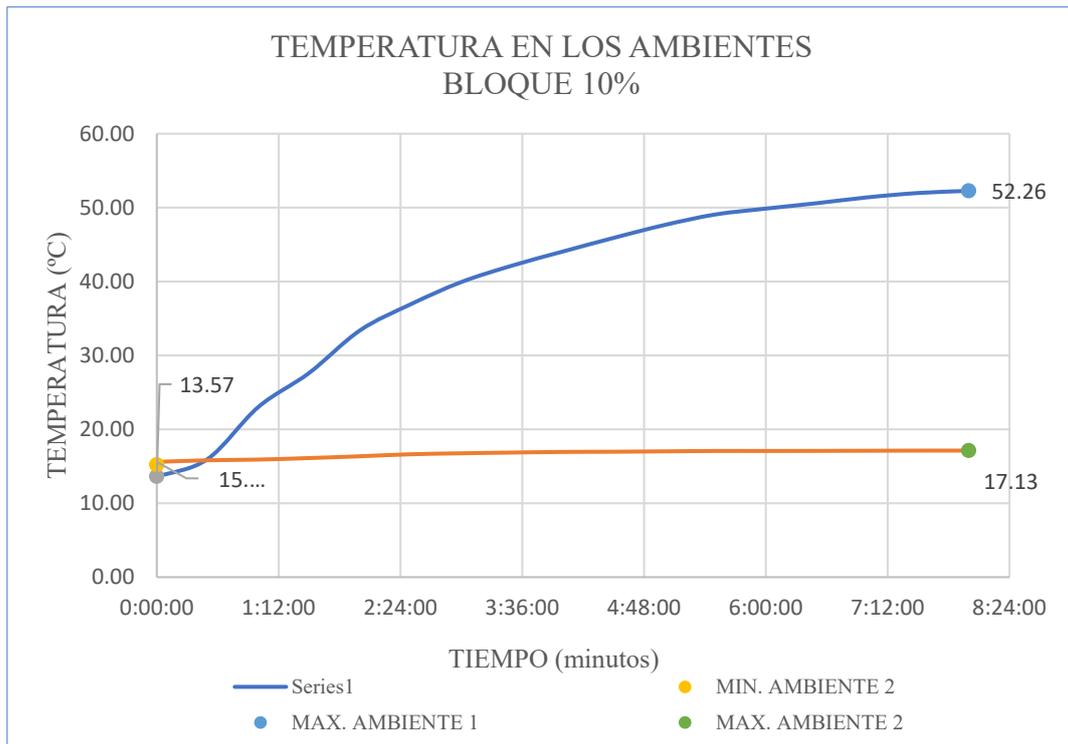
**Figura 5.39** Temperatura en caras de la pared Adobe 5% TBP, Fuente: Elaboración Propia.



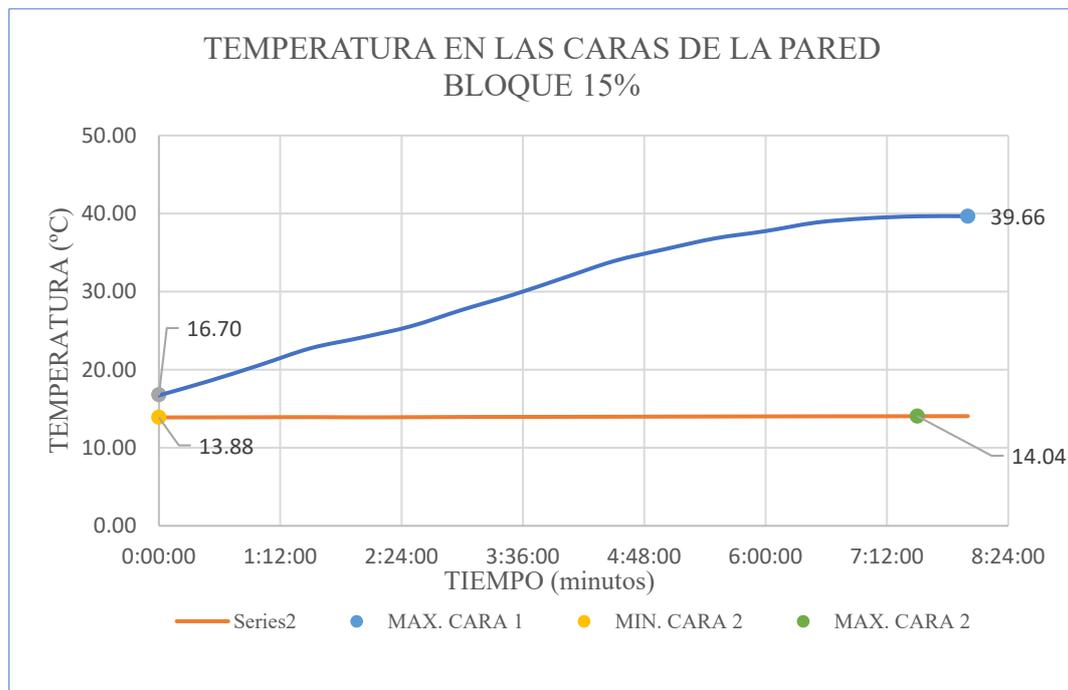
**Figura 5.40** Temperatura en ambientes de la pared Adobe 5% TBP, Fuente: Elaboración Propia.



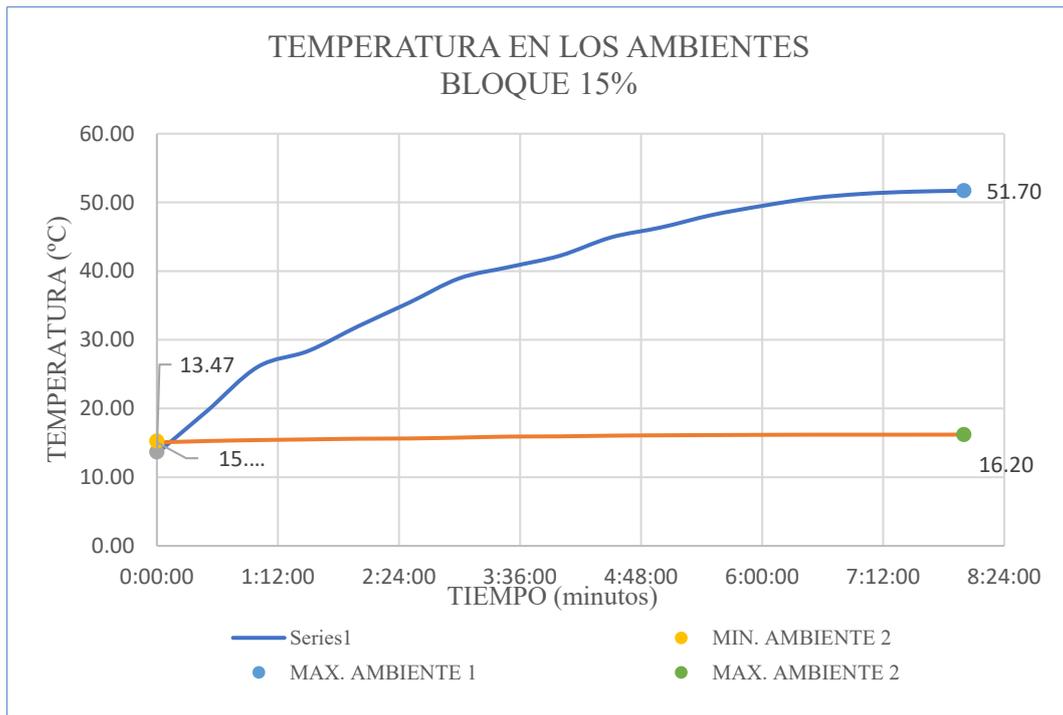
**Figura 5.41** Temperatura en caras de la pared Adobe 10% TBP, Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 5.42** Temperatura en ambientes de la pared Adobe 10% TBP, Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 5.43** Temperatura en caras de la pared Adobe 15% TBP, Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 5.44** Temperatura en ambientes de la pared Adobe 15% TBP, Fuente: Elaboración Propia.

Se han ensayado 4 paredes por porcentaje, cada una formada por 18 bloques; con un total de 16 ensayos, los resultados se recogen en las Tablas 5.15y 5.16.

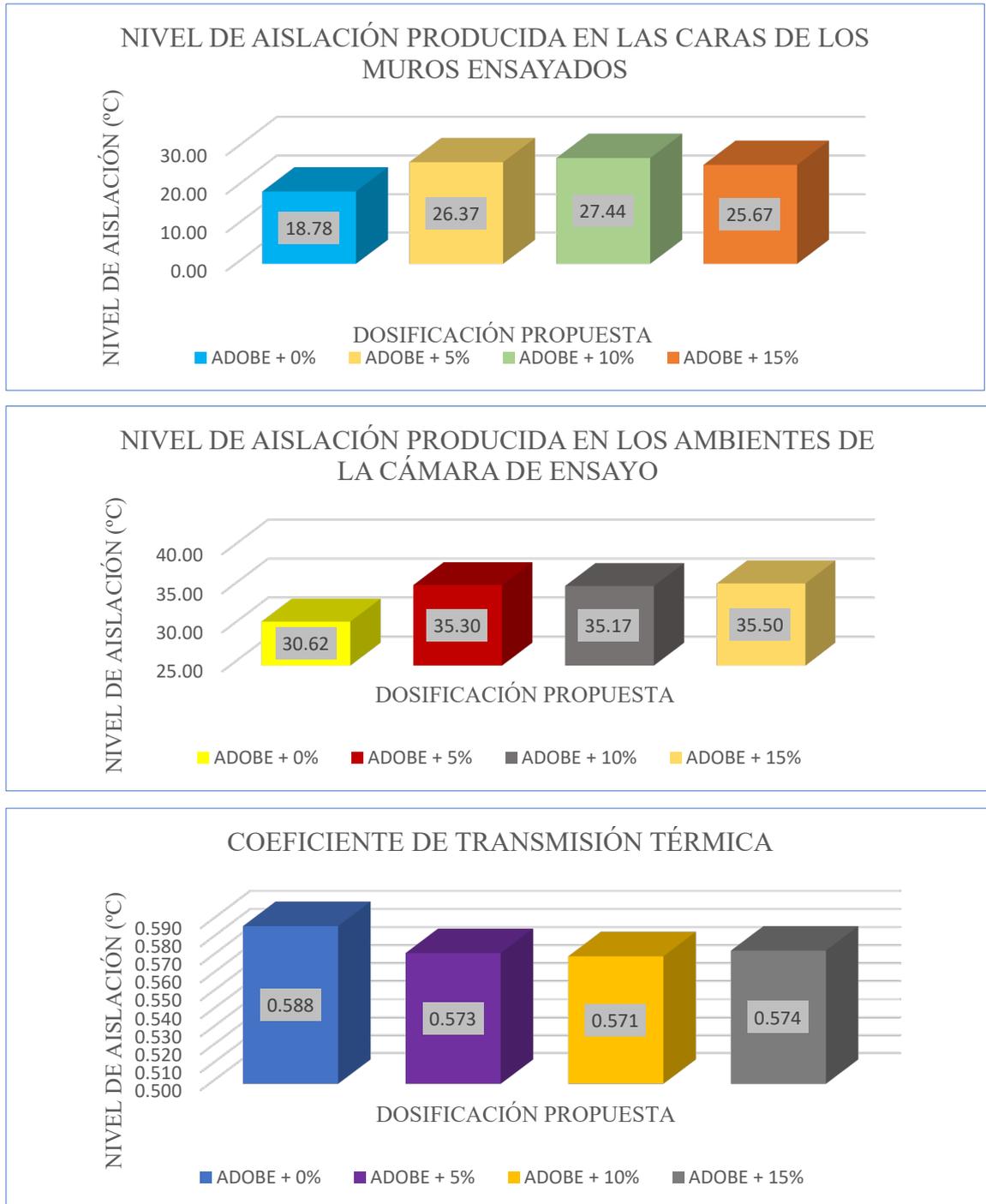
<b>PROMEDIO DE ΔT(máx.) CARA PARED 1 Y 2 (°C)</b>			
<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>
18.78	26.37	27.32	25.67
<b>PROMEDIO DE ΔT(máx.) AMBIENTE 1 Y 2</b>			
<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>
30.62	35.30	35.38	35.50

**Tabla 5.15** Promedio de ensayos de paredes de Adobe más TBP, Fuente: El. Propia

<b>COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE PARED BLOQUE ADOBE MÁS TRITURADO DE BOLSAS PLÁSTICAS TBP</b>						
<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>	<b>Unidad</b>
$\phi$	Flujo térmico	600	600	600	600	W
A	Área de la muestra	0.70	0.70	0.70	0.70	m <sup>2</sup>
$q = \phi/A$	Densidad de flujo térmico	857.14	857.14	857.14	857.14	W/m <sup>2</sup>
	°k	273.00	273.00	273.00	273.00	°K
$\Delta T = t_f - t_i$	$\Delta T$ (máx.)+ 273	291.78	299.37	300.32	298.67	°k
e	Espesor muestra	0.20	0.20	0.20	0.20	m <sup>2</sup>
$\lambda = q/(\Delta T/e)$	<b>Coef. conductividad Térmica</b>	0.588	0.573	0.571	0.574	<b>w/m·K</b>

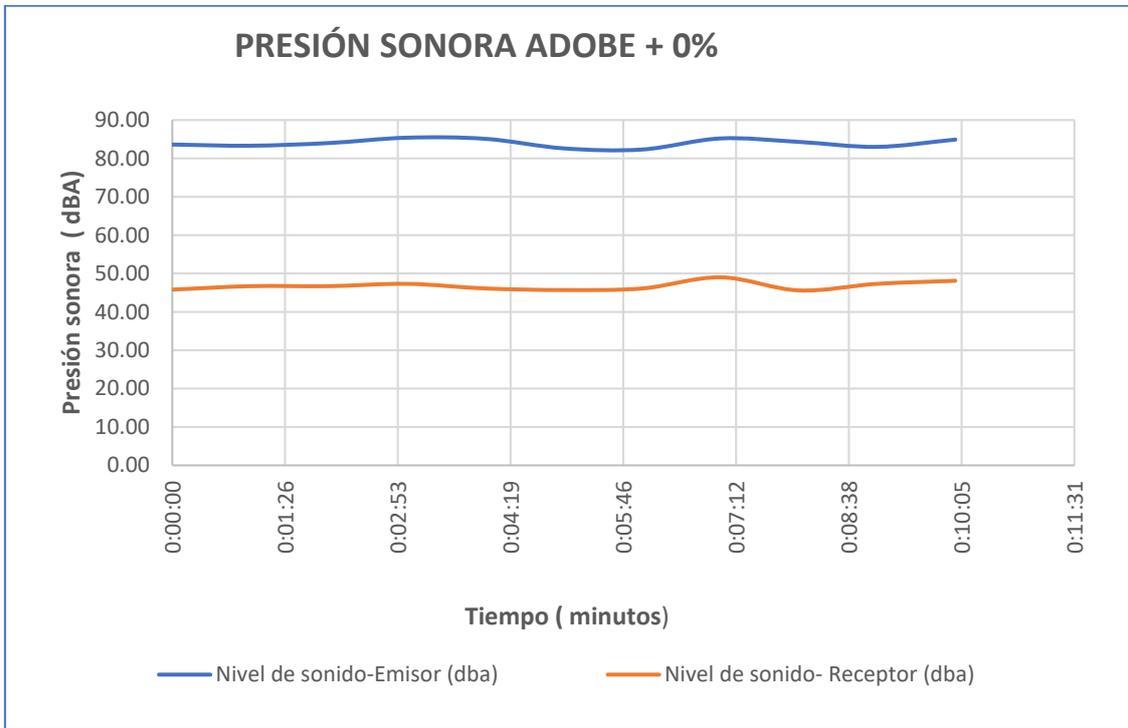
**Tabla 5.16** Promedio de ensayos de paredes de Adobe más TBP, Fuente: El. Propia

En la Figura 5.45 se puede observar una comparativa de las variaciones térmicas entre los ambientes y las paredes de la cámara térmica con respecto a la composición de cada muro, así como del coeficiente de transmisión térmica obtenido para cada una de las dosificaciones de bolsas plásticas.

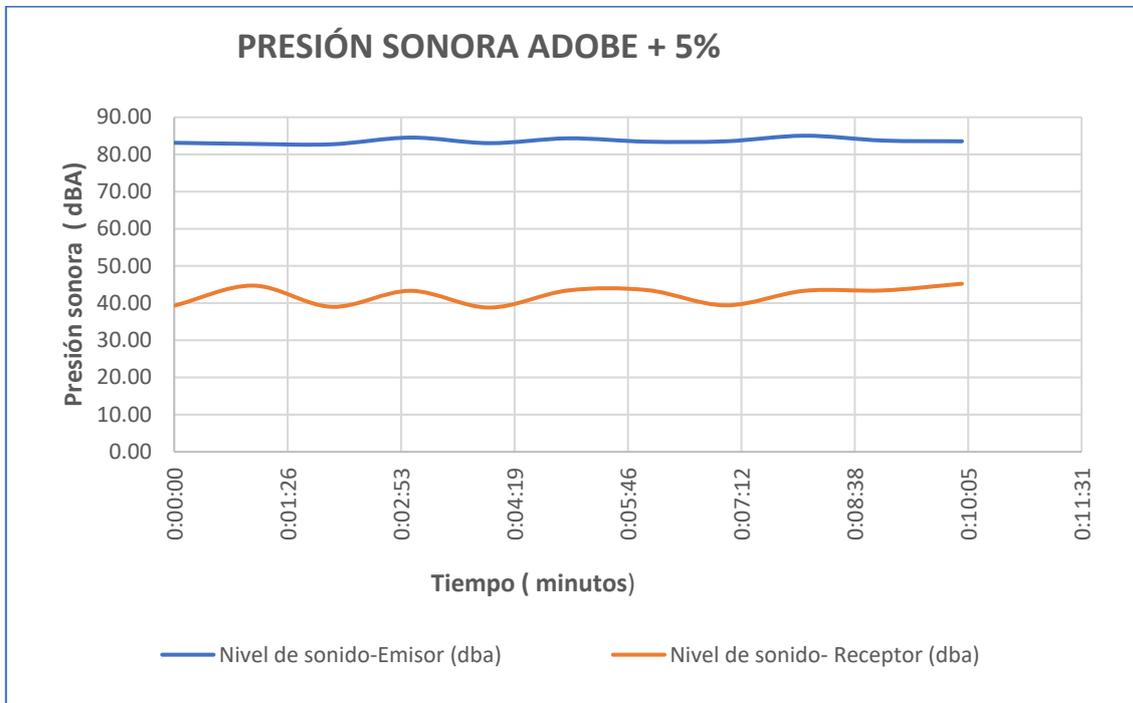


**Figura 5.45** Comparativa de los ensayos térmicos de paredes de adobe con adición de TBP, Fuente: Elaboración Propia.

**5.3.3. Ensayos acústicos con bloques de adobe con bolsas plásticas TBP**



**Figura 5.46** Presión sonora ensayo pared Adobe 0% TBP, Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 5.47** Presión sonora ensayo pared Adobe 5% TBP, Fuente: Elaboración Propia.

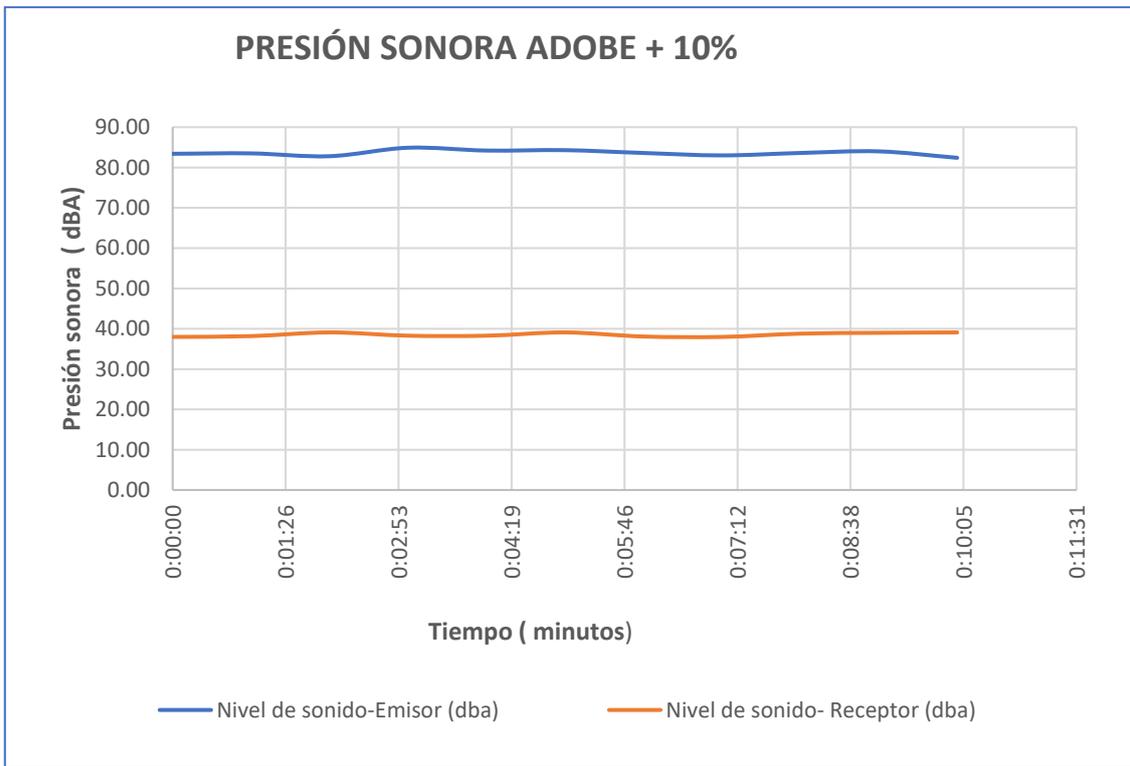


Figura 5.48 Presión sonora ensayo pared Adobe 10% TBP, Fuente: Elaboración Propia.

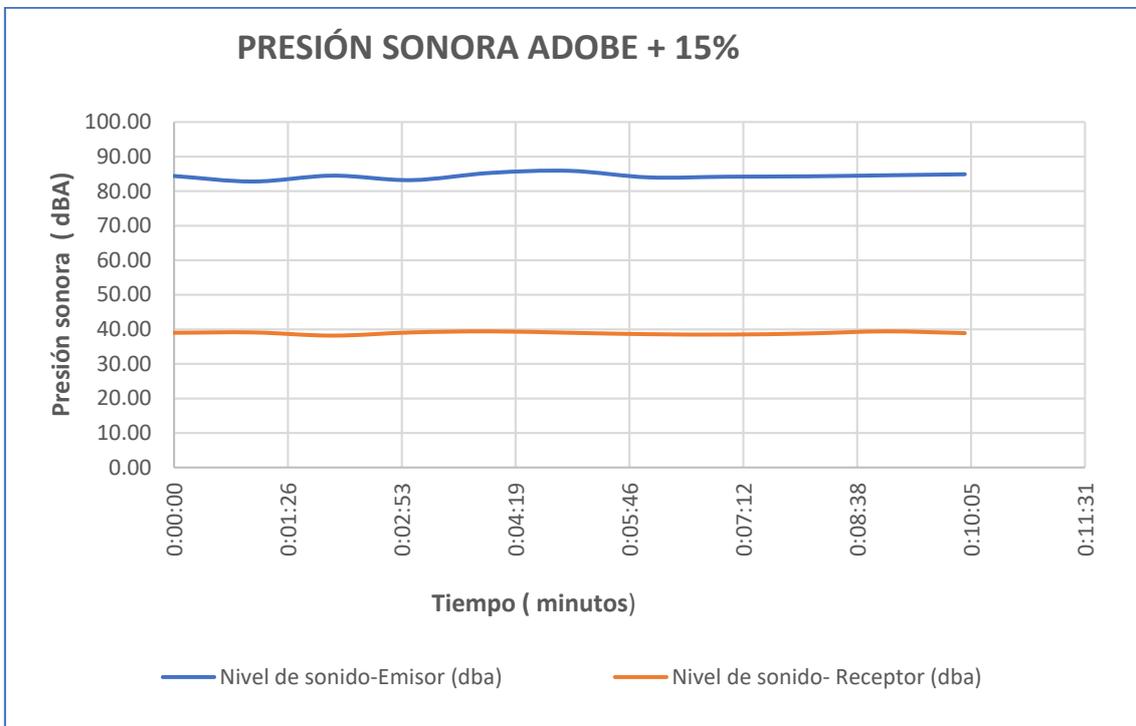


Figura 5.49 Presión sonora ensayo pared Adobe 15% TBP, Fuente: Elaboración Propia

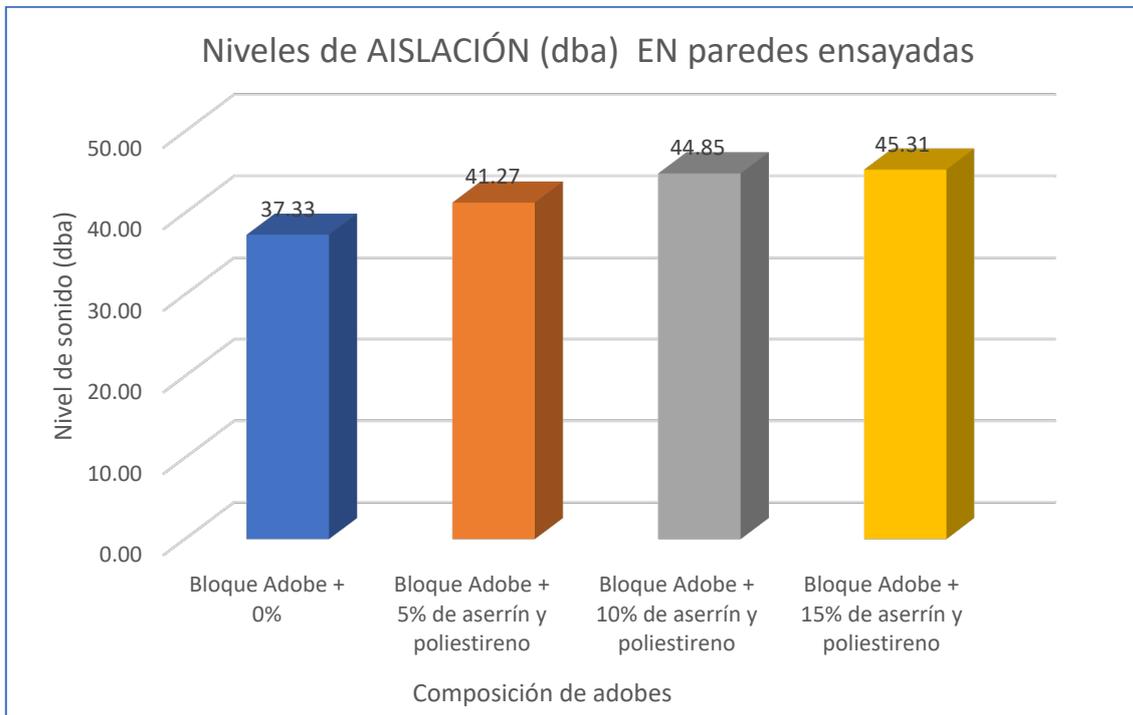
Se han ensayado 4 paredes por porcentaje, cada una formada por 18 bloques; con un total de 16 ensayos, los resultados se muestran en la Tabla 5.17.

<b>RESULTADOS PROMEDIOS DE LOS ENSAYOS ACÚSTICOS</b>			
<b>%</b>	<b>PROMEDIO EMISOR (dBA)</b>	<b>PROMEDIO RECEPTOR (dBA)</b>	<b>DIFERENCIA PROMEDIO (dBA)</b>
<b>0%</b>	83.65	46.32	37.33
<b>5%</b>	80.11	42.25	41.27
<b>10%</b>	83.55	44.49	44.85
<b>15%</b>	80.72	37.12	45.31

**Tabla 5.17** Promedio de resultados de ensayos acústicos Adobe más TBP, Fuente:

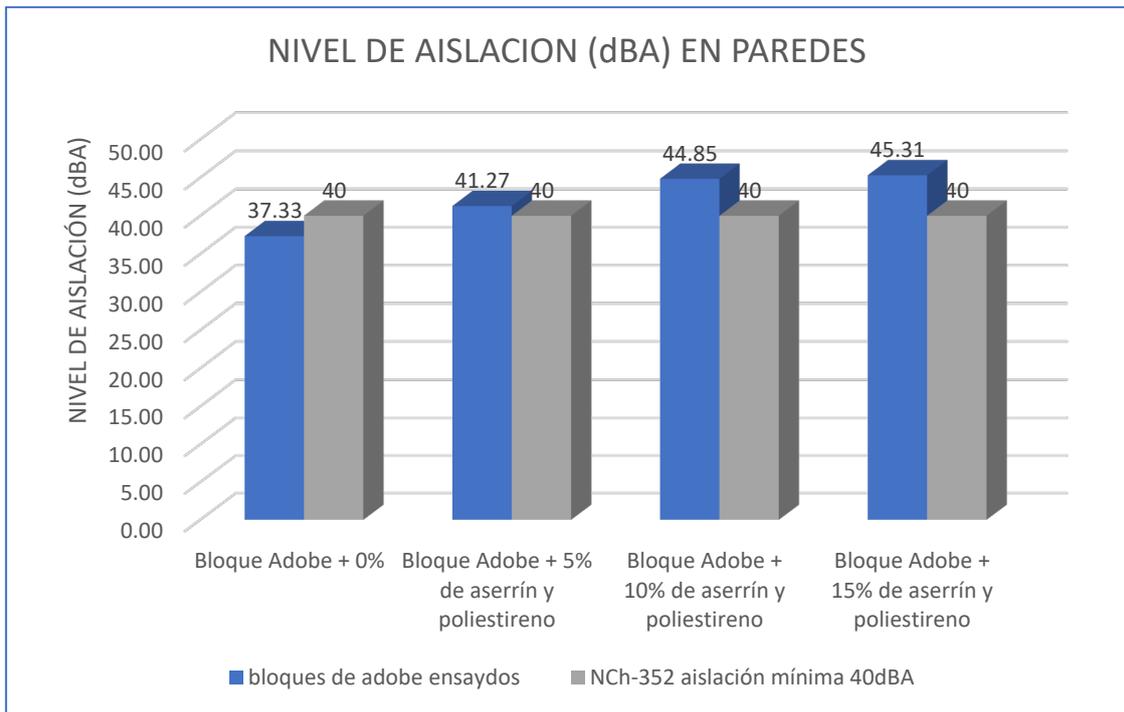
Elaboración Propia.

En las Figuras 4.61 a 4.64 se puede observar una comparación de los niveles de aislación en los ambientes de la cámara acústica con respecto a la composición de cada muro y las normas NCh y NEC.

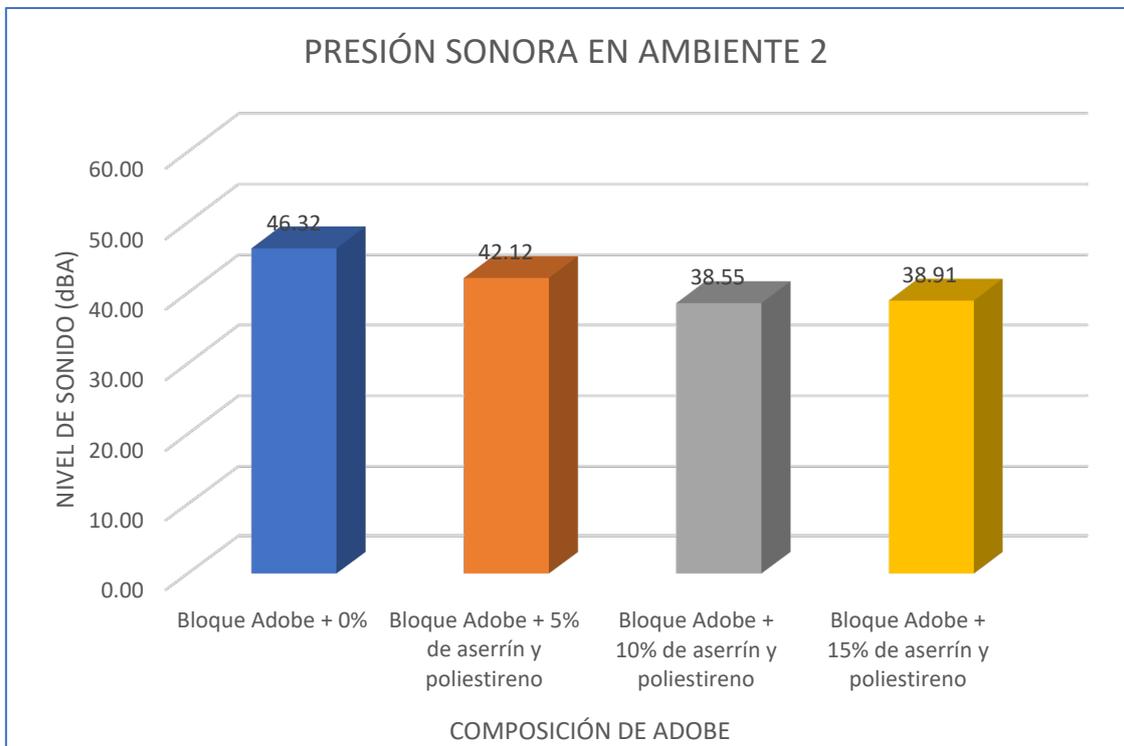


**Figura 5.50** Niveles de aislación en paredes de Adobe con adición de TBP, Fuente:

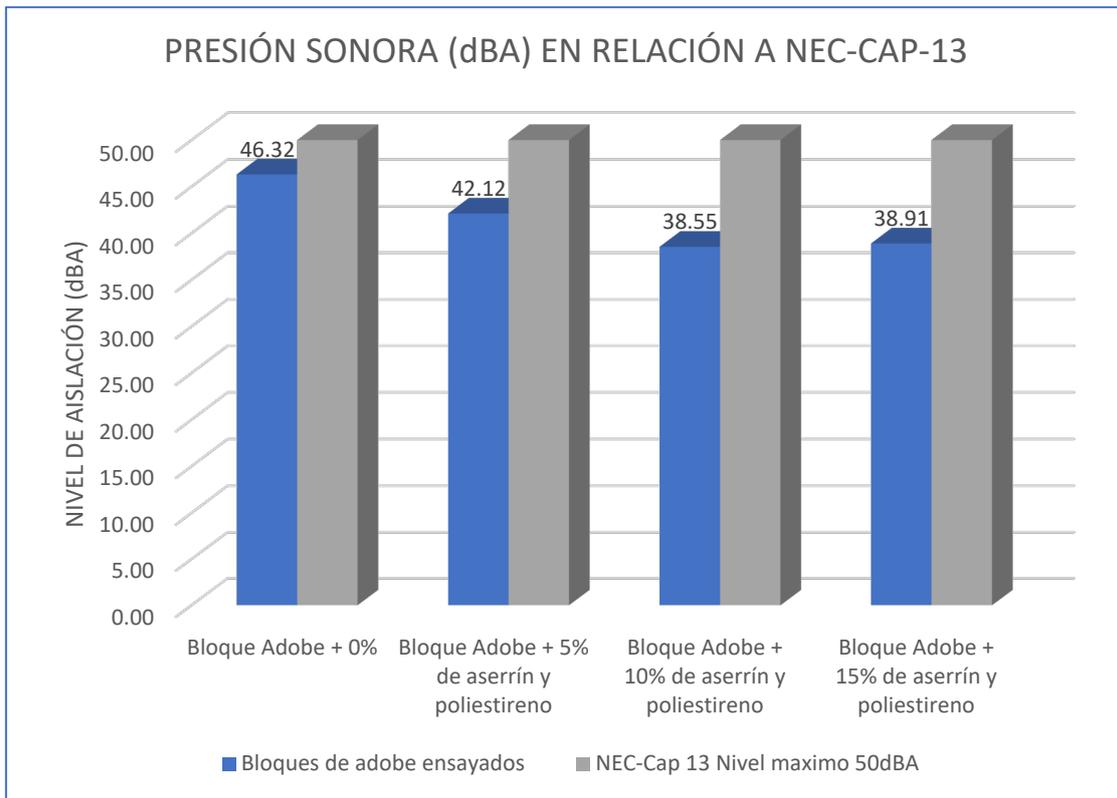
Elaboración Propia.



**Figura 5.51** Comparación de presión sonora de paredes de Adobe con adición de TBP con norma NEC, Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 5.52** Presión sonora ambiente 2, paredes de Adobe con adición de TBP, Fuente: Elaboración Propia.



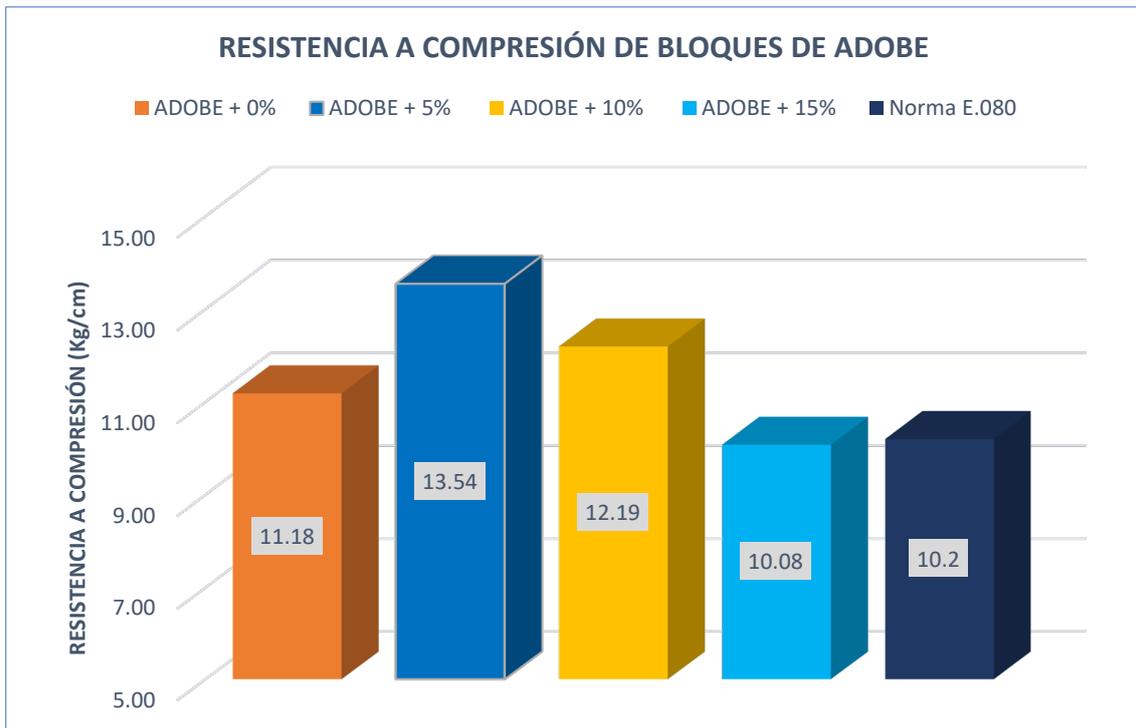
**Figura 5.53** Presión sonora ambiente 2, paredes de Adobe con adición de TBP, Fuente: Elaboración Propia.

#### 5.3.4. Ensayos de compresión con bloques de adobe con botellas plásticas TPB

La resistencia promedio que se muestra en la Tabla 5.18 y en la Figura 5.54 ha sido obtenida del promedio total de los 30 bloques que fueron ensayados para cada una de las dosificaciones.

<b>COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE BLOQUES DE ADOBE</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RESISTENCIA</b>	<b>UNIDAD</b>
ADOBE + 0%	11.18	kg/cm <sup>2</sup>
ADOBE + 5%	13.54	kg/cm <sup>2</sup>
ADOBE + 10%	12.19	kg/cm <sup>2</sup>
ADOBE + 15%	10.08	kg/cm <sup>2</sup>
Norma E.080	10.2	kg/cm <sup>3</sup>

**Tabla 5.18** Comparación resultados de paredes de Adobe con adición de TBP, Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 5.54** Comparación resultados de paredes de Adobe con adición de TBP, Fuente: Elaboración Propia.

## **CAPÍTULO 6**

### **6. DOSIFICACIÓN Y RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS BLOQUES ALIVIANADOS DE HORMIGÓN OBJETO DE ESTUDIO**

#### **6.1. BLOQUES ALIVIANADOS CON ADICIÓN DE ASERRÍN Y POLIESTIRENO**

Las Tablas 6.1 a 6.4 presentan las dosificaciones para los bloques alivianados con adición de aserrín y poliestireno. Los porcentajes de adición han sido del 15, 25, 50 y 75%. Los ensayos térmicos llevados a cabo se presentan en las Figuras 6.1 a 6.11 y en las Tablas 6.5 y 6.6, distinguiendo en función del porcentaje de adición. Por otro lado, los resultados de los ensayos acústicos se recogen en las Figuras 6.12 a 6.18 y en la Tabla 6.7. Mientras que en la Figura 6.19 y en la Tabla 6.8 se muestran los resultados correspondientes al ensayo de compresión.

## 6.1.1. Dosificación de mezclas de bloques alivianados con aserrín y poliestireno

<i>Dosificación para hormigón de resistencia a compresión de 4 MPa con adición de 15% de aserrín</i>											
<b>Vol. Bloque:</b>	0.0069	m3	<b>Vol. Total:</b>			0.1449	m3				
<b>Cant. Bloques:</b>	102	u	<b>Desperdicio:</b>			3	u				
<i>Material</i>	<i>Cantidad en Kg para 1 m3 de hormigón</i>	<i>Densidad aparente suelta kg/dm3</i>	<i>Volumen dm3</i>	<i>Volumen con 15% de Aserrín</i>	<i>Cantidades con 15% de Aserrín</i>	<i>Corrección por Humedad</i>				<i>Cantidades en Kg</i>	<i>Cantidades en Parihuelas</i>
						<i>C.A%</i>	<i>C.H%</i>	<i>CA% - C.H%</i>	<i>Peso en kg</i>		
<b>W</b>	51.83				51.83				0.63	52.45	
<b>C</b>	31.63				31.63					31.63	
<b>A</b>	94.73	0.81	116.62	116.62	94.73					94.73	4.32
<b>R</b>	40.21	0.60	67.48	57.36	34.18					34.18	2.12
<b>ASERRÍN</b>	0.00	0.42		10.12	4.22	31.55	16.71	14.84	0.63	3.59	0.375
<b>γ Horm.</b>	1507.16	kg/m3									

Tabla 6.1 Dosificación para la elaboración de bloques con 15% de aserrín y poliestireno, Fuente: Elaboración Propia

<i>Dosificación para hormigón de resistencia a compresión de 4 MPa con adición de 25% de aserrín</i>											
<b>Vol. Bloque:</b>	0	m <sup>3</sup>	<b>Vol. Total:</b>			0	m <sup>3</sup>				
<b>Cant. Bloques:</b>	102	u	<b>Desperdicio:</b>			3	u				
<i>Material</i>	<i>Cantidad en Kg para 1 m<sup>3</sup> de hormigón</i>	<i>Densidad aparente suelta kg/dm<sup>3</sup></i>	<i>Volumen dm<sup>3</sup></i>	<i>Volumen con 15% de Aserrín</i>	<i>Cantidades con 15% de Aserrín</i>	<i>Corrección por Humedad</i>				<i>Cantidades en Kg</i>	<i>Cantidades en Parihuelas</i>
						<i>C.A%</i>	<i>C.H%</i>	<i>CA% - C.H%</i>	<i>Peso en kg</i>		
<b>W</b>	51.83	-	-		51.83				1.04	52.87	
<b>C</b>	31.63	-	-		31.63					31.63	
<b>A</b>	94.73	0.81	116.62	116.62	94.73					94.73	4.319
<b>R</b>	40.21	0.60	67.48	50.61	30.16					30.16	1.875
<b>ASERRÍN</b>	0.00	0.42		16.87	7.03	31.55	16.71	14.84	1.04	5.99	0.625
<b>γ Horm.</b>	1507.16	kg/m <sup>3</sup>									

**Tabla 6.2** Dosificación para la elaboración de bloques con 25% de aserrín y poliestireno, Fuente: Elaboración Propia

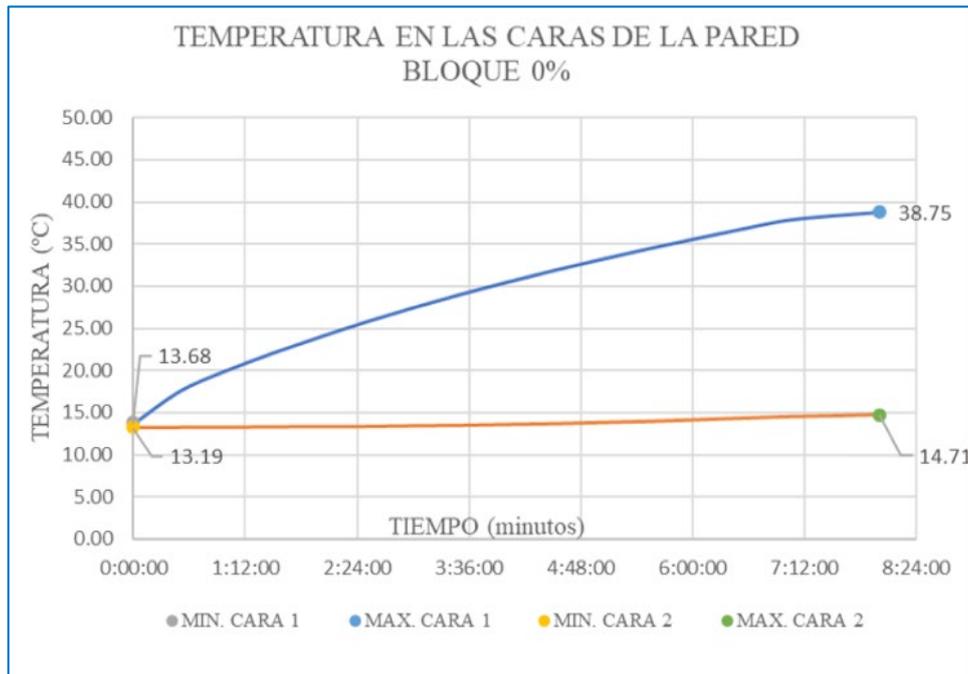
<i>Dosificación para hormigón de resistencia a compresión de 4 MPa con adición de 50% de aserrín</i>											
<b>Vol. Bloque:</b>	0	m <sup>3</sup>	<b>Vol. Total:</b>			0	m <sup>3</sup>				
<b>Cant. Bloques:</b>	102	u	<b>Desperdicio:</b>			3	u				
<i>Material</i>	<i>Cantidad en Kg para 1 m<sup>3</sup> de hormigón</i>	<i>Densidad aparente suelta kg/dm<sup>3</sup></i>	<i>Volumen dm<sup>3</sup></i>	<i>Volumen con 15% de Aserrín</i>	<i>Cantidades con 15% de Aserrín</i>	<i>Corrección por Humedad</i>				<i>Cantidades en Kg</i>	<i>Cantidades en Parihuelas</i>
						<i>C.A%</i>	<i>C.H%</i>	<i>CA% - C.H%</i>	<i>Peso en kg</i>		
<b>W</b>	51.83	-	-		51.83				2.09	53.91	
<b>C</b>	31.63	-	-		31.63					31.63	
<b>A</b>	94.73	0.81	116.62	116.62	94.73					94.73	4.319
<b>R</b>	40.21	0.60	67.48	33.74	20.10					20.10	1.250
<b>ASERRÍN</b>	0.00	0.42		33.74	14.06	31.55	16.71	14.84	2.09	11.98	1.250
<b>γ Horm.</b>	1507.16	kg/m <sup>3</sup>									

**Tabla 6.3** Dosificación para la elaboración de bloques con 50% de aserrín y poliestireno, Fuente: Elaboración Propia

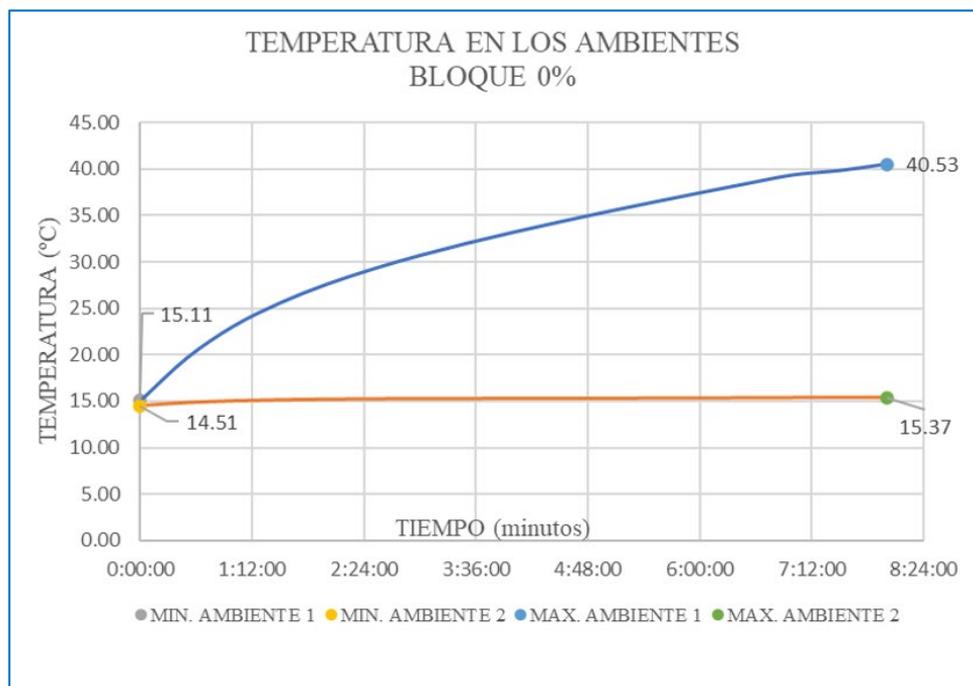
<i>Dosificación para hormigón de resistencia a compresión de 4 MPa con adición de 75% de aserrín</i>												
<b>Vol. Bloque:</b>	0	m <sup>3</sup>	<b>Vol. Total:</b>			0	m <sup>3</sup>					
<b>Cant. Bloques:</b>	102	u	<b>Desperdicio:</b>			3	u					
<i>Material</i>	<i>Cantidad en Kg para 1 m<sup>3</sup> de hormigón</i>	<i>Densidad aparente suelta kg/dm<sup>3</sup></i>	<i>Volumen dm<sup>3</sup></i>	<i>Volumen con 15% de Aserrín</i>	<i>Cantidades con 15% de Aserrín</i>	<i>Corrección por Humedad</i>				<i>Cantidades en Kg</i>	<i>Cantidades en Parihuelas</i>	
						<i>C.A%</i>	<i>C.H%</i>	<i>CA% - C.H%</i>	<i>Peso en kg</i>			
<b>W</b>	51.83	-	-		51.83					3.13	54.96	
<b>C</b>	31.63	-	-		31.63						31.63	
<b>A</b>	94.73	0.81	116.62	116.62	94.73						94.73	4.319
<b>R</b>	40.21	0.60	67.48	16.87	10.05						10.05	0.625
<b>ASERRÍN</b>	0.00	0.42		50.61	21.10	31.55	16.71	14.84		3.13	17.96	1.875
<b>γ Horm.</b>	1507.16	kg/m <sup>3</sup>										

**Tabla 6.4** Dosificación para la elaboración de bloques con 75% de aserrín y poliestireno, Fuente: Elaboración Propia

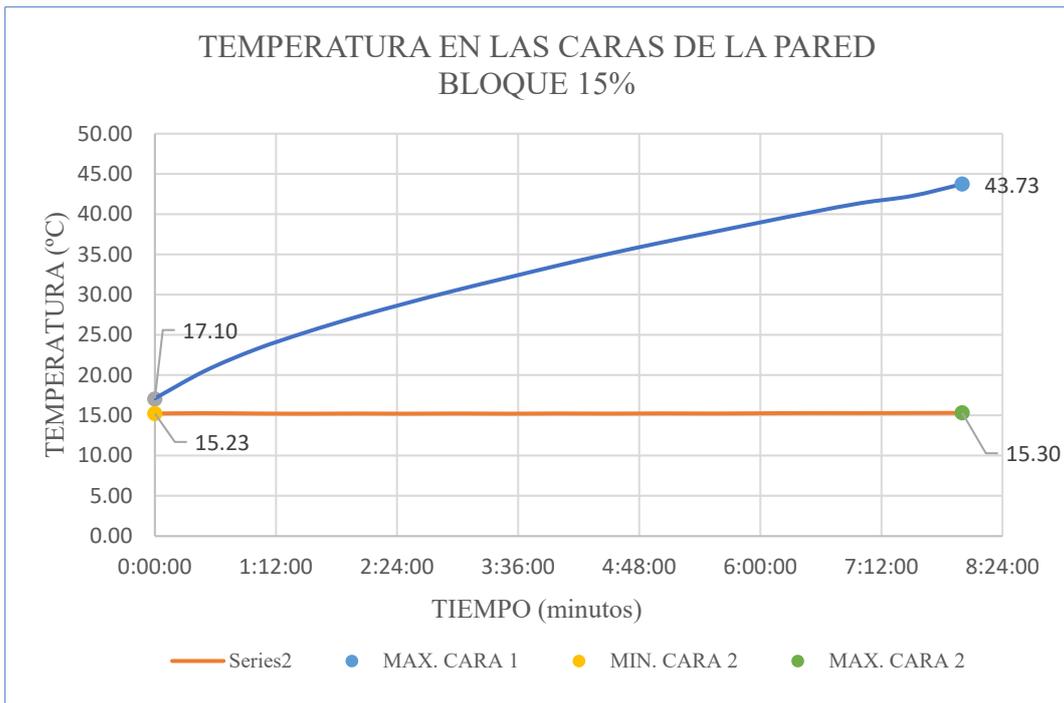
**6.1.2. Ensayos térmicos con bloques alivianados con aserrín y poliestireno**



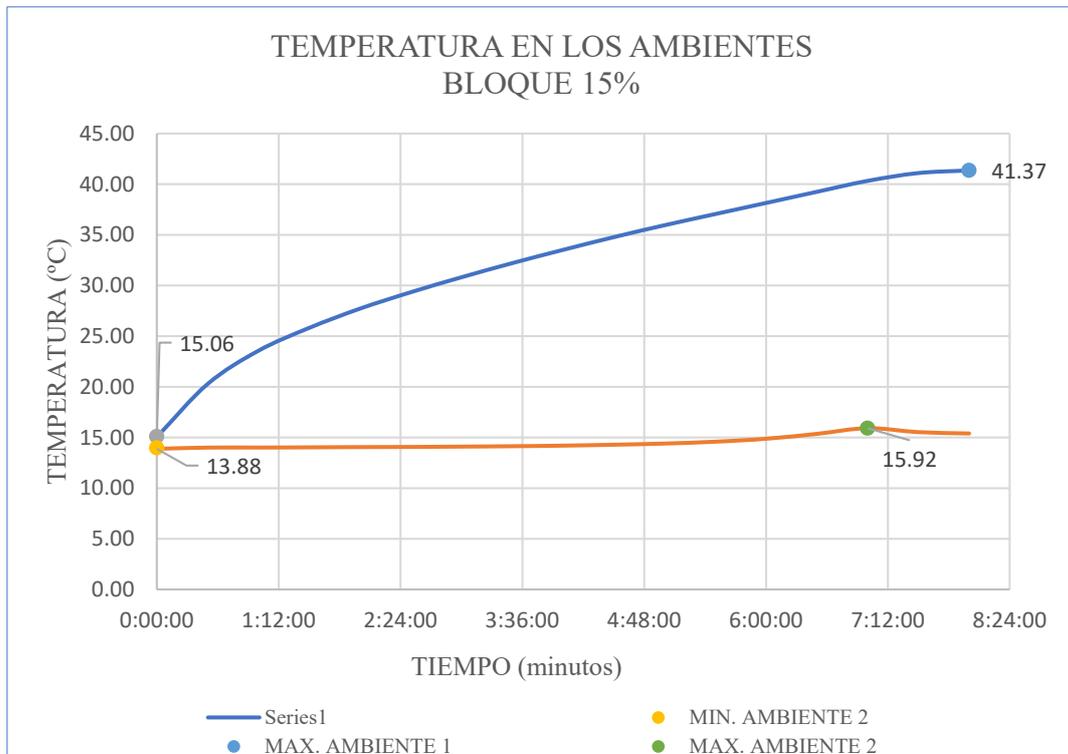
**Figura 6.1** Temperaturas en las caras de la pared de bloques alivianados más 0% de aserrín y poliestireno, Fuente: Elaboración Propia



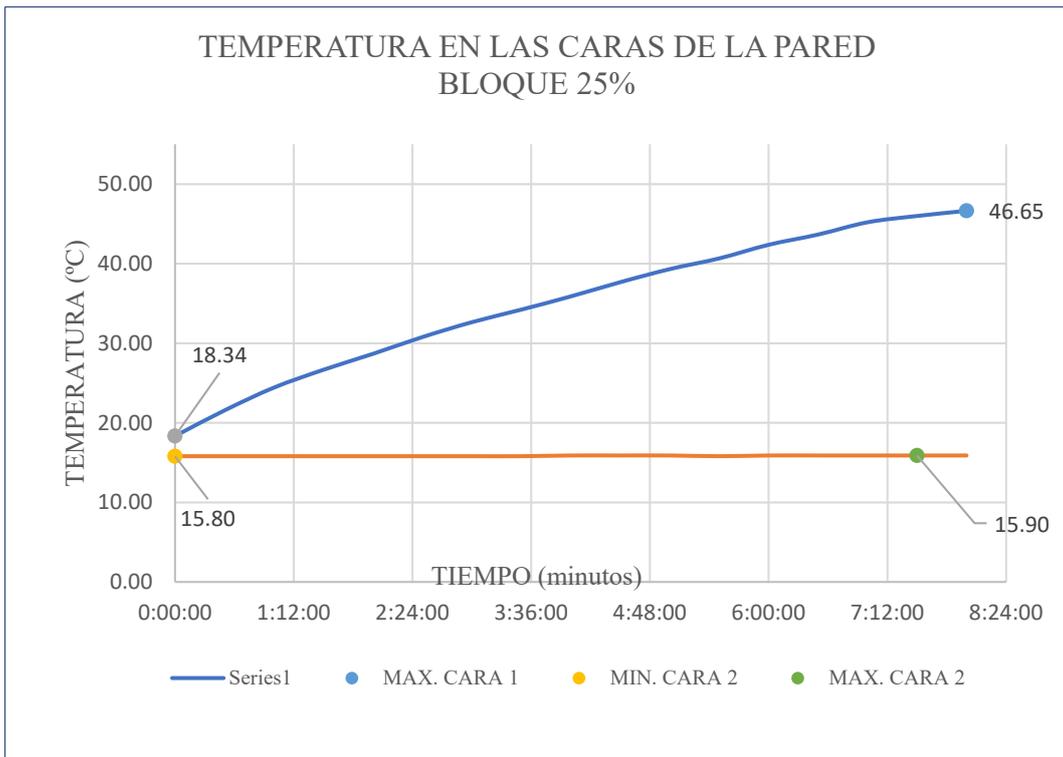
**Figura 6.2** Temperaturas en los ambientes de la pared de bloques alivianados más 0% de aserrín y poliestireno, Fuente: Elaboración Propia



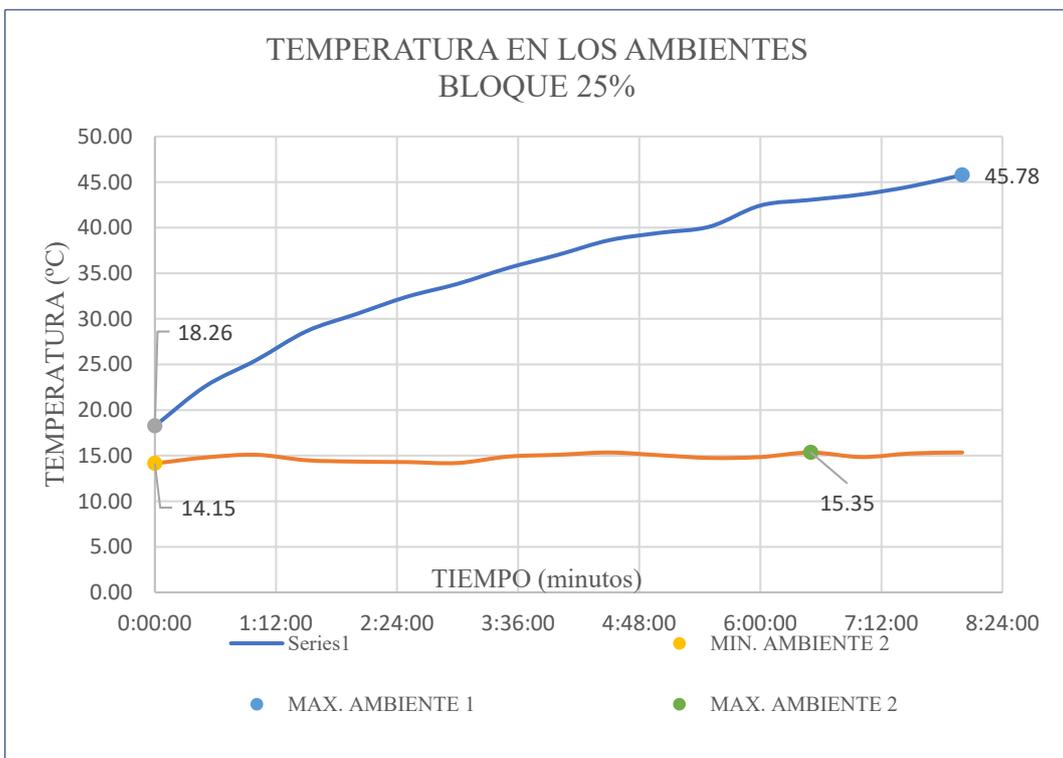
**Figura 6.3** Temperaturas en las caras de la pared de bloques alivianados más 15% de aserrín y poliestireno, Fuente: Elaboración Propia



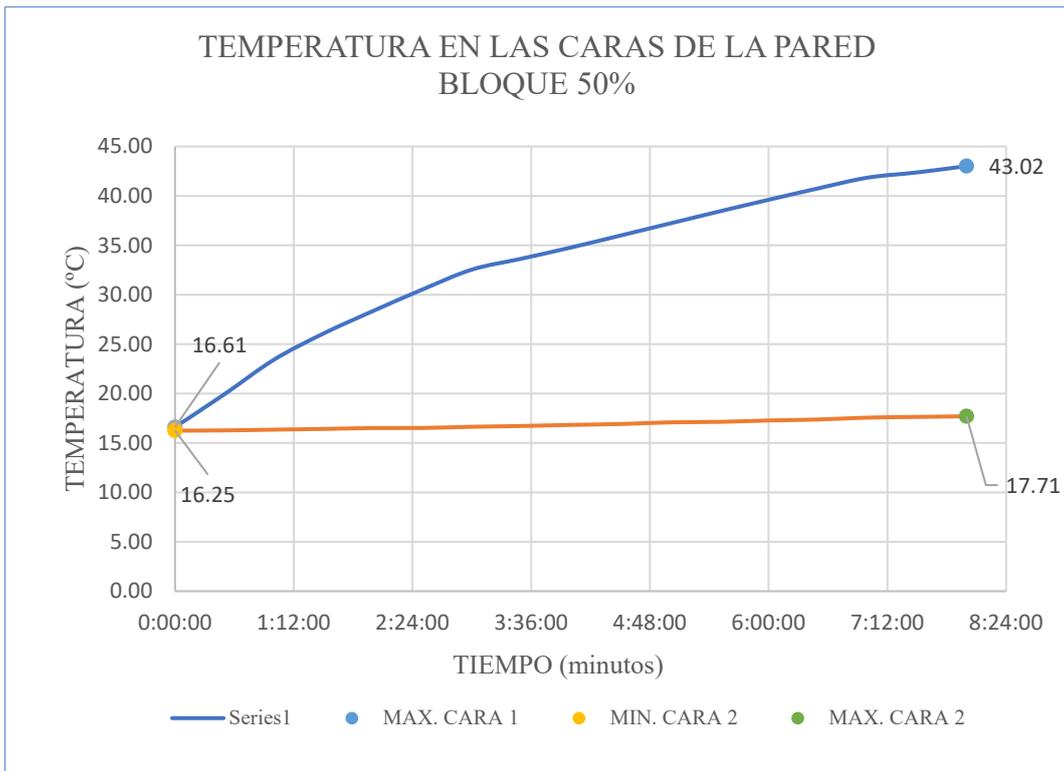
**Figura 6.4** Temperaturas en los ambientes de la pared de bloques alivianados más 15% de aserrín y poliestireno, Fuente: Elaboración Propia



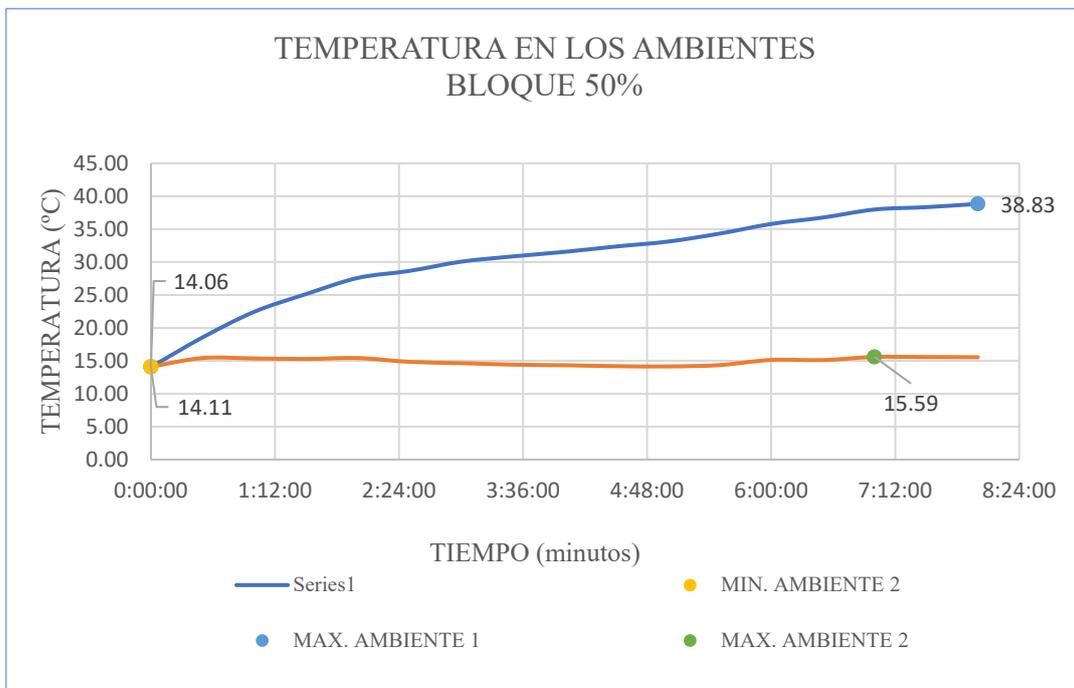
**Figura 6.5** Temperaturas en las caras de la pared de bloques alivianados más 25% de aserrín y poliestireno, Fuente: Elaboración Propia



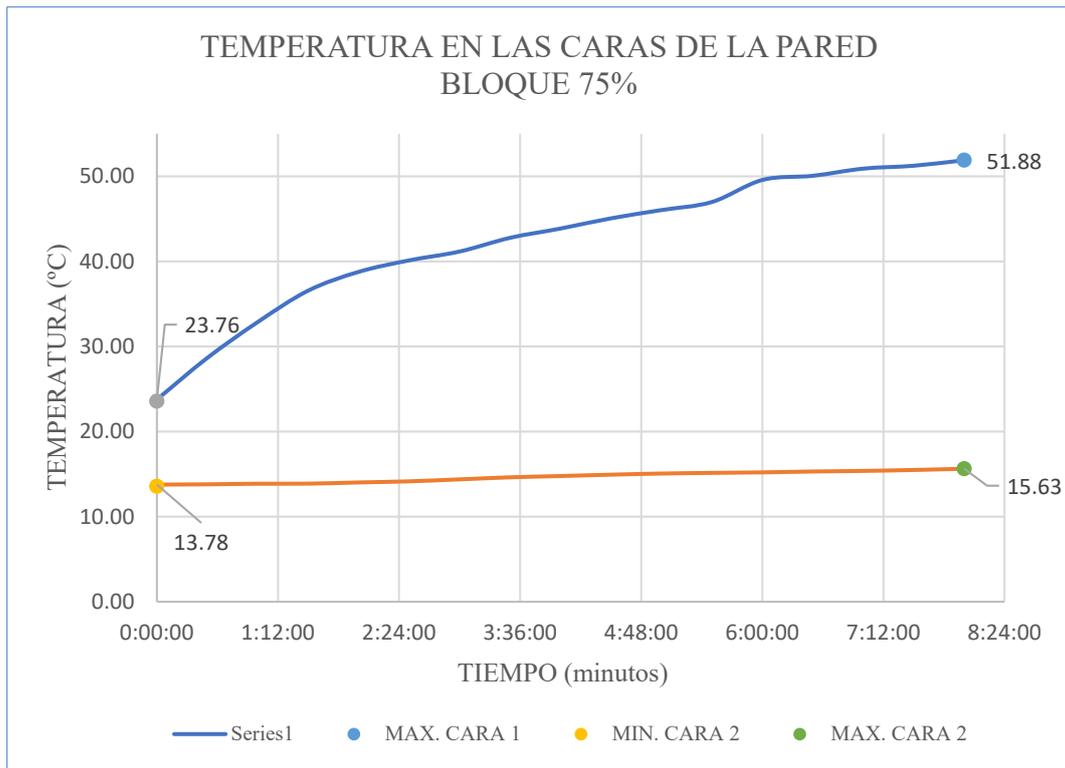
**Figura 6.6** Temperaturas en los ambientes de la pared de bloques alivianados más 25% de aserrín y poliestireno, Fuente: Elaboración Propia



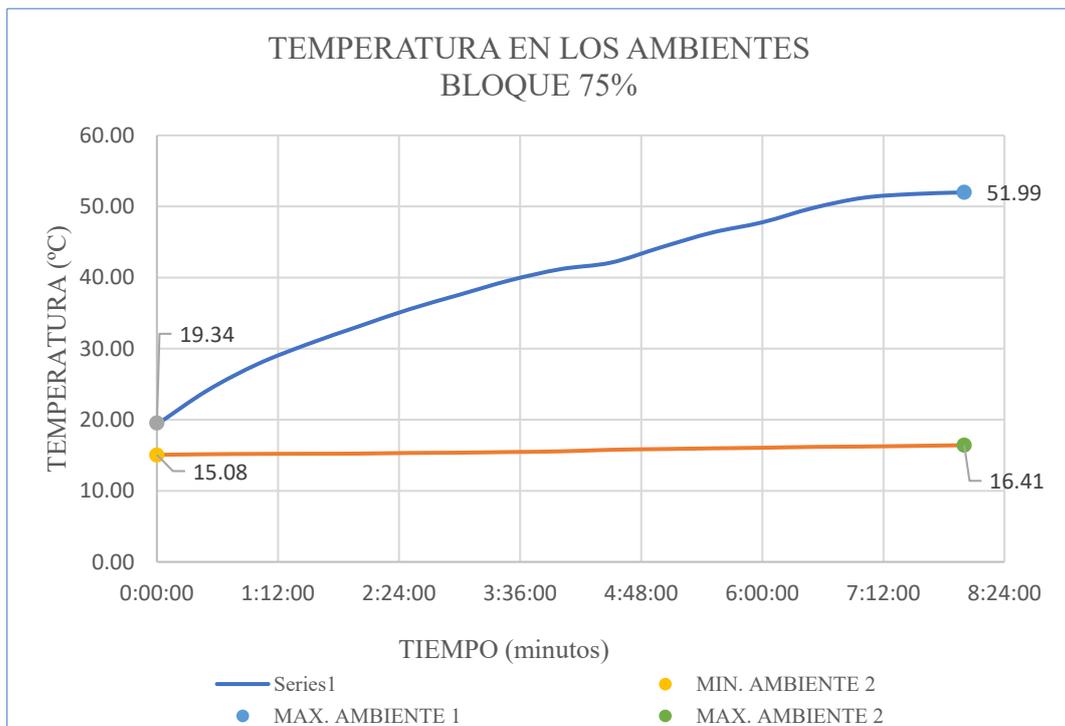
**Figura 6.7** Temperaturas en las caras de la pared de bloques alivianados más 50% de aserrín y poliestireno, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 6.8** Temperaturas en los ambientes de la pared de bloques alivianados más 50% de aserrín y poliestireno, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 6.9** Temperaturas en las caras de la pared de bloques alivianados más 75% de aserrín y poliestireno, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 6.10** Temperaturas en los ambientes de la pared de bloques alivianados más 75% de aserrín y poliestireno, Fuente: Elaboración Propia

Se han ensayado 5 paredes por porcentaje, cada una formada por 9 bloques, con un total de 25 ensayos obteniéndose los resultados mostrados en las Tablas 6.5 y 6.6

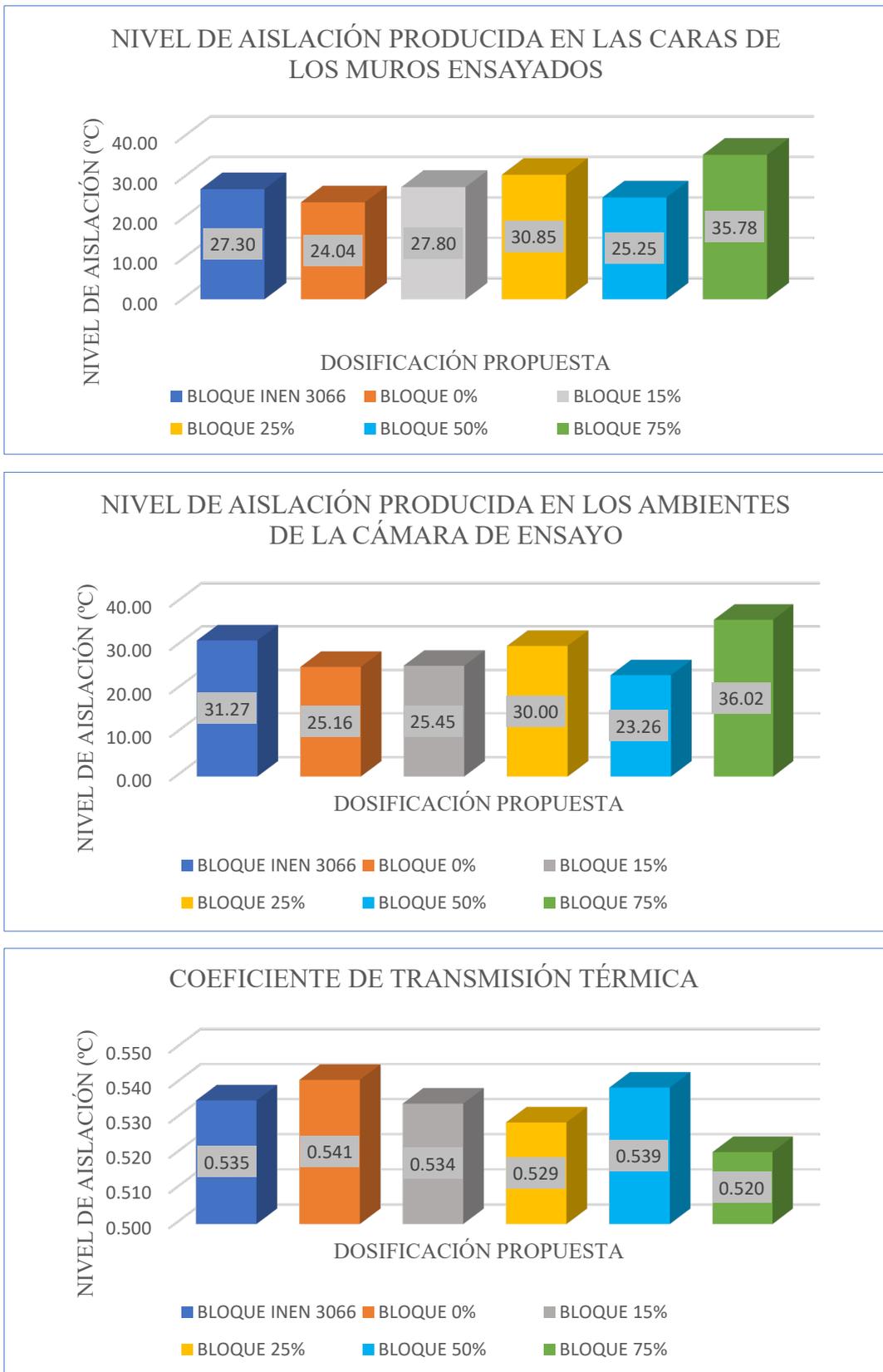
<b>PROMEDIO DE <math>\Delta T</math>(máx.) CARA PARED 1 Y 2 (°C)</b>					
<i>INEN 3066</i>	<i>0%</i>	<i>15%</i>	<i>25%</i>	<i>50%</i>	<i>75%</i>
27.30	24.04	27.80	30.85	25.25	35.78
<b>PROMEDIO DE <math>\Delta T</math>(máx.) AMBIENTE 1 Y 2</b>					
<i>INEN 3066</i>	<i>0%</i>	<i>15%</i>	<i>25%</i>	<i>50%</i>	<i>75%</i>
31.27	25.16	25.45	30.00	23.26	36.02

**Tabla 6.5** Promedio de ensayos de paredes de bloques alivianados más aserrín y poliestireno, Fuente: Elaboración Propia

<b>COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE PARED BLOQUE ALIVIANADOS MÁS ASERRÍN Y POLIESTIRENO</b>								
<i>Símbolo</i>	<i>Descripción</i>	<i>INEN 3066</i>	<i>0%</i>	<i>15%</i>	<i>25%</i>	<i>50%</i>	<i>75%</i>	<i>Unidad</i>
$\varphi$	Flujo térmico	600	600	600	600	600	600	W
A	Área de la muestra	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	m <sup>2</sup>
$q = \varphi/A$	Densidad de flujo térmico	1071.43	1071.43	1071.43	1071.43	1071.4	1071.43	W/m <sup>2</sup>
	°K	273.00	273.00	273.00	273.00	273.00	273.00	°K
$\Delta T = t_f - t_i$	$\Delta T$ (max)+ 273	300.30	297.04	300.80	303.85	298.25	308.78	°K
e	Espesor muestra	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	m
$\lambda = q/(\Delta T/e)$	Coef. conductividad Térmica	0.535	0.541	0.534	0.529	0.539	0.520	W/m·K

**Tabla 6.6** Coeficiente de conductividad térmica bloques de hormigón más aserrín y poliestireno, Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 6.11 se puede observar una comparativa de las variaciones térmicas entre los ambientes y las paredes de la cámara térmica con respecto a la composición de cada muro, así como del coeficiente de transmisión térmica obtenido para cada una de las dosificaciones de aserrín y poliestireno.



**Figura 6.11** Comparativa de los ensayos térmicos de paredes de adobe con adición de aserrín y poliestireno, Fuente: Elaboración Propia

### 6.1.3. Ensayos acústicos con bloques alivianados con aserrín y poliestireno

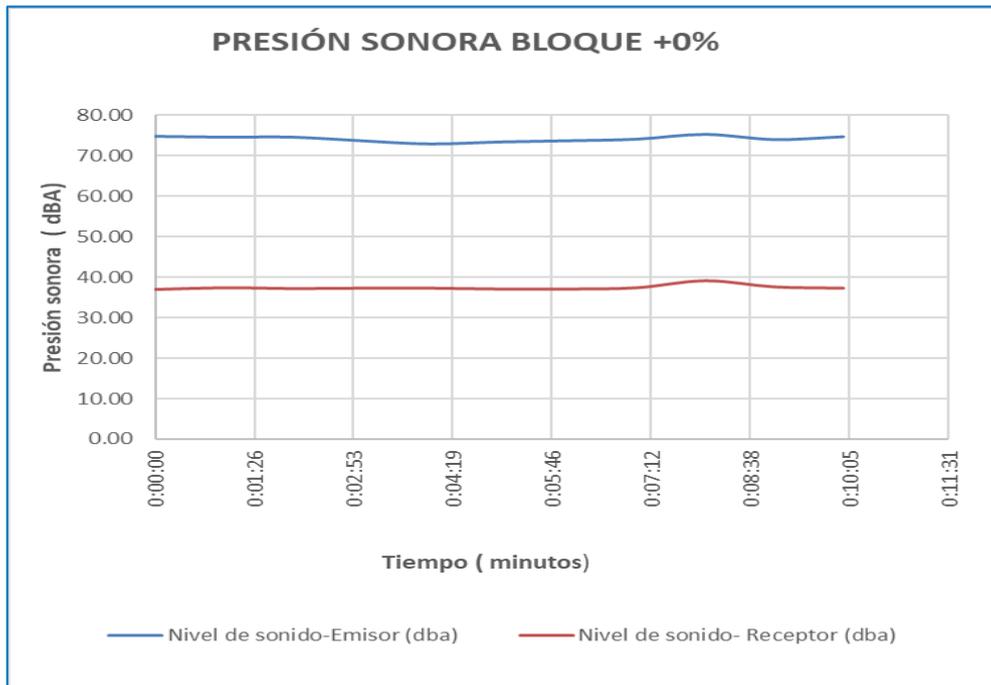


Figura 6.12 Presión sonora bloque hormigón más 0% de aserrín y poliestireno, Fuente: Elaboración Propia

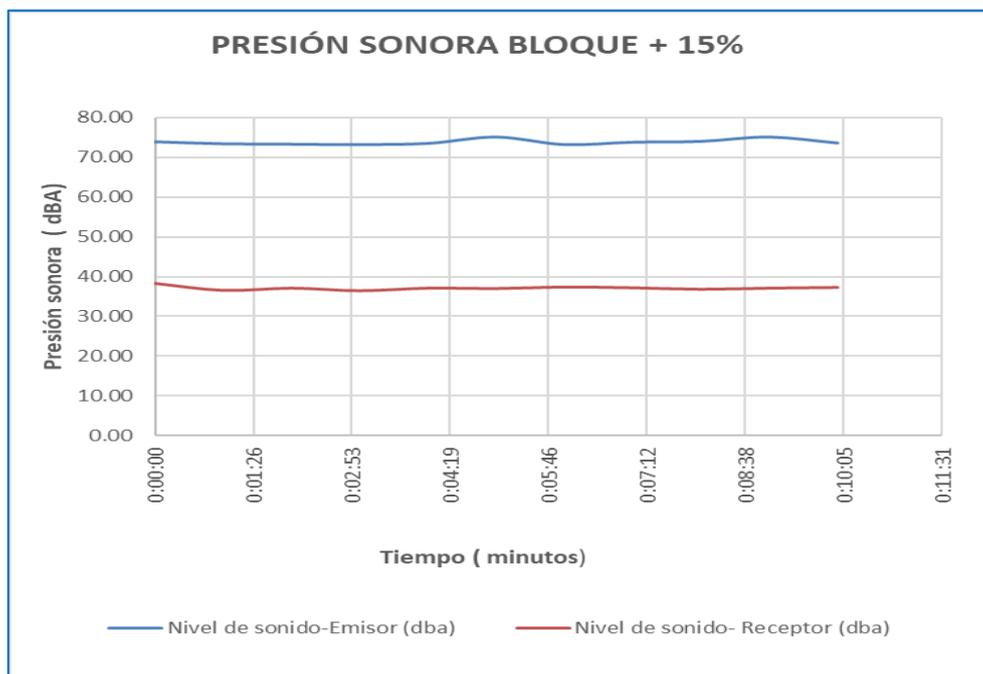
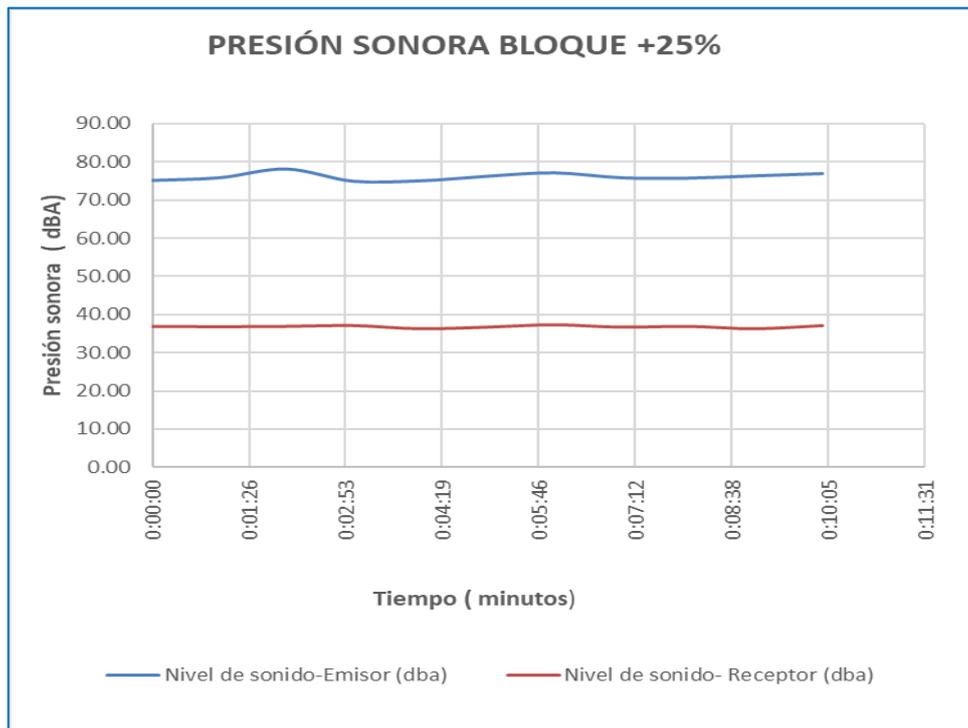
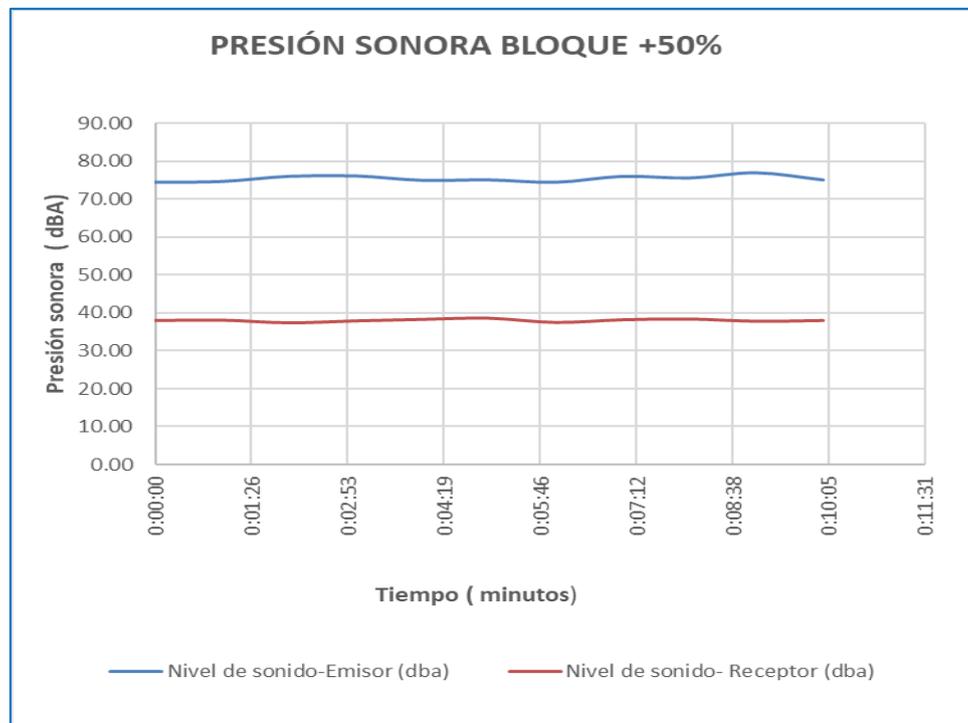


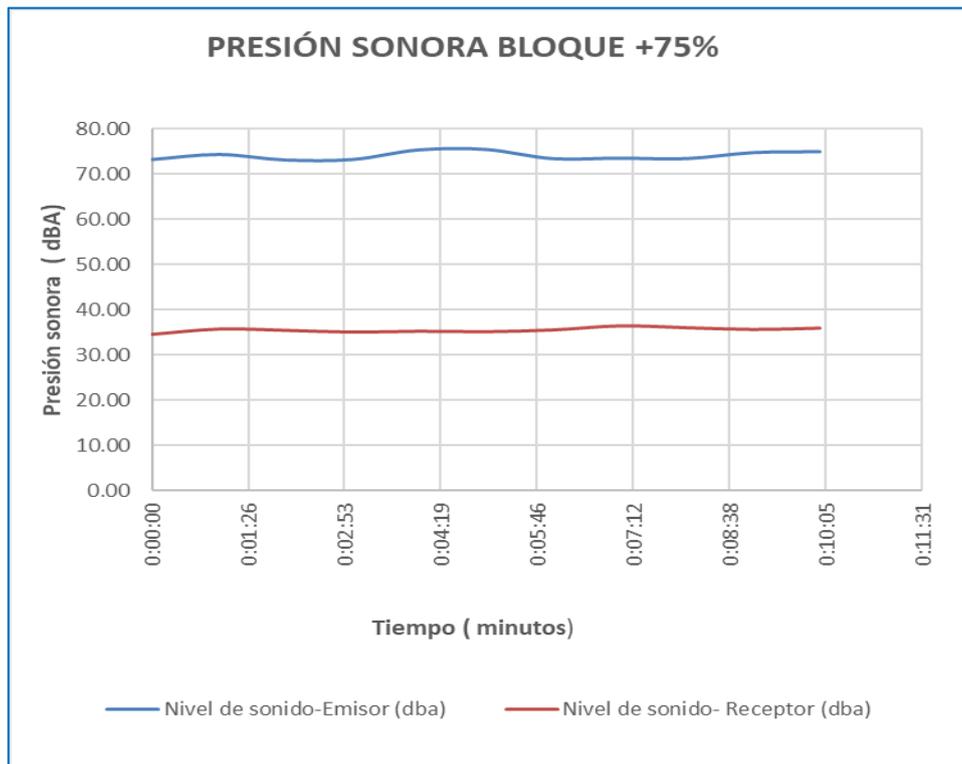
Figura 6.13 Presión sonora bloque hormigón más 15% de aserrín y poliestireno, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 6.14** Presión sonora bloque hormigón más 25% de aserrín y poliestireno,  
Fuente: Elaboración Propia



**Figura 6.15** Presión sonora bloque hormigón más 50% de aserrín y poliestireno,  
Fuente: Elaboración Propia



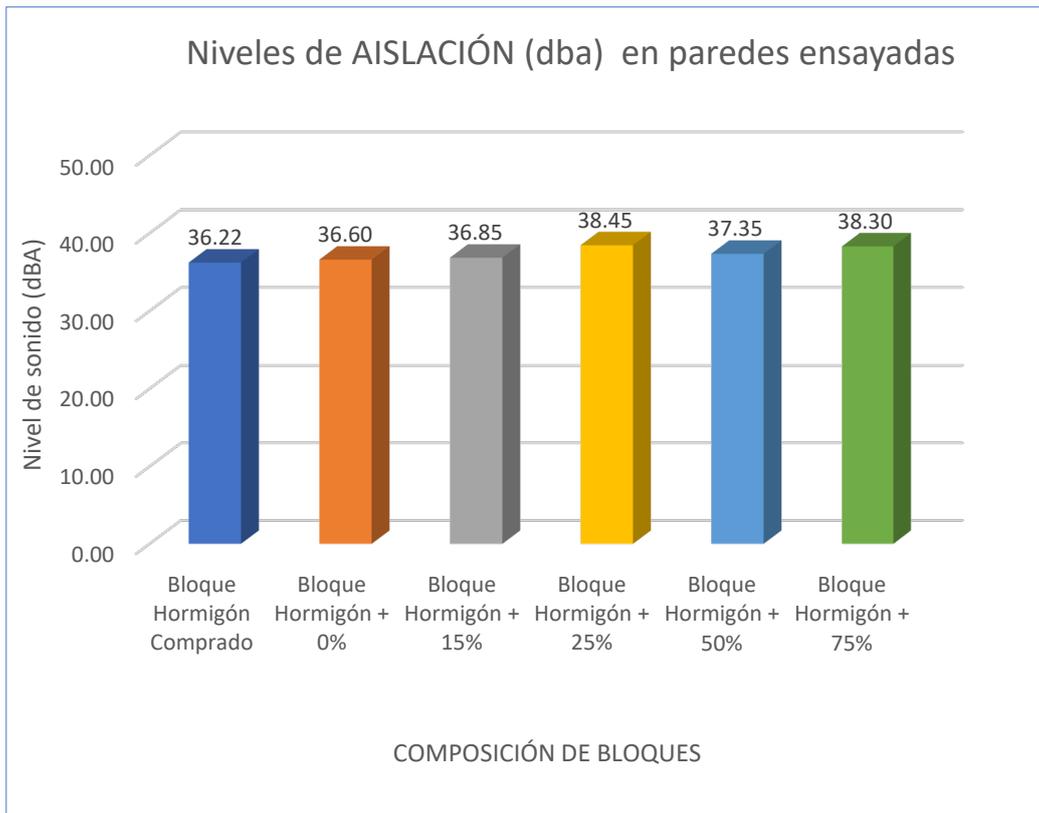
**Figura 6.16** Presión sonora bloque hormigón más 75% de aserrín y poliestireno,  
Fuente: Elaboración Propia

Se han ensayado 5 paredes por porcentaje, cada una formada por 9 bloques, con un total de 25 ensayos obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla 6.7.

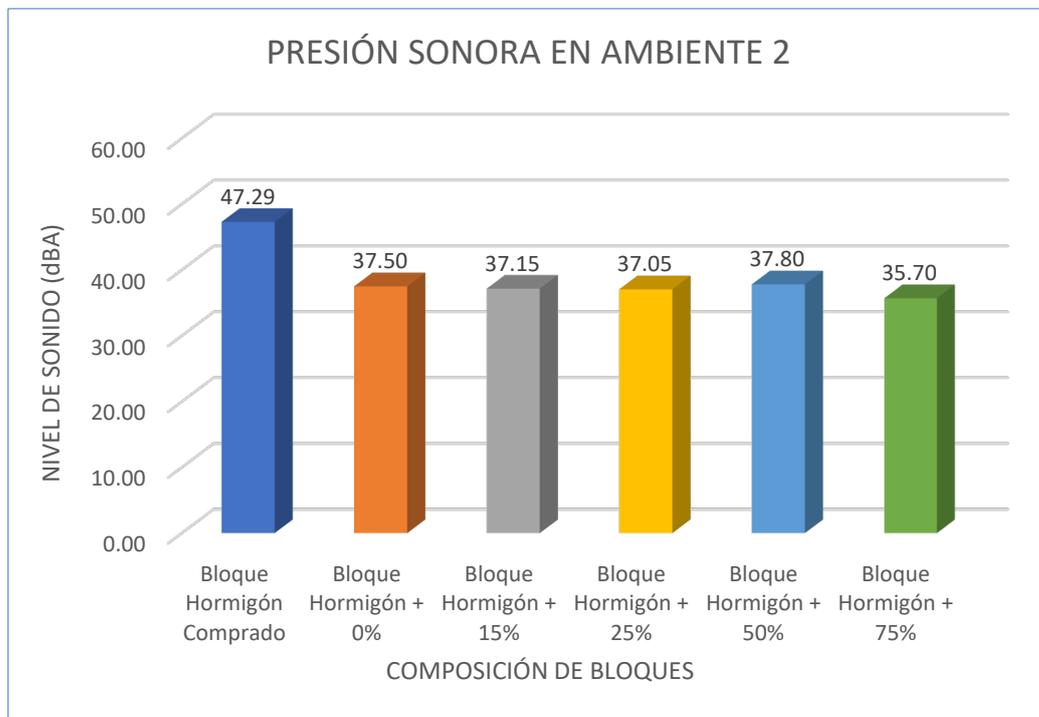
<b>RESULTADOS PROMEDIOS DE LOS ENSAYOS ACÚSTICOS (dBA)</b>			
<b>%</b>	<b>PROMEDIO EMISOR</b>	<b>PROMEDIO RECEPTOR</b>	<b>DIFERENCIA PROMEDIO</b>
<b>INEN 3066</b>	83.51	47.29	36.22
<b>0%</b>	74.10	37.50	36.60
<b>15%</b>	74.00	37.15	36.85
<b>25%</b>	75.50	37.05	38.45
<b>50%</b>	75.15	37.80	37.35
<b>75%</b>	74.00	35.70	38.30

**Tabla 6.7** Promedio de resultados de ensayos acústicos de las paredes de bloques alivianados más Aserrín y Poliestireno, Fuente: Elaboración Propia

En las Figuras 6.17 y 6.18 se puede observar una comparación de los niveles de aislamiento en los ambientes de la cámara acústica con respecto a la composición de cada muro.



**Figura 6.17** Niveles de aislación en las paredes de bloques de hormigón con adición de aserrín y poliestireno, Fuente: Elaboración Propia



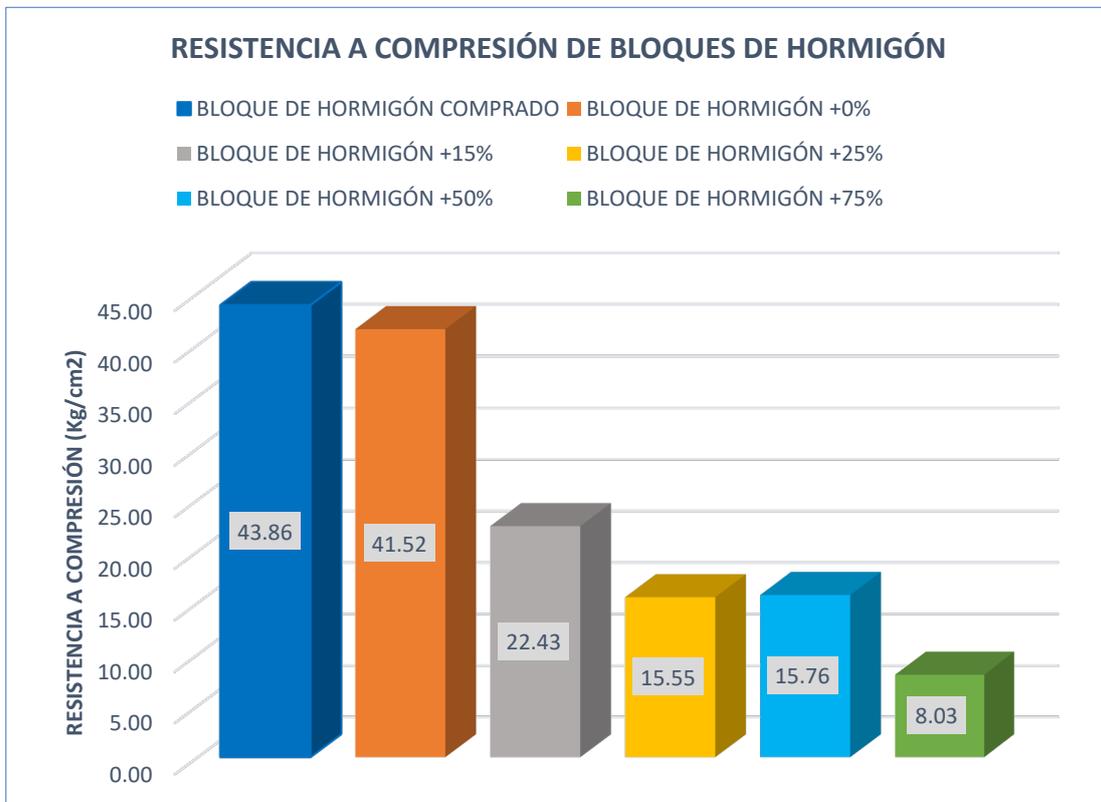
**Figura 6.18** Presión sonora ambiente 2, paredes de hormigón con adición de aserrín y poliestireno, Fuente: Elaboración Propia

**6.1.4. Ensayos de compresión con bloques alivianados con aserrín y poliestireno**

La resistencia promedio que se muestra en la Tabla 6.8 y en la Figura 6.19 se ha obtenido del promedio total de los 57 bloques que han sido ensayados para cada una de las dosificaciones. También, se ha incluido el resultado correspondiente al bloque comercial.

<b>COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE BLOQUES DE ADOBE</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RESISTENCIA</b>	<b>UNIDAD</b>
BLOQUE DE HORMIGÓN COMPRADO	43.86	kg/cm <sup>2</sup>
BLOQUE DE HORMIGÓN +0%	41.52	kg/cm <sup>2</sup>
BLOQUE DE HORMIGÓN +15%	22.43	kg/cm <sup>2</sup>
BLOQUE DE HORMIGÓN +25%	15.55	kg/cm <sup>2</sup>
BLOQUE DE HORMIGÓN +50%	15.76	kg/cm <sup>2</sup>
BLOQUE DE HORMIGÓN +75%	8.03	kg/cm <sup>2</sup>

**Tabla 6.8** Comparación de los resultados de paredes de hormigón con adición de aserrín y poliestireno, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 6.19** Comparación de los resultados de paredes de hormigón con adición de aserrín y poliestireno, Fuente: Elaboración Propia

## **6.2. BLOQUES ALIVIANADOS CON ADICIÓN DE BOTELLAS PLÁSTICAS PET**

Las Tablas 6.9 a 6.12 presentan las dosificaciones para los bloques alivianados con adición de botellas plásticas PET. Los porcentajes de adición han sido del 15, 25, 50 y 75%. Los ensayos térmicos llevados a cabo se presentan en las Figuras 6.20 a 6.30 y en las Tablas 6.13 y 6.14, distinguiendo en función del porcentaje de adición. Por otro lado, los resultados de los ensayos acústicos se recogen en las Figuras 6.31a 6.39 y en la Tabla 6.15. Mientras que en la Figura 6.40 y en la Tabla 6.16 se muestran los resultados correspondientes al ensayo de compresión.

## 6.2.1. Dosificación de mezclas de bloques alivianados con botellas plásticas PET

Dosificación final con 15% PET - 85% Chasqui											
<b>Vol. Bloque:</b>	0.0069	m3		<b>Vol Total:</b>	0.7245	m3		<b>Vol. Parihuela</b>	27	dm3	
<b>Cant. Bloques:</b>	102	u		<b>Desperdicio :</b>	3	u		<b>Sustitución :</b>	15%		
<b>POV</b>	15	%									
<b>Material</b>	<b>Cant. A mezclar (kg)</b>	<b>Densidad Aparente suelto (Kg/dm3)</b>	<b>Volumen dm3</b>	<b>Vol con 15% PET dm3</b>	<b>Cantidades con 15% PET en kg</b>	<b>Corrección por Humedad</b>				<b>Cantidades kg</b>	<b>Cantidades parehuelas</b>
						<b>C.A %</b>	<b>C.H %</b>	<b>CA% - C.H%</b>	<b>Peso en kg</b>		
<b>W</b>	259.13	-	-		259.13					2.94	262.07
<b>C</b>	158.15	-	-		158.15						158.15
<b>A</b>	473.63	0.81	583.10	583.10	473.63						473.63 21.60
<b>R</b>	201.04	0.60	337.41	286.80	170.88						170.88 10.62
<b>PET</b>	0.00	0.40		50.61	20.00	24.73	10.01	14.72	2.94		17.06 1.87
<b>γ Horm.</b>	1507.16	kg/m3									

Tabla 6.9 Dosificación para la elaboración de bloques con adición de 15%PET, Fuente: Elaboración Propia

<b>Dosificación final con 25% PET - 75% Chasqui</b>												
<b>Vol. Bloque:</b>	0.0069	m3		<b>Vol Total:</b>	0.7245	m3		<b>Vol. Parihuela</b>	27	dm3		
<b>Cant. Bloques:</b>	102	u		<b>Desperdicio:</b>	3	u		<b>Sustitución:</b>	25%			
<b>POV</b>	<b>20</b>	%										
<b>Material</b>	<b>Cant. A mezcla r kg</b>	<b>Densidad Aparente suelto Kg/dm3</b>	<b>Volume n dm3</b>	<b>Vol con 25% PET dm3</b>	<b>Cantidades con 25% PET kg</b>	<b>Corrección por Humedad</b>				<b>Cantidades kg</b>	<b>Cantidades parehuelas</b>	
						<b>C.A %</b>	<b>C.H %</b>	<b>CA% - C.H%</b>	<b>Peso en kg</b>			
<b>W</b>	259.13	-	-		259.13					4.91	264.03	
<b>C</b>	158.15	-	-		158.15						158.15	
<b>A</b>	473.63	0.81	583.10	583.10	473.63						473.63	21.60
<b>R</b>	201.04	0.60	337.41	253.06	150.78						150.78	9.37
<b>PET</b>	0.00	0.40		84.35	33.33	24.73	10.01	14.72	4.91		28.43	3.12
<b>γ Horm.</b>	1507.16	kg/m3										

**Tabla 6.10** Dosificación para la elaboración de bloques con adición de 25%PET, Fuente: Elaboración Propia

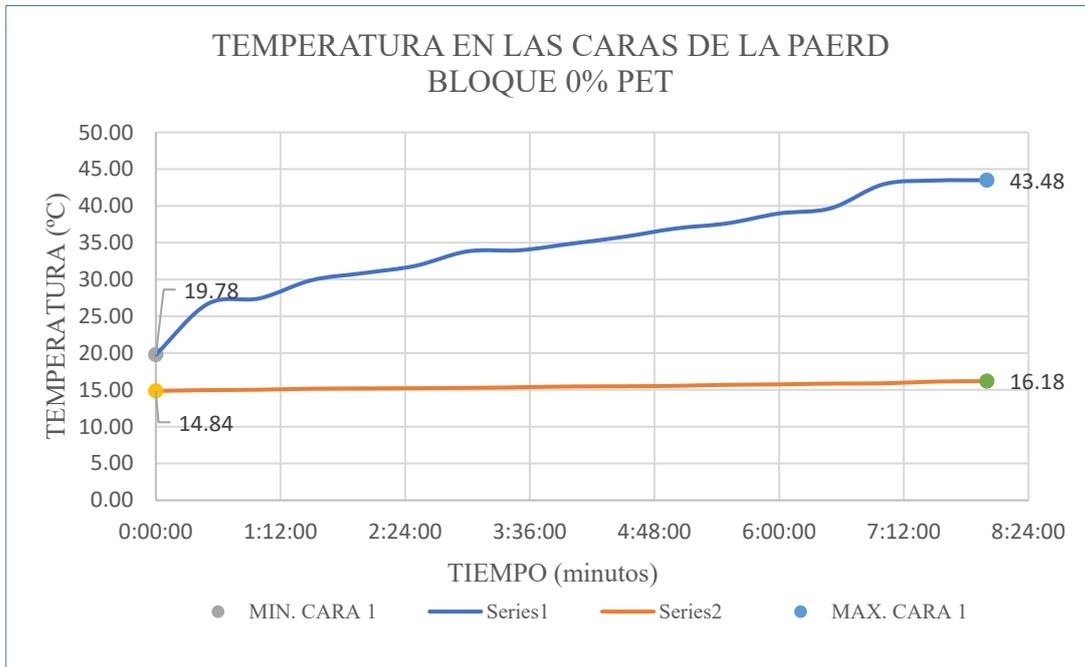
<b>Dosificación final con 50% PET - 50% Chasqui</b>												
<b>Vol. Bloque:</b>	0.0069	m3		<b>Vol total:</b>	0.7245	m3		Vol Parihuela	27	dm3		
<b>Cant. Bloques:</b>	102	u		<b>Desperdicio :</b>	3	u		<b>Sustitución</b>	<b>50%</b>			
<b>POV</b>	<b>20</b>	<b>%</b>										
<b>Material</b>	<b>Cant. A mezcla r kg</b>	<b>Densidad Aparente suelto Kg/dm3</b>	<b>Volume n dm3</b>	<b>Vol con 50% PET dm3</b>	<b>Cantidades con 50% PET kg</b>	<b>Corrección por Humedad</b>				<b>Cantidades kg</b>	<b>Cantidades parehuels</b>	
						<b>C.A %</b>	<b>C.H %</b>	<b>CA% - C.H%</b>	<b>Peso en kg</b>			
<b>W</b>	259.13	-	-		259.13					9.81	268.94	
<b>C</b>	158.15	-	-		158.15						158.15	
<b>A</b>	473.63	0.81	583.10	583.10	473.63						473.63	21.60
<b>R</b>	201.04	0.60	337.41	168.71	100.52						100.52	6.25
<b>PET</b>	0.00	0.40		168.71	66.67	24.73	10.01	14.72	9.81		56.86	6.25
<b>γ Horm.</b>	1507.16	kg/m3										

**Tabla 6.11** Dosificación para la elaboración de bloques con adición de 50%PET, Fuente: Elaboración Propia

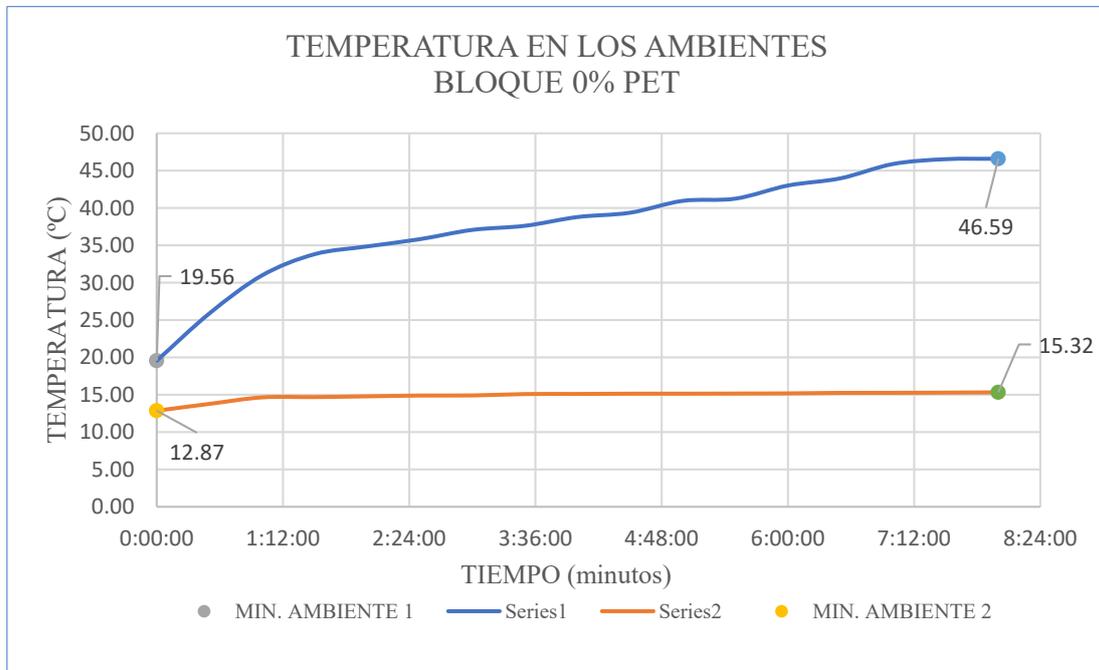
<b>Dosificación final con 75% PET - 25% Chasqui</b>												
<b>Vol. Bloque:</b>	0.0069	m3		<b>Vol total:</b>	0.7245	m3		Vol Parihuela	27	dm3		
<b>Cant. Bloques:</b>	102	u		<b>Desperdicio:</b>	3	u		<b>Sustitución</b>	<b>75%</b>			
<b>POV</b>	<b>20</b>	<b>%</b>										
<b>Material</b>	<b>Cant. A mezcla r kg</b>	<b>Densidad Aparente suelto Kg/dm3</b>	<b>Volume n dm3</b>	<b>Vol con 50% PET dm3</b>	<b>Cantidades con 50% PET kg</b>	<b>Corrección por Humedad</b>				<b>Cantidades s kg</b>	<b>Cantidades s parehuelas</b>	
						<b>C.A %</b>	<b>C.H %</b>	<b>CA% - C.H%</b>	<b>Peso en kg</b>			
<b>W</b>	259.13	-	-		259.13					14.72	273.85	
<b>C</b>	158.15	-	-		158.15						158.15	
<b>A</b>	473.63	0.81	583.10	583.10	473.63						473.63	21.596
<b>R</b>	201.04	0.60	337.41	84.35	50.26						50.26	3.124
<b>PET</b>	0.00	0.40		253.06	100.00	24.73	10.01	14.72		14.72	85.28	9.373
<b>γ Horm.</b>	1507.16	kg/m3										

**Tabla 6.12** Dosificación para la elaboración de bloques con adición de 75%PET, Fuente: Elaboración Propia

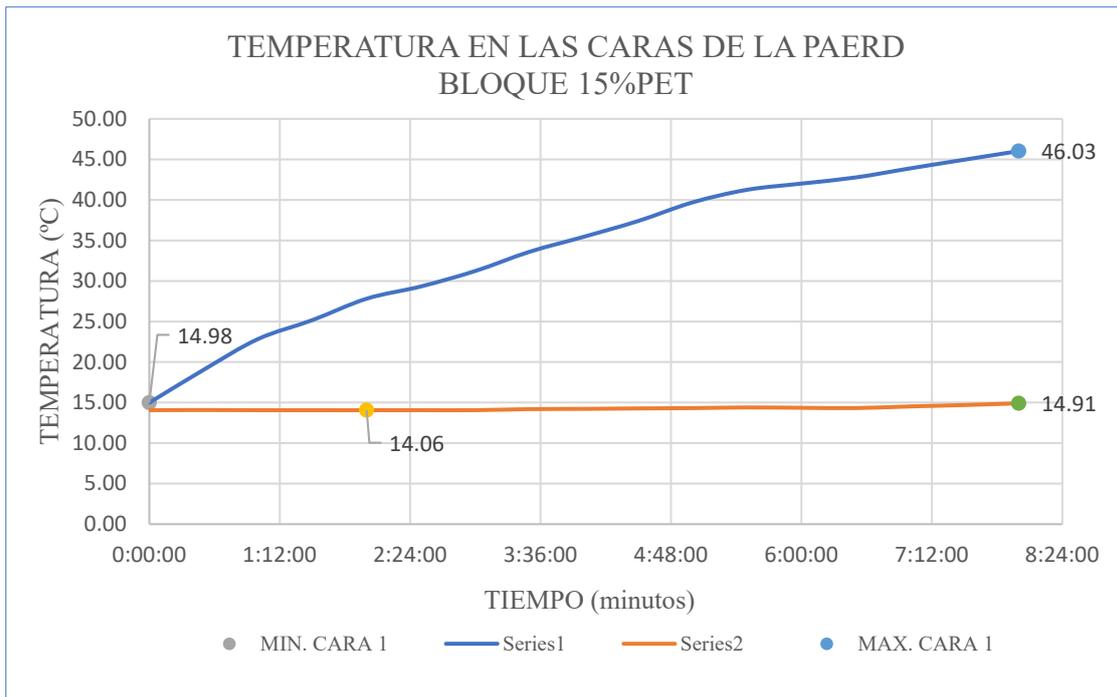
**6.2.2. Ensayos térmicos con bloques alivianados con botellas plásticas PET**



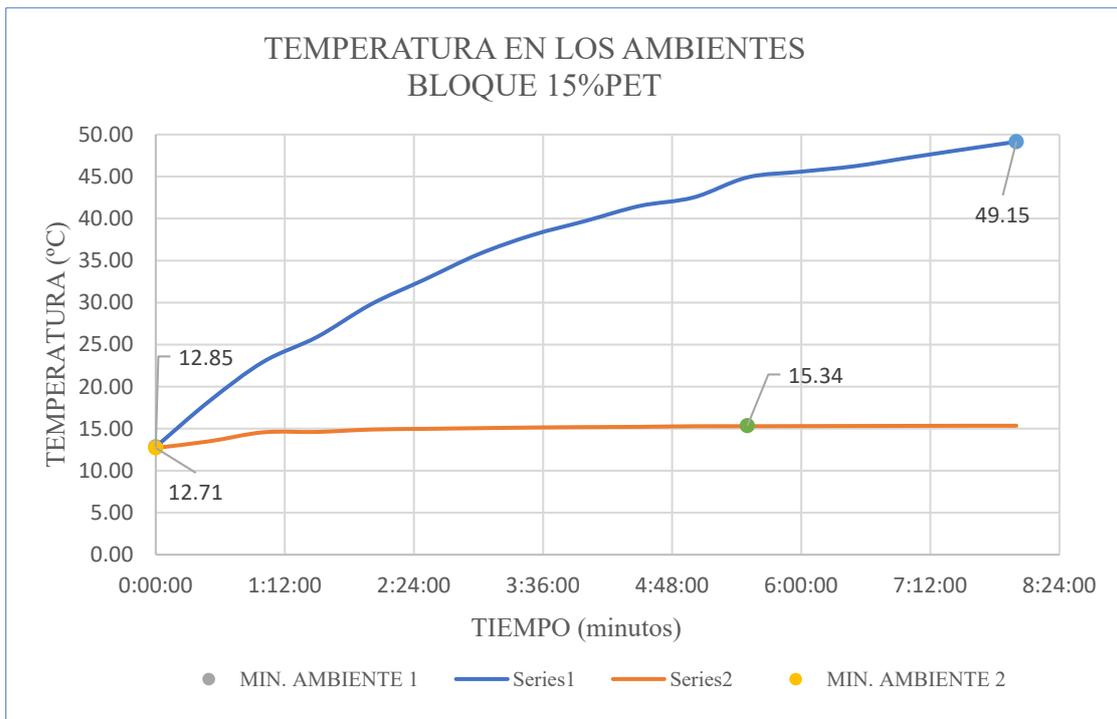
**Figura 6.20** Temperatura en caras de la pared de Bloque 0%PET, Fuente: Elaboración Propia



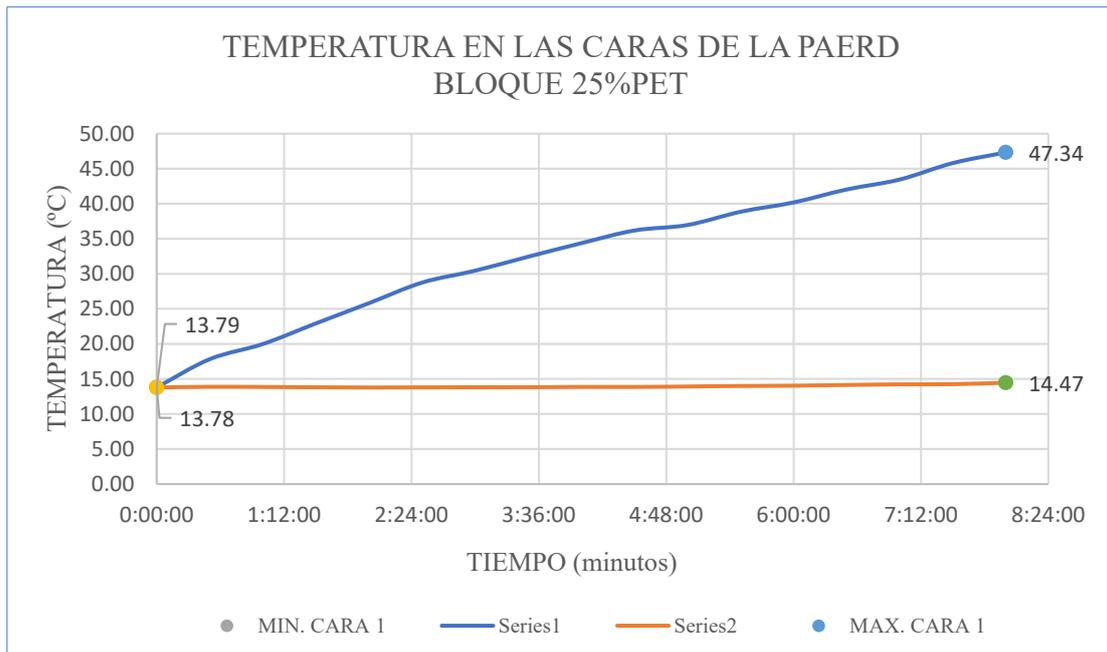
**Figura 6.21** Temperatura en ambientes de la pared de Bloque 0%PET, Fuente: Elaboración Propia



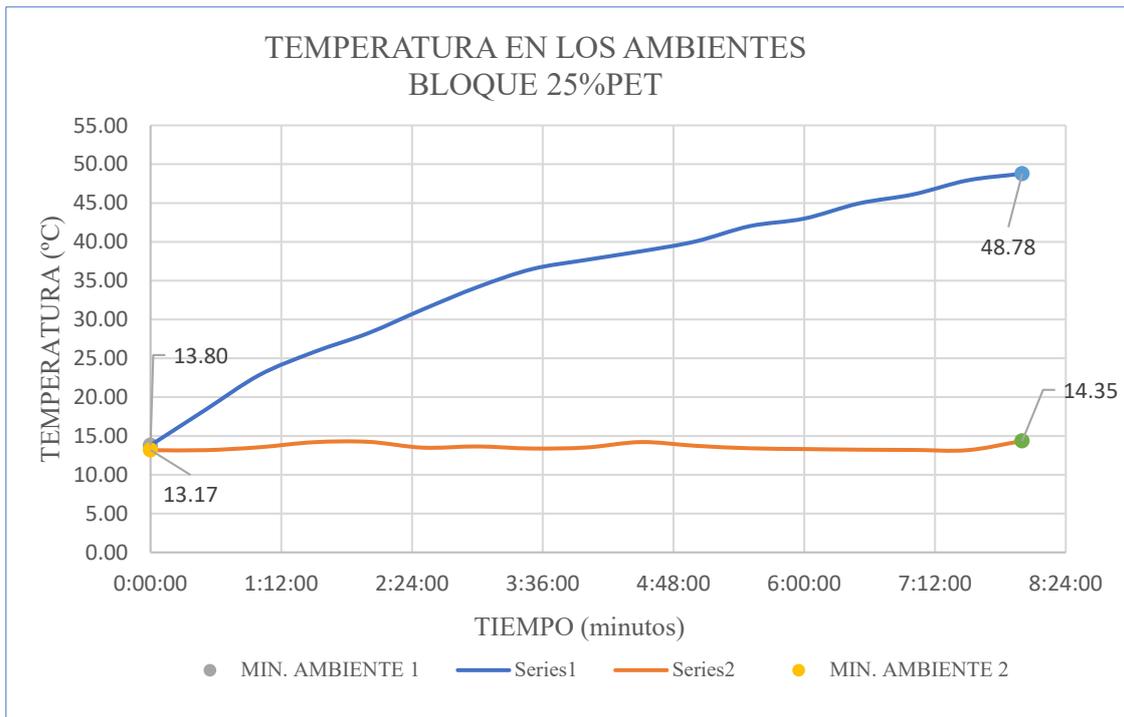
**Figura 6.22** Temperatura en caras de la pared de Bloque 15%PET, Fuente: Elaboración Propia



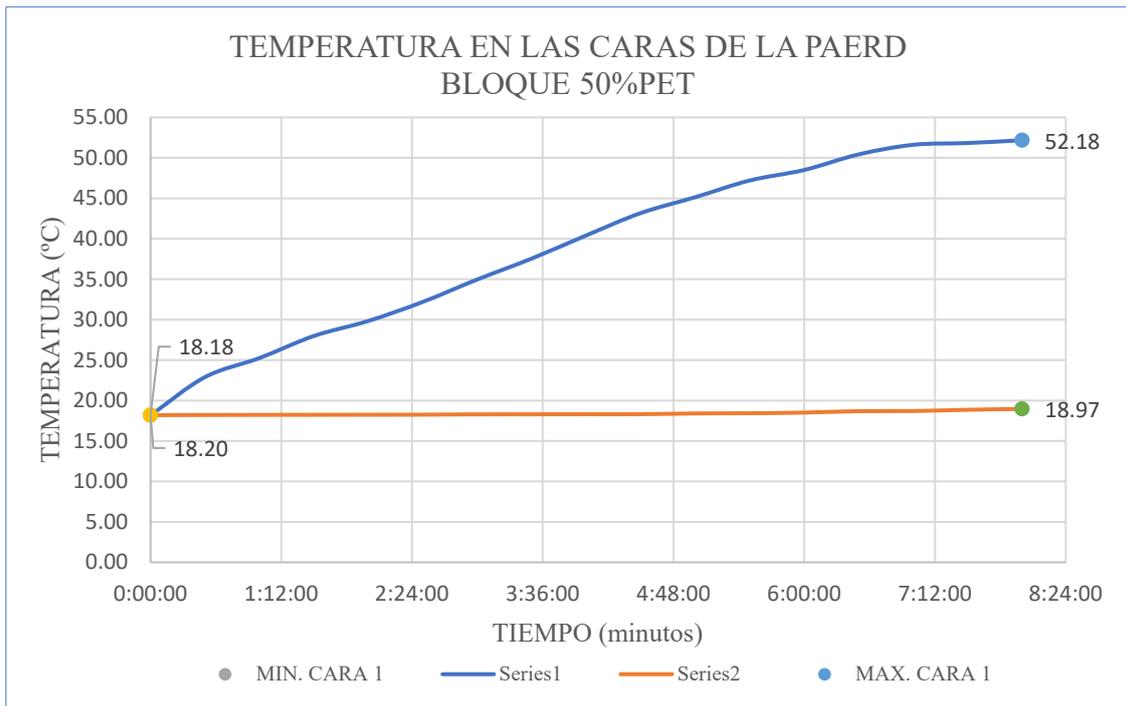
**Figura 6.23** Temperatura en ambientes de la pared de Bloque 15%PET, Fuente: Elaboración Propia



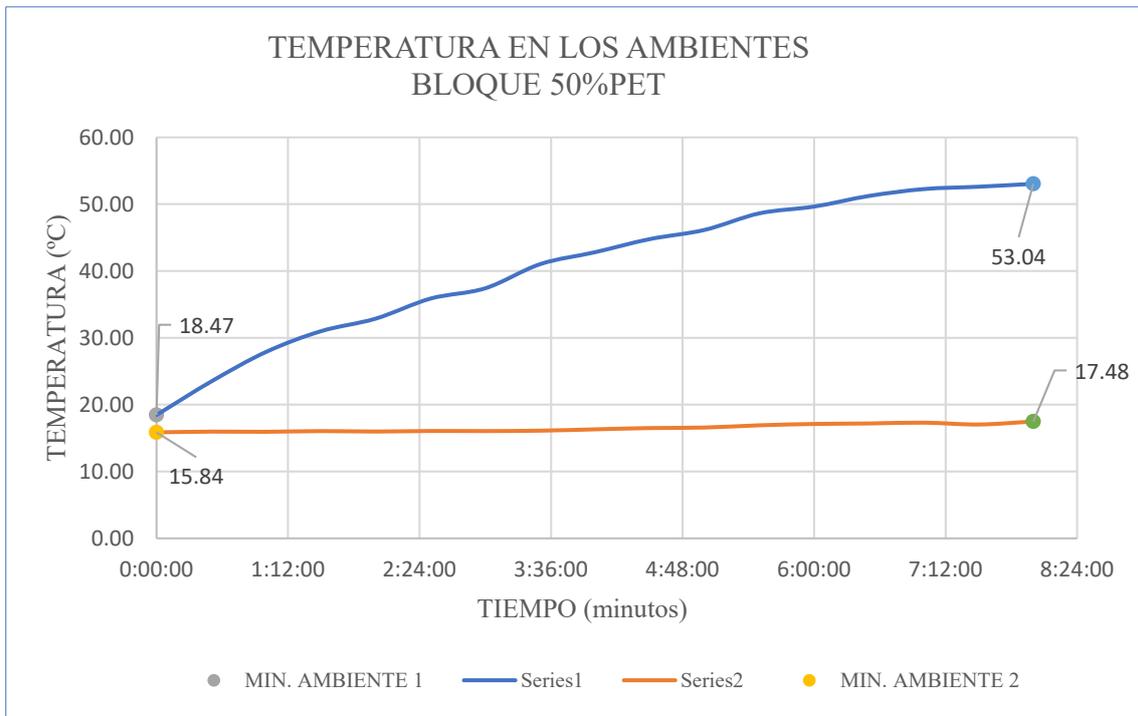
**Figura 6.24** Temperatura en caras de la pared de Bloque 25%PET, Fuente: Elaboración Propia



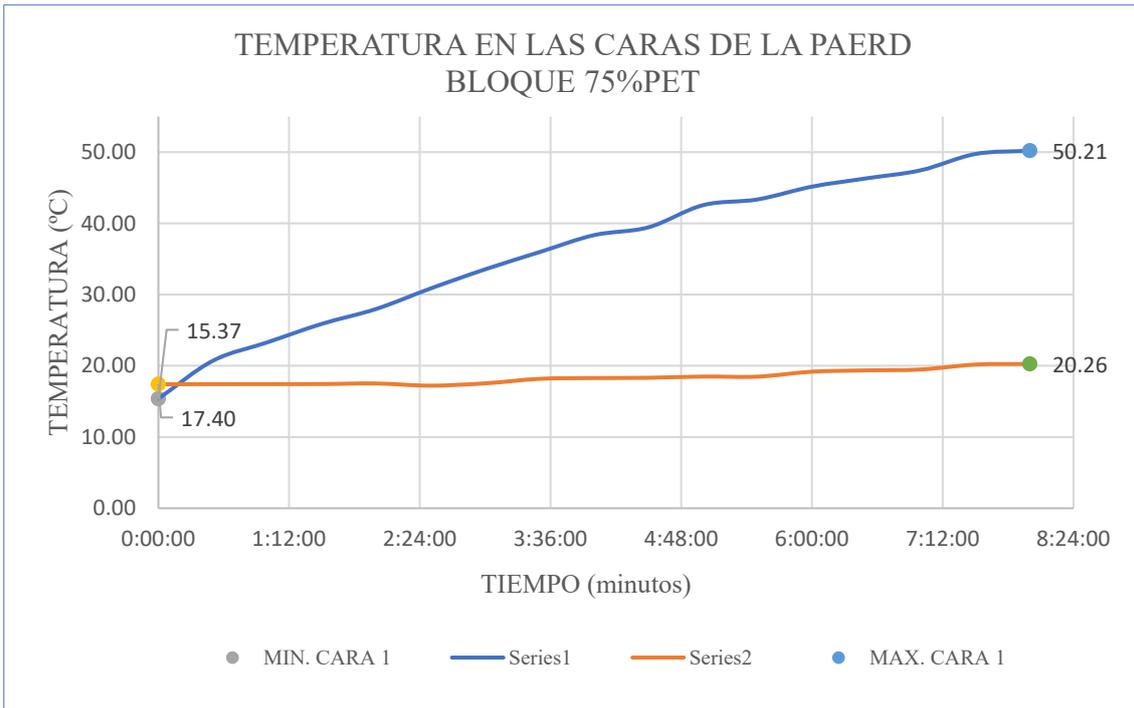
**Figura 6.25** Temperatura en ambientes de la pared de Bloque 25%PET, Fuente: Elaboración Propia



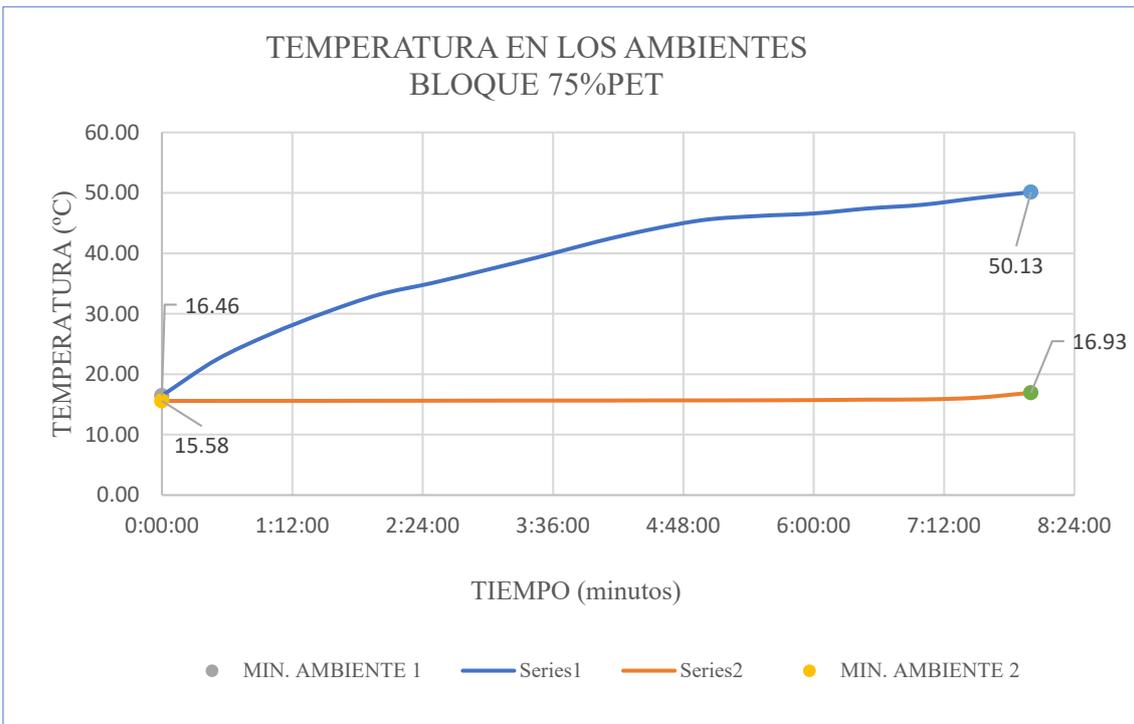
**Figura 6.26** Temperatura en caras de la pared de Bloque 50%PET, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 6.27** Temperatura en ambientes de la pared de Bloque 50%PET, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 6.28** Temperatura en caras de la pared de Bloque 75%PET, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 6.29** Temperatura en ambientes de la pared de Bloque 75%PET, Fuente: Elaboración Propia

Se han ensayado 5 paredes por porcentaje, cada una formada por 9 bloques, con un total de 25 ensayos obteniéndose los resultados mostrados en las Tablas 6.13 y 6.14.

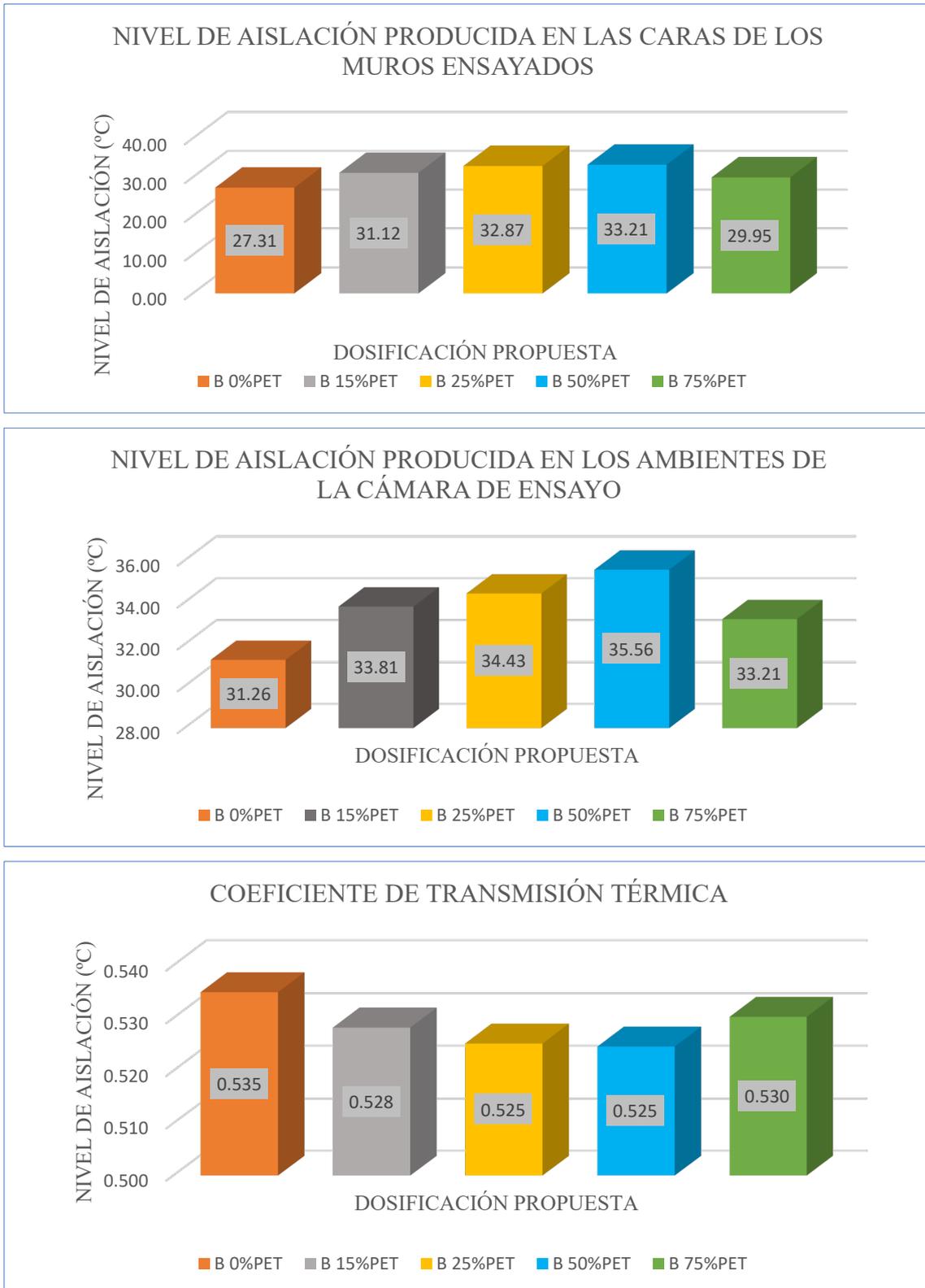
<b>PROMEDIO DE <math>\Delta T</math>(máx.) CARA PARED 1 Y 2 (°C)</b>					
<b>INEN 3066</b>	<b>0%</b>	<b>15%</b>	<b>25%</b>	<b>50%</b>	<b>75%</b>
27.30	27.31	31.12	32.87	33.21	29.95
<b>PROMEDIO DE <math>\Delta T</math>(máx.) AMBIENTE 1 Y 2 (°C)</b>					
<b>INEN 3066</b>	<b>0%</b>	<b>15%</b>	<b>25%</b>	<b>50%</b>	<b>75%</b>
31.27	31.26	33.81	34.43	35.56	33.21

**Tabla 6.13** Promedio de ensayos de paredes de Bloque + PET, Fuente: Elaboración Propia

<b>COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE PARED BLOQUE ALIVIANADOS MÁS PET</b>								
<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>	<b>INEN 3066</b>	<b>0%</b>	<b>15%</b>	<b>25%</b>	<b>50%</b>	<b>75%</b>	<b>Unidad</b>
$\varphi$	Flujo térmico	600	600	600	600	600	600	W
A	Área de la muestra	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	m <sup>2</sup>
$q = \varphi/A$	Densidad de flujo térmico	1071.43	1071.43	1071.43	1071.43	1071.43	1071.43	W/m <sup>2</sup>
	°k	273	273	273	273	273	273	°K
$\Delta T = t_f - t_i$	$\Delta T$ (max)+ 273	300.30	300.31	304.12	305.87	306.21	302.95	°k
e	Espesor muestra	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	m <sup>2</sup>
$\lambda = q/(\Delta T/e)$	<b>Coef. conductividad Térmica</b>	<b>0.535</b>	<b>0.535</b>	<b>0.528</b>	<b>0.525</b>	<b>0.525</b>	<b>0.530</b>	<b>w/m K</b>

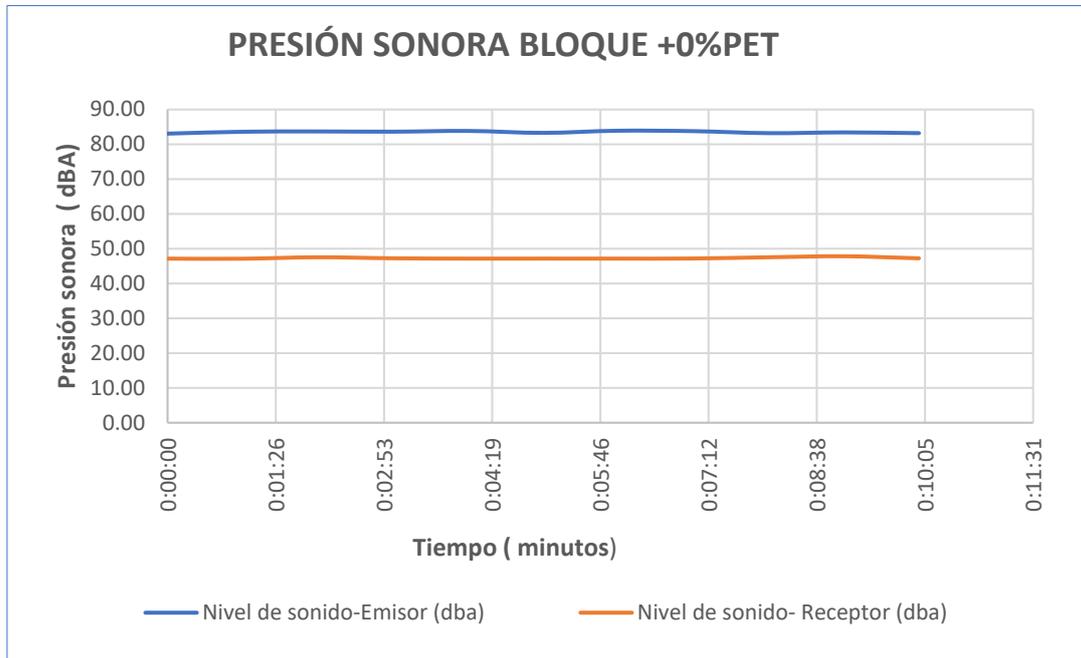
**Tabla 6.14** Coeficiente de conductividad térmica paredes de Bloque + PET, Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 6.30 se puede observar una comparativa de las variaciones térmicas entre los ambientes y las paredes de la cámara térmica con respecto a la composición de cada muro, así como del coeficiente de transmisión térmica obtenido para cada una de las dosificaciones de botellas plásticas PET.

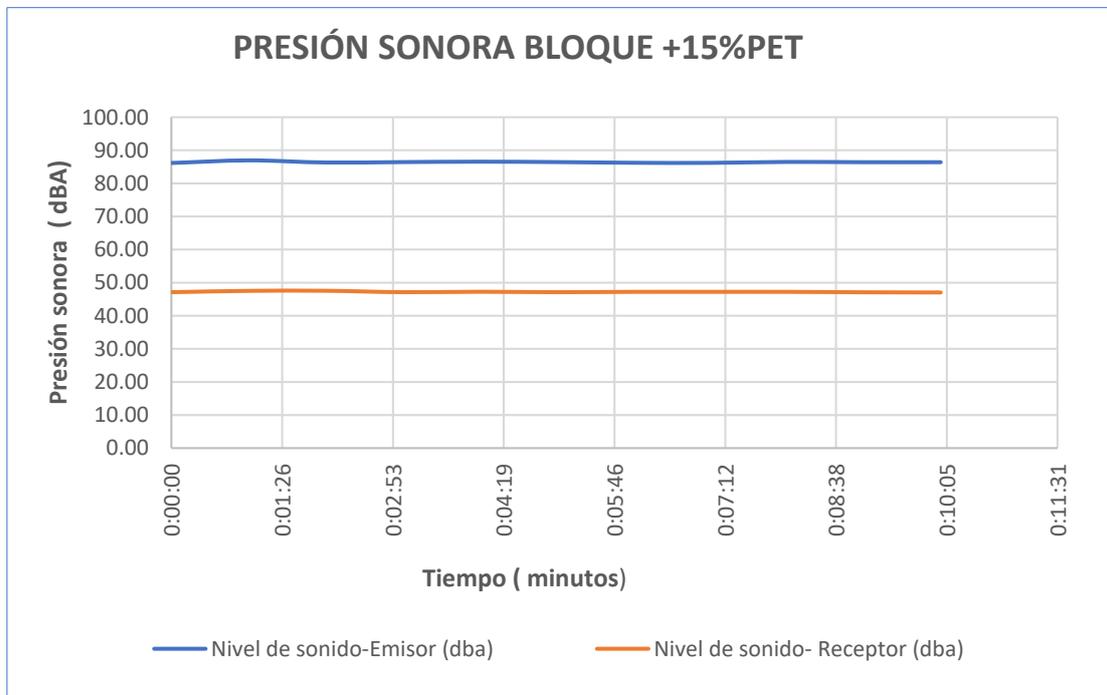


**Figura 6.30** Comparativa de los ensayos térmicos de paredes de bloques con adición de PET, Fuente: Elaboración Propia

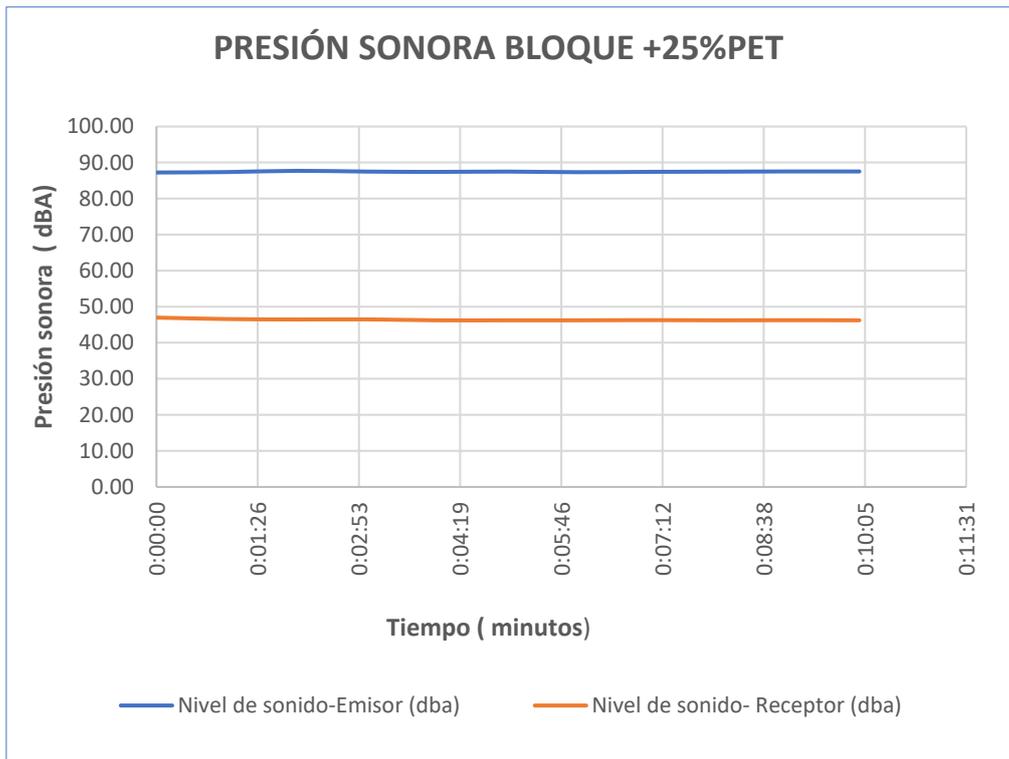
**6.2.3. Ensayos acústicos con bloques alivianados con botellas plásticas PET**



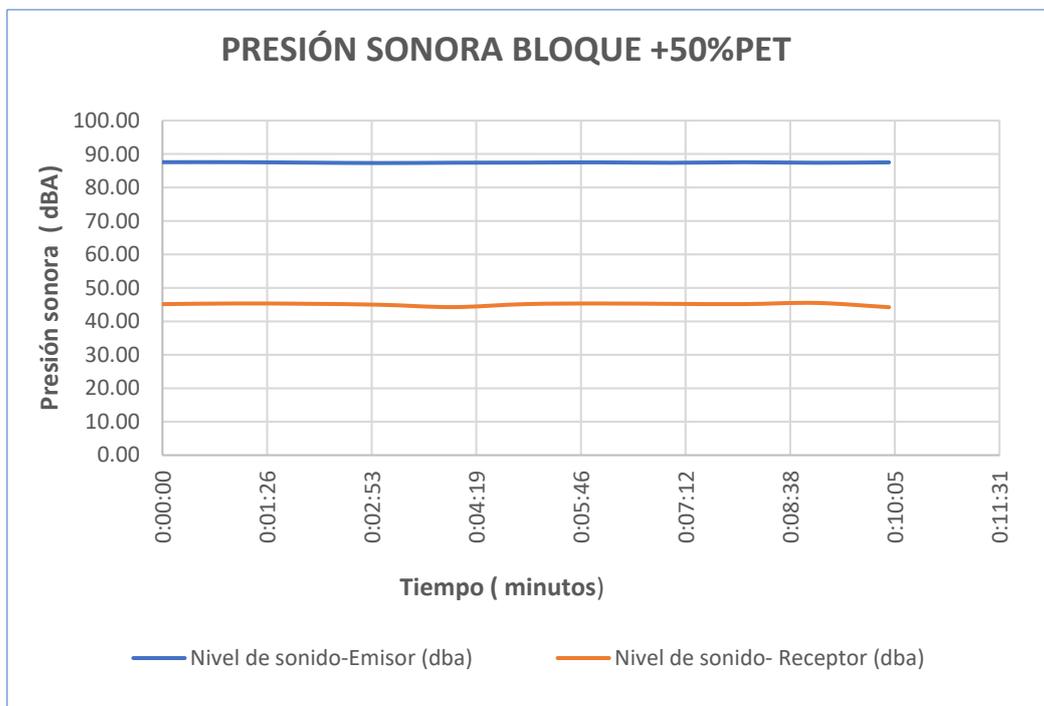
**Figura 6.31** Presión sonora ensayo pared de bloques con adición de 0% PET, Fuente: Elaboración Propia



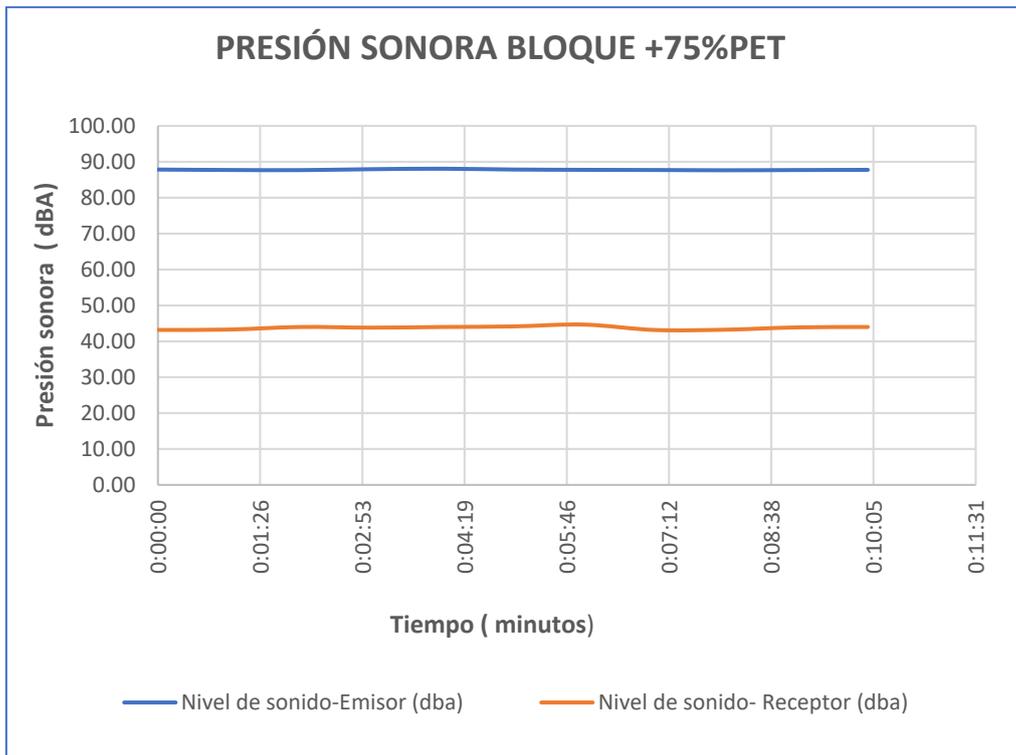
**Figura 6.32** Presión sonora ensayo pared de bloques con adición de 15% PET, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 6.33** Presión sonora ensayo pared de bloques con adición de 25% PET, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 6.34** Presión sonora ensayo pared de bloques con adición de 50% PET, Fuente: Elaboración Propia



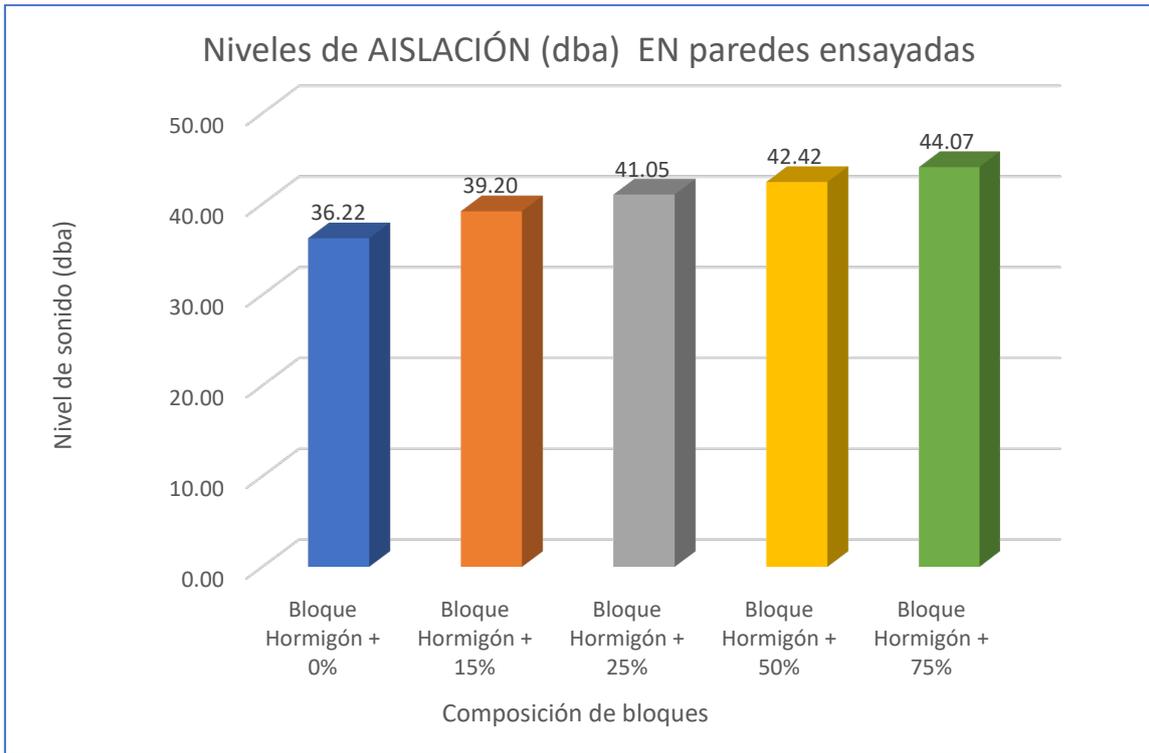
**Figura 6.35** Presión sonora ensayo pared de bloques con adición de 75% PET, Fuente: Elaboración Propia

Se han ensayado 5 paredes por porcentaje, cada una formada por 9 bloques, con un total de 25 ensayos obteniéndose los resultados de la Tabla 6.15.

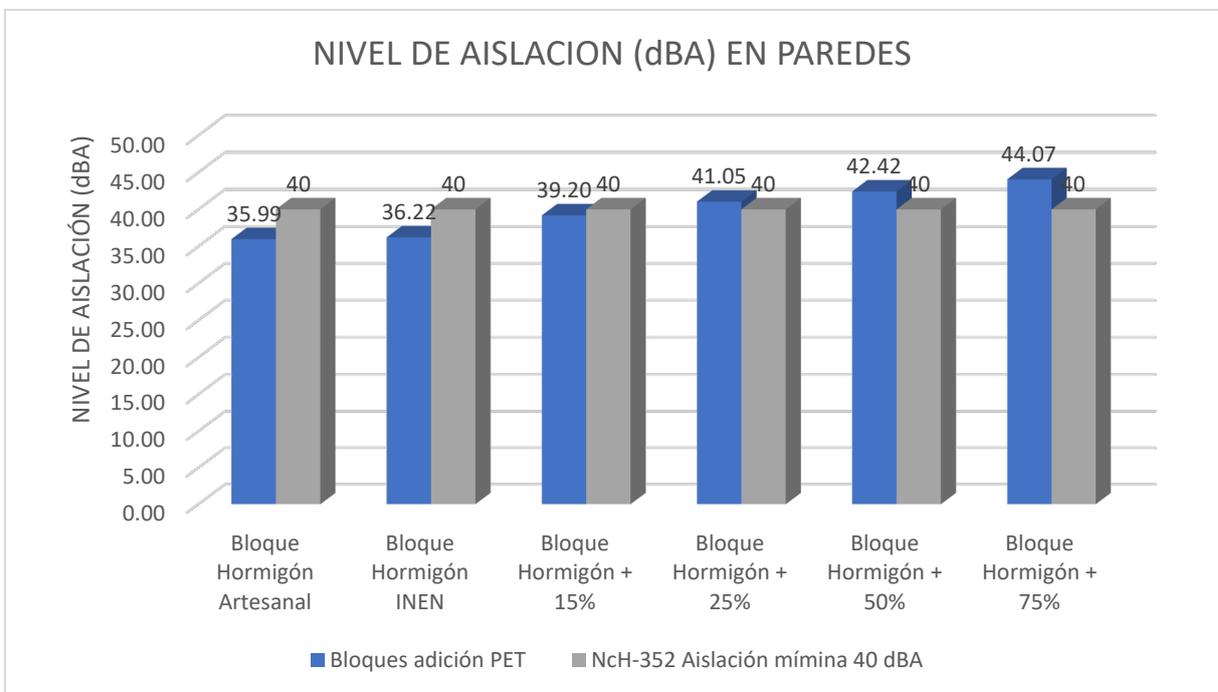
<b>RESULTADOS PROMEDIOS DE LOS ENSAYOS ACUSTICOS (dBA)</b>			
<b>%</b>	<b>PROMEDIO EMISOR</b>	<b>PROMEDIO RECEPTOR</b>	<b>DIFERENCIA PROMEDIO</b>
<b>INEN 3066</b>	83.51	47.29	36.22
<b>0%</b>	83.51	47.29	36.22
<b>15%</b>	86.43	47.24	39.20
<b>25%</b>	87.44	46.39	41.05
<b>50%</b>	87.46	45.04	42.42
<b>75%</b>	87.81	43.74	44.07

**Tabla 6.15** Presión sonora ensayo pared de bloques con adición de PET, Fuente: Elaboración Propia

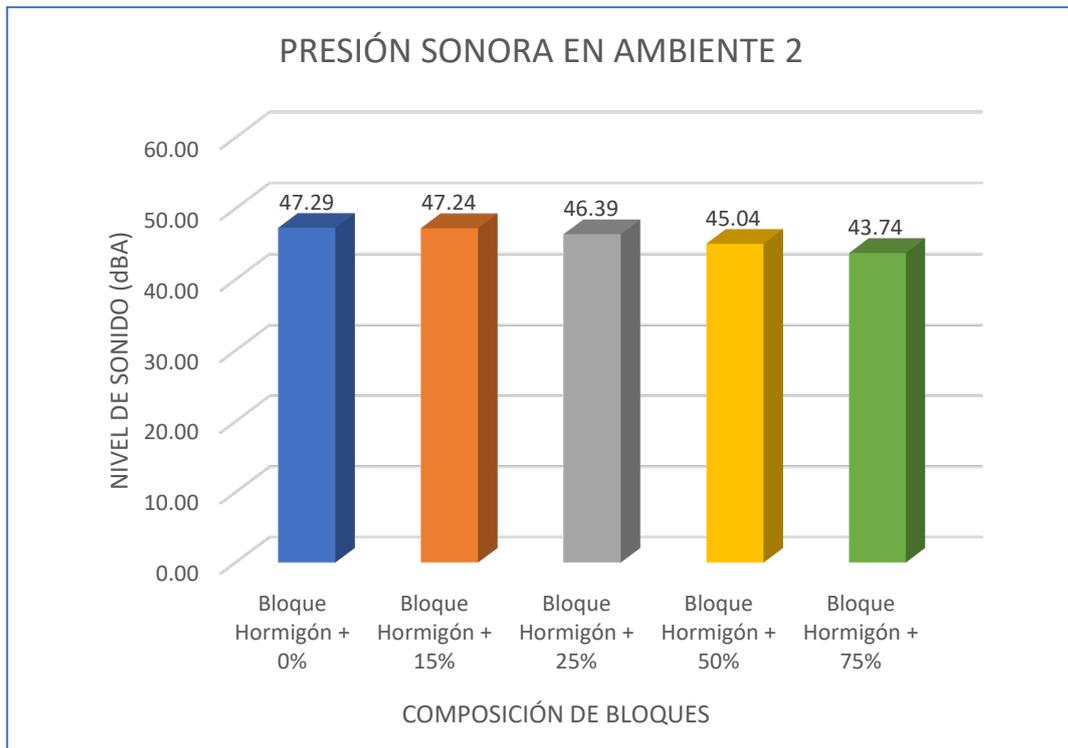
En las Figuras 6.36 a 6.39 se puede observar una comparación de los niveles de aislamiento en los ambientes de la cámara acústica con respecto a la composición de cada muro y las normas NCh y NEC.



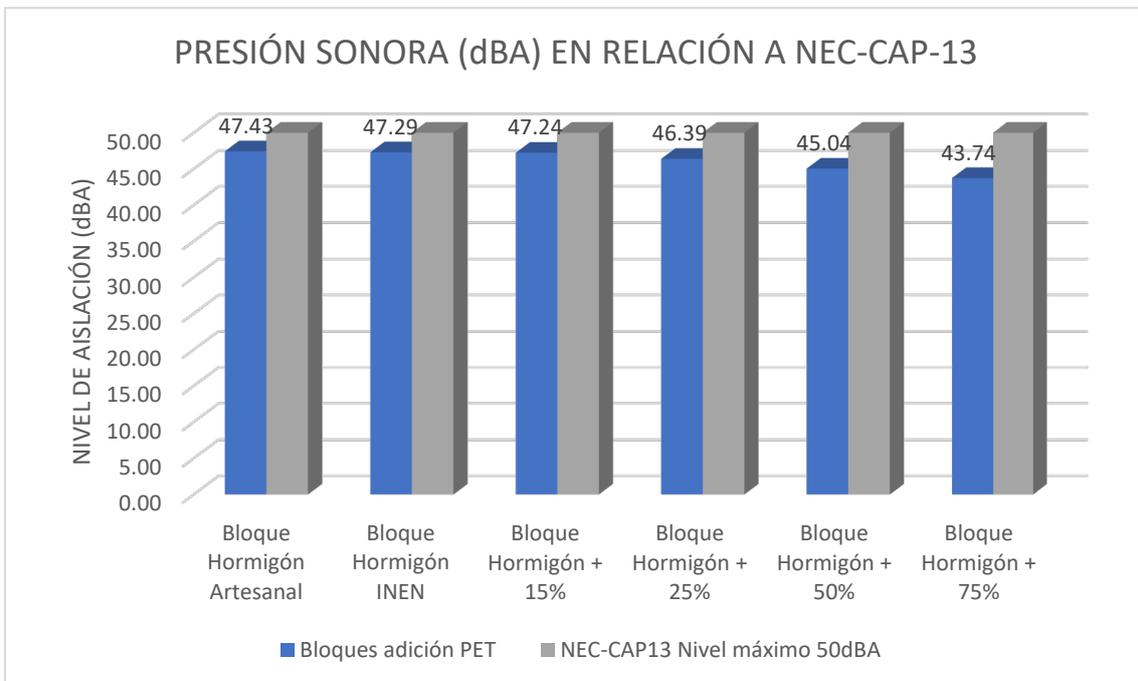
**Figura 6.36** Niveles de aislación en paredes de Bloque con adición de PET, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 6.37** Niveles de aislación, comparación NCh-352 paredes de Bloque con adición de PET, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 6.38** Presión sonora ambiente 2, paredes de bloques con adición de PET,  
Fuente: Elaboración Propia



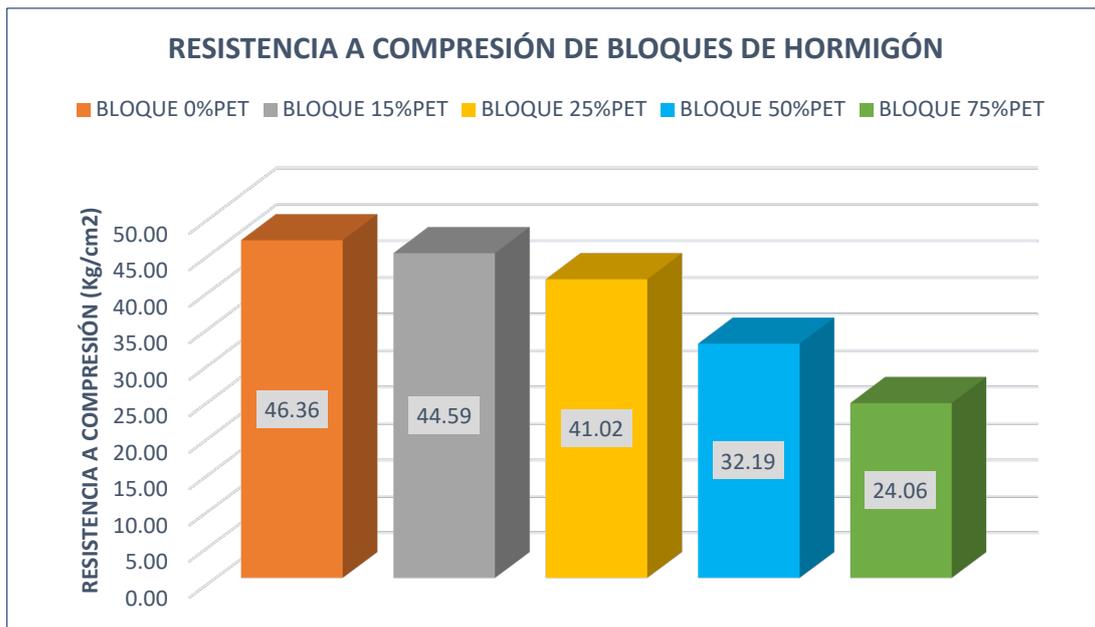
**Figura 6.39** Comparación de presión sonora de paredes de Bloque con adición de PET,  
Fuente: Elaboración Propia

#### 6.2.4. Ensayos de compresión con bloques alivianados con botellas plásticas PET

La resistencia promedio que se muestra en la Tabla 6.16 y en la Figura 6.40 ha sido obtenida como el promedio total de los 57 bloques que han sido ensayados para cada una de las dosificaciones.

<b>COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE BLOQUES DE HORMIGÓN</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RESISTENCIA</b>	<b>UNIDAD</b>
BLOQUE 0%PET	46.36	kg/cm <sup>2</sup>
BLOQUE 15%PET	44.59	kg/cm <sup>2</sup>
BLOQUE 25%PET	41.02	kg/cm <sup>2</sup>
BLOQUE 50%PET	32.19	kg/cm <sup>2</sup>
BLOQUE 75%PET	24.06	kg/cm <sup>2</sup>

**Tabla 6.16** Comparación de resultados ensayos a compresión de bloques con adición de PET, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 6.40** Comparación de los resultados de paredes de bloques con adición de PET, Fuente: Elaboración Propia

### **6.3. BLOQUES ALIVIANADOS CON ADICIÓN DE BOLSAS DE PLÁSTICO TBP**

Las Tablas 6.17 a 6.20 presentan las dosificaciones para los bloques alivianados con adición de bolsas plásticas. Los porcentajes de adición han sido del 15, 25, 50 y 75%. Los ensayos térmicos llevados a cabo se presentan en las Figuras 6.41 a 6.51 y en las Tablas 6.21 y 6.22, distinguiendo en función del porcentaje de adición. Por otro lado, los resultados de los ensayos acústicos se recogen en las Figuras 6.52 a 6.58 y en la Tabla 6.23. Mientras que en la Figura 6.59 y en la Tabla 6.24 se muestran los resultados correspondientes al ensayo de compresión.

## 6.3.1. Dosificación de mezclas de bloques alivianados con bolsas de plástico TBP

CANTIDAD DE MATERIAL PARA BLOQUES CON 15 % DE TRITURADO DE BOLSAS PLÁSTICAS													
<b>Volumen Bloque:</b>		0.00675		m3	<b>Volumen total:</b>		0.70875		m3	<b>Sustitución:</b>		15%	T.B.P
<b>Cantidad Bloques:</b>		102		u	<b>Desperdicio:</b>		3		u				
<i>Materia</i>	<i>Cantidad en Kg para 1 m3 de hormigón</i>	<i>Dosificación al peso kg</i>	<i>Cantidad a mezclar Kg</i>	<i>Densidad aparente suelta Kg/dm3</i>	<i>Volumen en dm3</i>	<i>Volumen con 15 % T.B.P dm3</i>	<i>Cantidad con 15 % T.B.P Kg</i>	<i>Corrección por humedad</i>				<i>Cantidad a mezclar Kg</i>	
								<i>C.A %</i>	<i>C.H %</i>	<i>C.A % - C.H %</i>	<i>Peso en Kg</i>		
W	150.62	0.69	36.21				36.21					0.03	36.25
C	218.29	1.00	22.10				22.10						22.10
A	742.07	3.40	66.19	0.81	81.49	81.49	66.19						66.19
R	396.18	1.81	28.09	0.60	47.15	40.08	23.88						23.88
T.B.P	-	-	-	0.38		7.07	2.69	2.08	0.83	1.25		0.03	2.65

Tabla 6.17 Dosificación para la elaboración de bloques con adición de 15%TBP, Fuente: Elaboración Propia.

<b>CANTIDAD DE MATERIAL PARA BLOQUES CON 25 % DE TRITURADO DE BOLSAS PLÁSTICAS</b>													
<b>Volumen Bloque:</b>		0.00675		m3	<b>Volumen total:</b>		0.70875		m3	<b>Sustitución:</b>	25%	T.B.P	
<b>Cantidad Bloques:</b>		102		u	<b>Desperdicio:</b>		3		u				
<b>Material</b>	<b>Cantidad en Kg para 1 m3 de hormigón</b>	<b>Dosificación al peso kg</b>	<b>Cantidad a mezclar Kg</b>	<b>Densidad aparente suelta Kg/dm3</b>	<b>Volumen en dm3</b>	<b>Volumen con 15 % T.B.P dm3</b>	<b>Cantidad con 15 % T.B.P Kg</b>	<b>Corrección por humedad</b>				<b>Cantidad a mezclar Kg</b>	
								<b>C.A %</b>	<b>C.H %</b>	<b>C.A % - C.H %</b>	<b>Peso en Kg</b>		
W	150.62	0.69	36.21				36.21				0.06	36.27	
C	218.29	1.00	22.10				22.10					22.10	
A	742.07	3.40	66.19	0.81	81.49	81.49	66.19					66.19	
R	396.18	1.81	28.09	0.60	47.15	35.37	21.07					21.07	
T.B.P	-	-	-	0.38		11.79	4.46	2.08	0.83	1.25	0.06	4.40	

**Tabla 6.18** Dosificación para la elaboración de bloques con adición de 25%TBP, Fuente: Elaboración Propia.

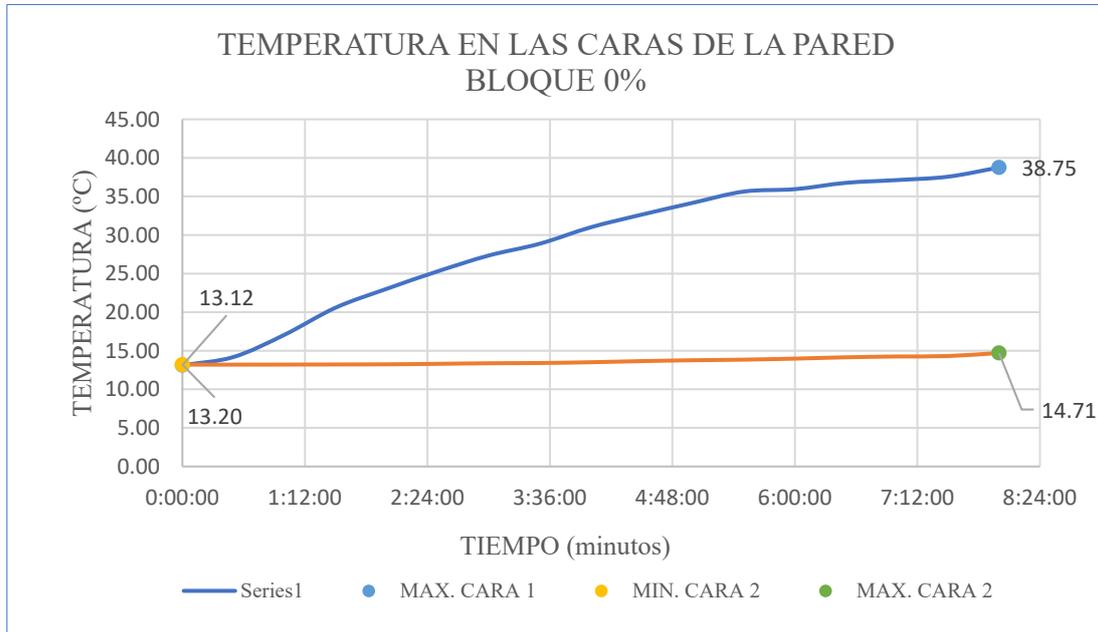
<b>CANTIDAD DE MATERIAL PARA BLOQUES CON 50 % DE TRITURADO DE BOLSAS PLÁSTICAS</b>														
<b>Volumen Bloque:</b>		0.00675		m3		<b>Volumen total:</b>		0.70875		m3		<b>Sustitución:</b>	50%	T.B.P
<b>Cantidad Bloques:</b>		102		u		<b>Desperdicio:</b>		3		u				
<b>Material</b>	<b>Cantidad en Kg para 1 m3 de hormigón</b>	<b>Dosificación al peso kg</b>	<b>Cantidad a mezclar Kg</b>	<b>Densidad aparente suelta Kg/dm3</b>	<b>Volumen en dm3</b>	<b>Volumen con 15 % T.B.P dm3</b>	<b>Cantidad con 15 % T.B.P Kg</b>	<b>Corrección por humedad</b>				<b>Cantidad a mezclar Kg</b>		
								<b>C.A %</b>	<b>C.H %</b>	<b>C.A % - C.H %</b>	<b>Peso en Kg</b>			
W	150.62	0.69	36.21				36.21					0.11	36.32	
C	218.29	1.00	22.10				22.10						22.10	
A	742.07	3.40	66.19	0.81	81.49	81.49	66.19						66.19	
R	396.18	1.81	28.09	0.60	47.15	23.58	14.05						14.05	
T.B.P	-	-	-	0.38		23.58	8.92	2.08	0.83	1.25		0.11	8.80	

**Tabla 6.19** Dosificación para la elaboración de bloques con adición de 50%TBP, Fuente: Elaboración Propia.

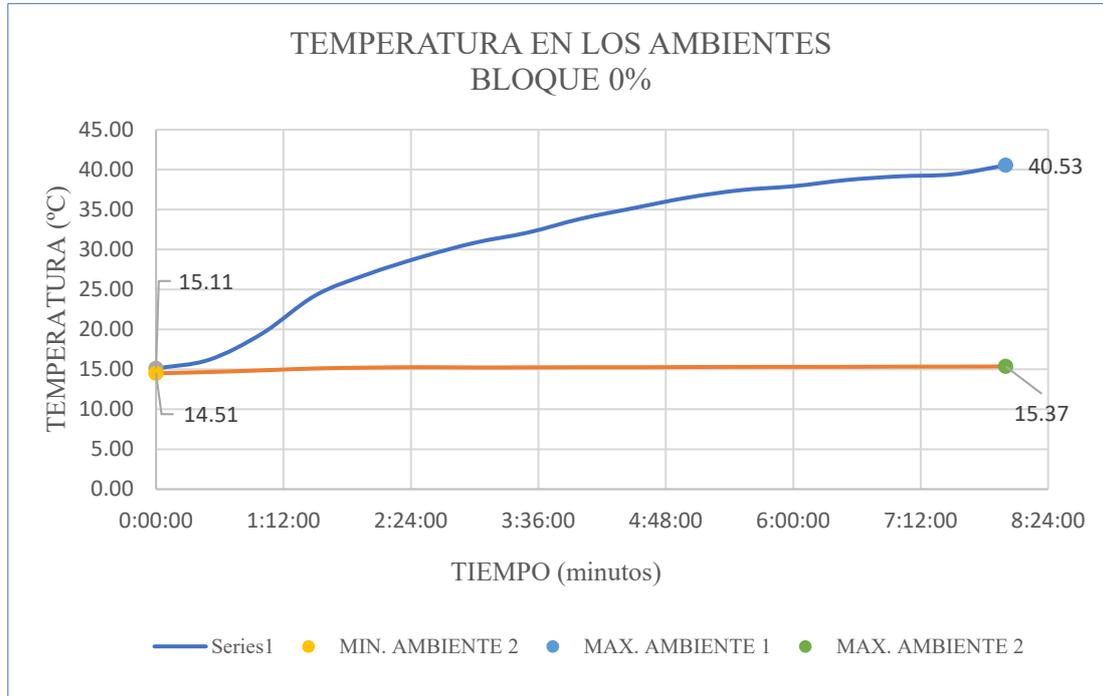
<b>CANTIDAD DE MATERIAL PARA BLOQUES CON 75 % DE TRITURADO DE BOLSAS PLÁSTICAS</b>														
<b>Volumen Bloque:</b>		0.00675		m3		<b>Volumen total:</b>		0.70875		m3		<b>Sustitución:</b>	75%	T.B.P
<b>Cantidad Bloques:</b>		102		u		<b>Desperdicio:</b>		3		u				
<b>Material</b>	<b>Cantidad en Kg para 1 m3 de hormigón</b>	<b>Dosificación al peso kg</b>	<b>Cantidad a mezclar Kg</b>	<b>Densidad aparente suelta Kg/dm3</b>	<b>Volumen en dm3</b>	<b>Volumen con 15 % T.B.P dm3</b>	<b>Cantidad con 15 % T.B.P Kg</b>	<b>Corrección por humedad</b>				<b>Cantidad a mezclar Kg</b>		
								<b>C.A %</b>	<b>C.H %</b>	<b>C.A % - C.H %</b>	<b>Peso en Kg</b>			
W	150.62	0.69	36.21				36.21					0.17	36.38	
C	218.29	1.00	22.10				22.10						22.10	
A	742.07	3.40	66.19	0.81	81.49	81.49	66.19						66.19	
R	396.18	1.81	28.09	0.60	47.15	11.79	7.02						7.02	
T.B.P	-	-	-	0.38		35.37	13.37	2.08	0.83	1.25		0.17	13.21	

**Tabla 6.20** Dosificación para la elaboración de bloques con adición de 75%TBP, Fuente: Elaboración Propia.

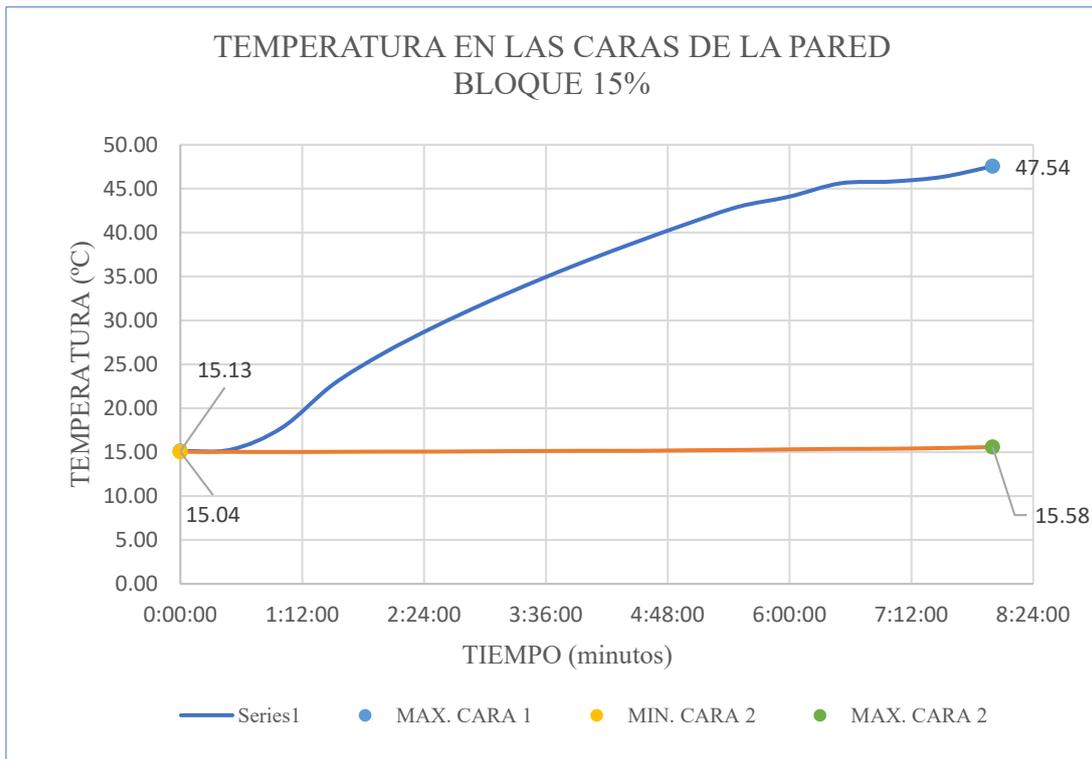
**6.3.2. Ensayos térmicos con bloques alivianados con bolsas plásticas TBP**



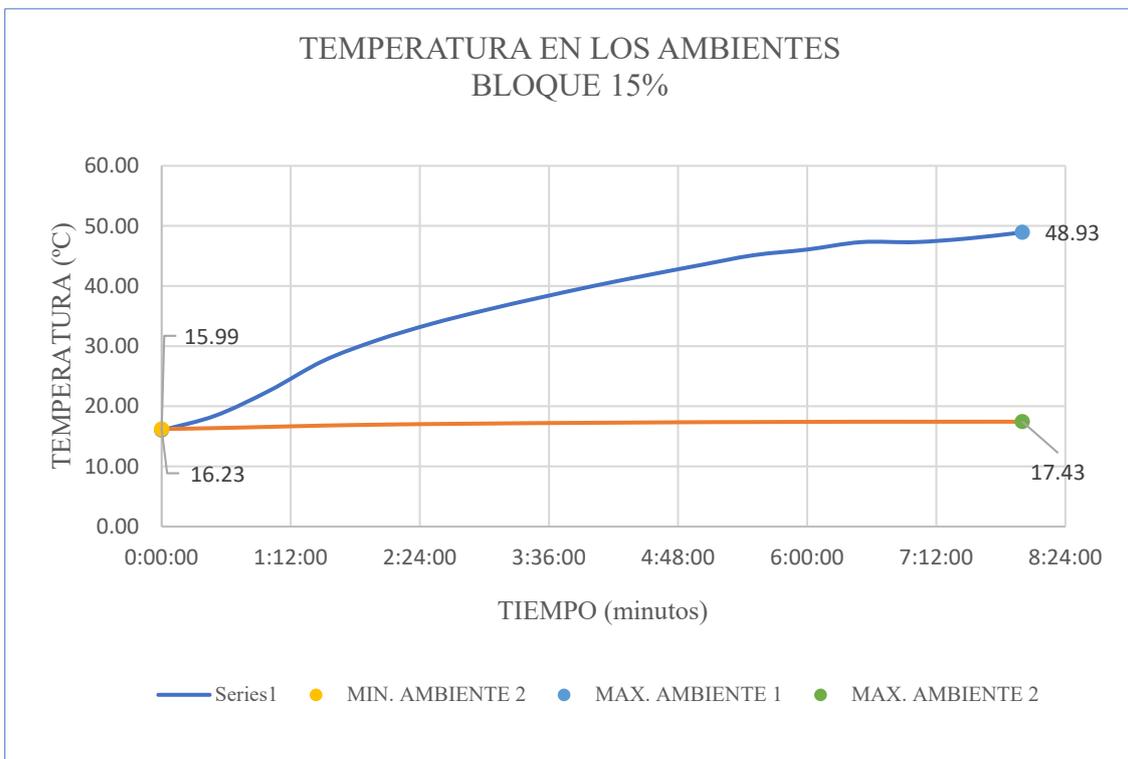
**Figura 6.41** Temperatura en las caras de la pared de bloques alivianados más 0% TBP, Fuente: Elaboración Propia.



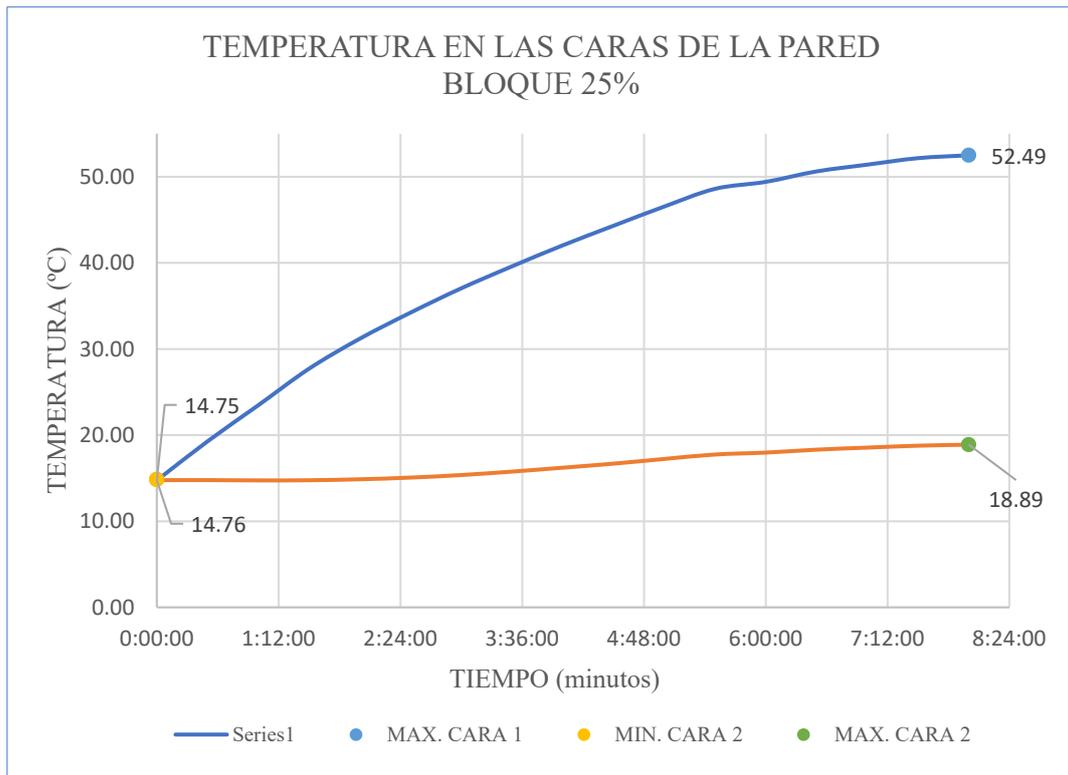
**Figura 6.42** Temperatura en los ambientes de la pared de bloques alivianados más 0% TBP, Fuente: Elaboración Propia.



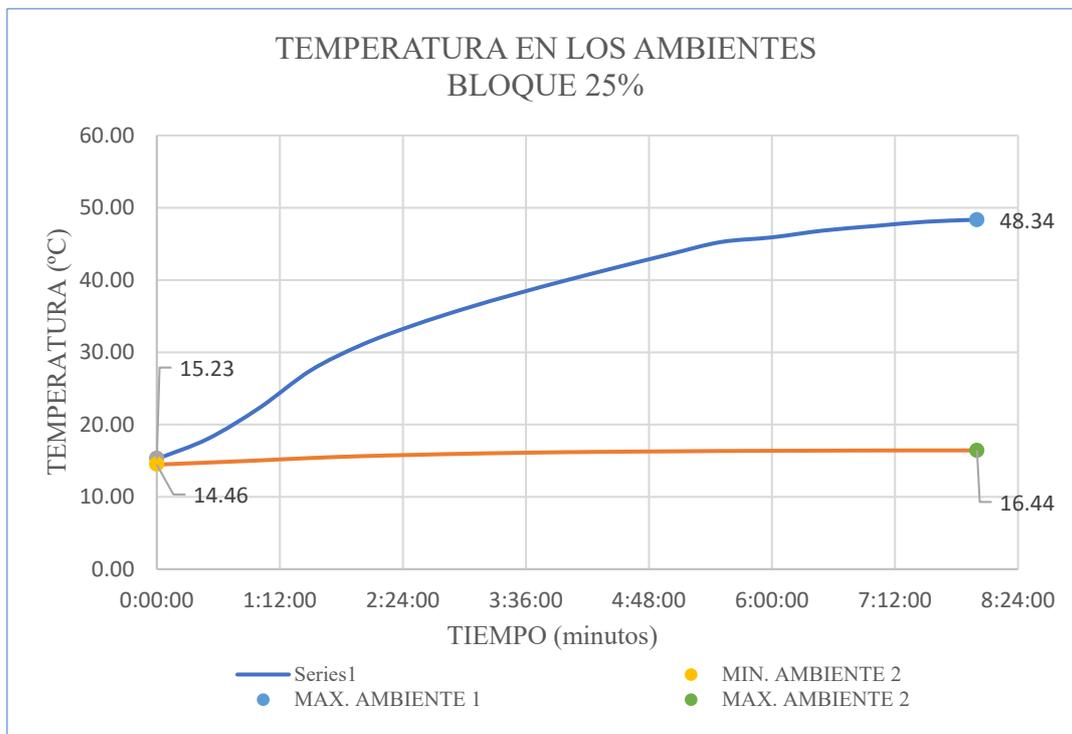
**Figura 6.43** Temperatura en las caras de la pared de bloques alivianados más 15% TBP, Fuente: Elaboración Propia.



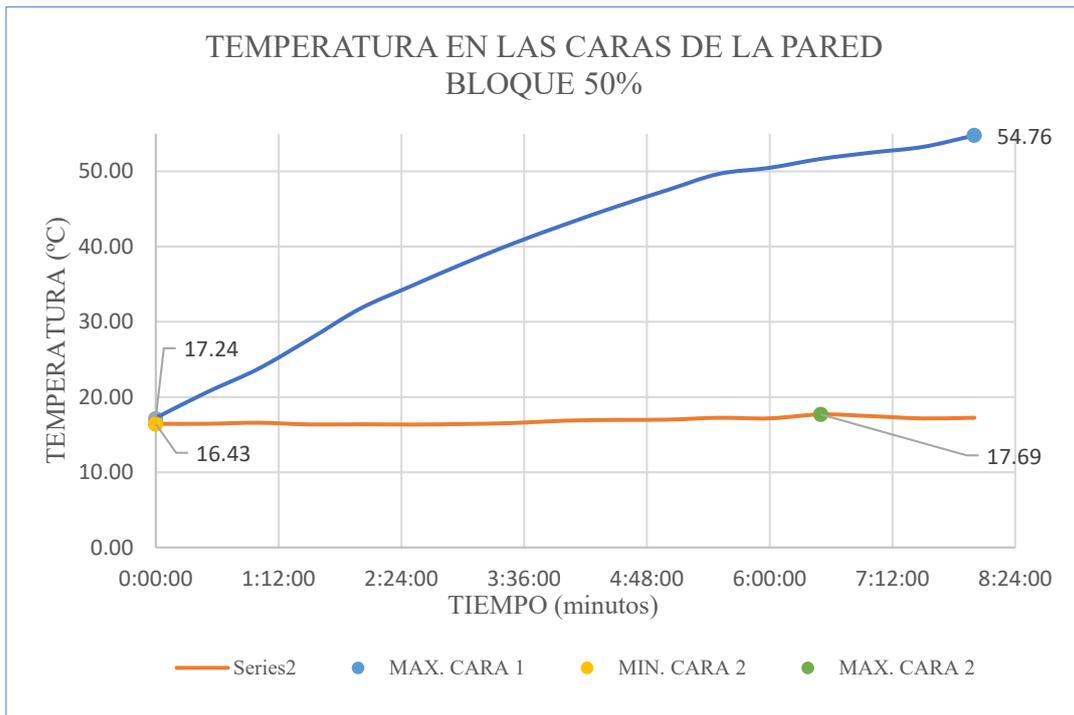
**Figura 6.44** Temperatura en los ambientes de la pared de bloques alivianados más 15% TBP, Fuente: Elaboración Propia.



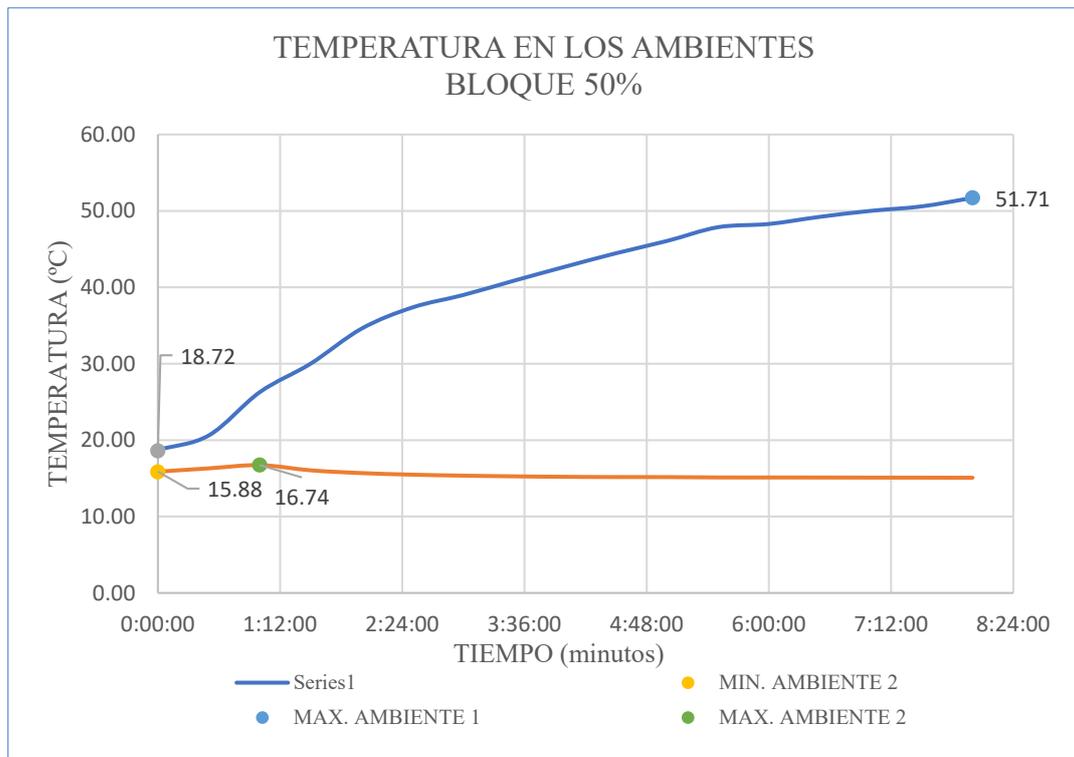
**Figura 6.45** Temperatura en las caras de la pared de bloques alivianados más 25% TBP, Fuente: Elaboración Propia.



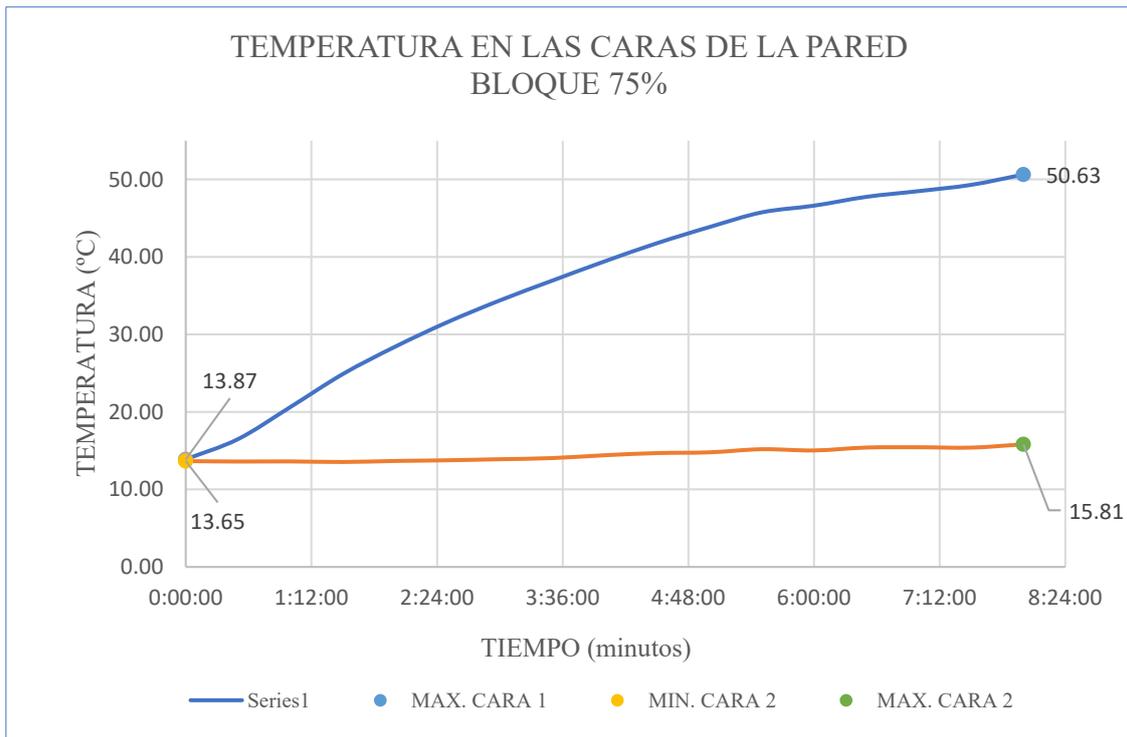
**Figura 6.46** Temperatura en los ambientes de la pared de bloques alivianados más 25% TBP, Fuente: Elaboración Propia.



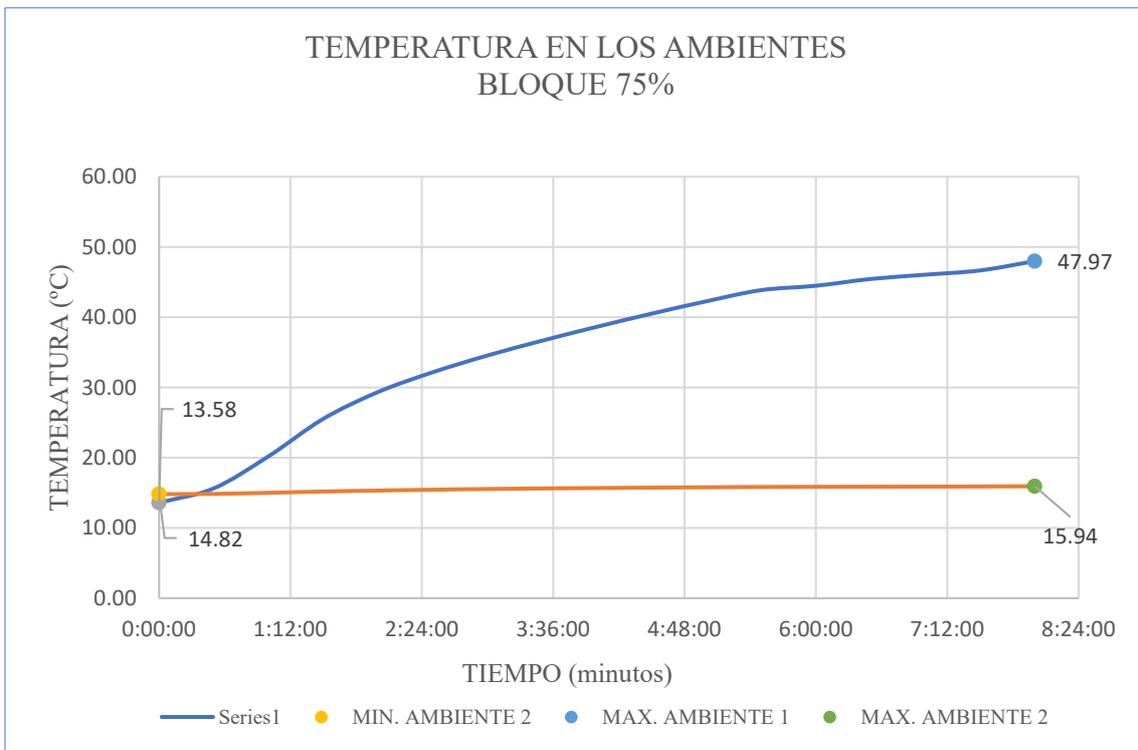
**Figura 6.47** Temperatura en las caras de la pared de bloques alivianados más 50% TBP, Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 6.48** Temperatura en los ambientes de la pared de bloques alivianados más 50% TBP, Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 6.49** Temperatura en las caras de la pared de bloques alivianados más 75% TBP, Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 6.50** Temperatura en los ambientes de la pared de bloques alivianados más 75% TBP, Fuente: Elaboración Propia.

Se han ensayado 5 paredes por porcentaje, cada una formada por 9 bloques, con un total de 25 ensayos. Los resultados se muestran en las Tablas 6.21 y 6.22.

<b>PROMEDIO DE <math>\Delta T</math>(máx.) CARA PARED 1 Y 2 (°C)</b>					
<i>INEN 3066</i>	<i>0%</i>	<i>15%</i>	<i>25%</i>	<i>50%</i>	<i>75%</i>
27.30	24.04	31.96	33.65	36.99	34.82
<b>PROMEDIO DE <math>\Delta T</math>(máx.) AMBIENTE 1 Y 2</b>					
<i>INEN 3066</i>	<i>0%</i>	<i>15%</i>	<i>25%</i>	<i>50%</i>	<i>75%</i>
31.27	25.16	31.50	31.93	34.89	32.03

**Tabla 6.21** Promedio de ensayos de paredes de bloques alivianados más TBP, Fuente:

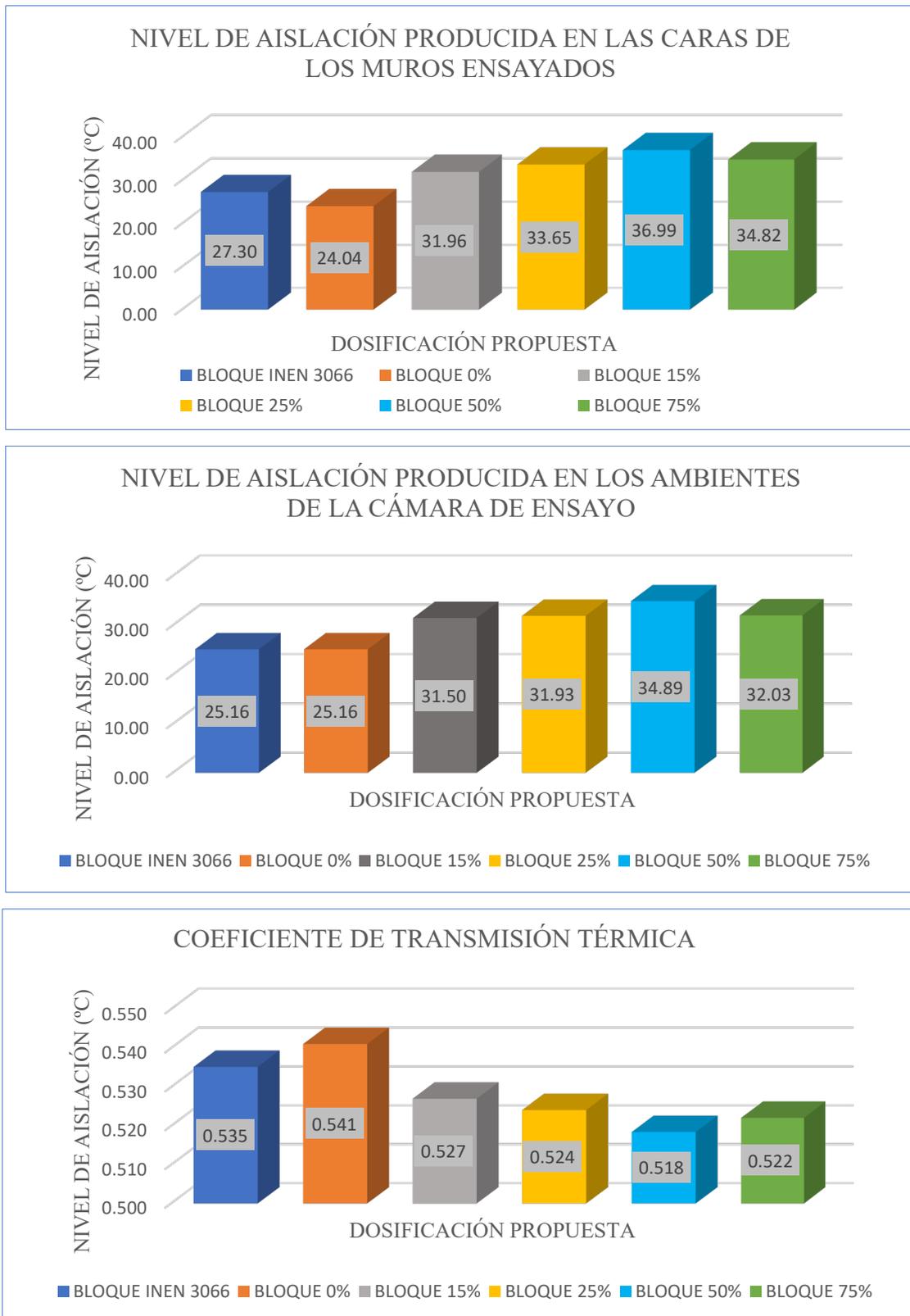
Elaboración Propia

<b>COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE PARED BLOQUE ALIVIANADOS MÁS TRITURADO DE BOLSAS PLÁSTICAS TBP</b>								
<i>Símbolo</i>	<i>Descripción</i>	<i>INEN 3066</i>	<i>0%</i>	<i>15%</i>	<i>25%</i>	<i>50%</i>	<i>75%</i>	<i>Unidad</i>
$\phi$	Flujo térmico	600	600	600	600	600	600	W
A	Área de la muestra	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	m <sup>2</sup>
$q = \phi/A$	Densidad de flujo térmico	1071.43	1071.43	1071.43	1071.43	1071.43	1071.43	W/m <sup>2</sup>
	°k	273.00	273.00	273.00	273.00	273.00	273.00	°K
$\Delta T = t_f - t_i$	$\Delta T$ (máx.) + 273	300.30	297.04	304.96	306.65	309.99	307.82	°k
e	Espesor muestra	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	m <sup>2</sup>
$\lambda = q/(\Delta T/e)$	<b>Coef. conductividad Térmica</b>	0.535	0.541	0.527	0.524	0.518	0.522	<b>W/m K</b>

**Tabla 6.22** Coeficiente de conductividad térmica bloques de hormigón más TBP,

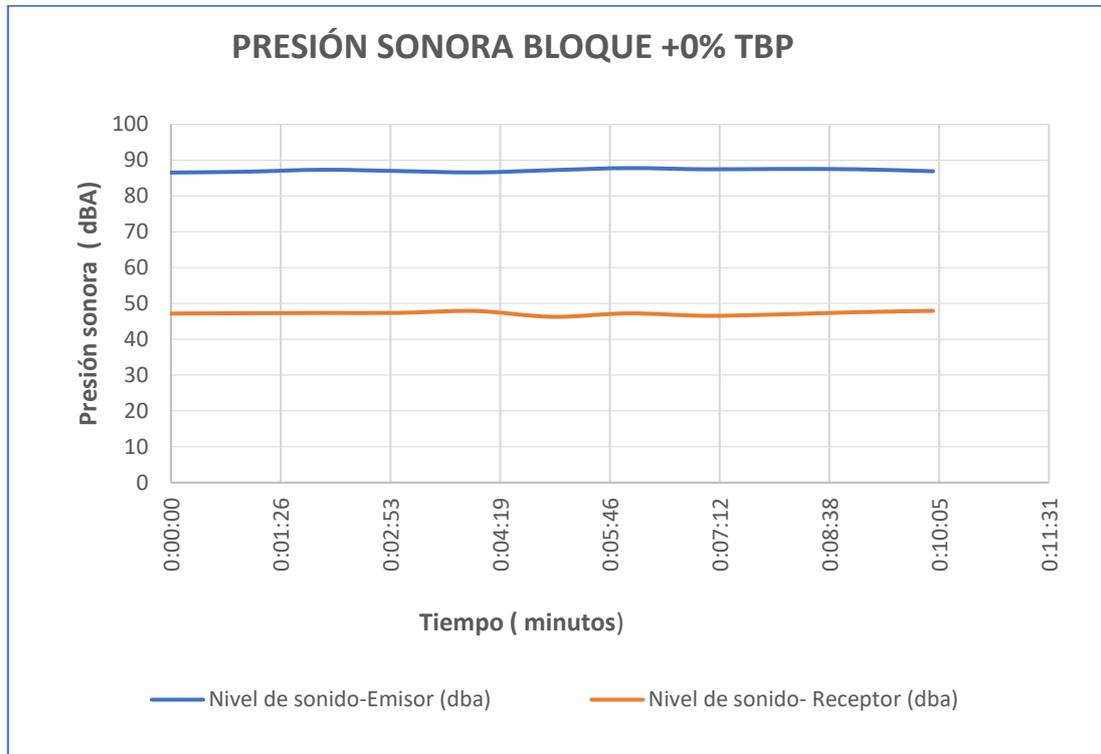
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 6.51 se puede observar una comparativa de las variaciones térmicas entre los ambientes y las paredes de la cámara térmica con respecto a la composición de cada muro, así como del coeficiente de transmisión térmica obtenido para cada una de las dosificaciones de bolsas plásticas.

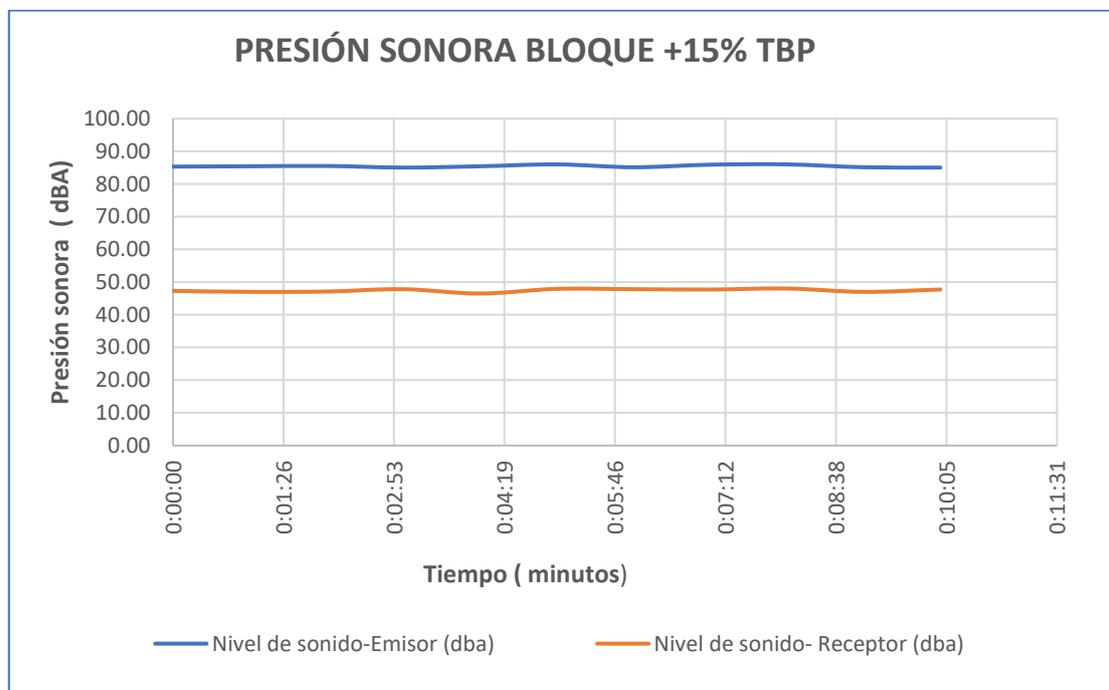


**Figura 6.51** Comparativa de los ensayos térmicos de paredes de adobe con adici3n de TBP, Fuente: Elaboraci3n Propia

**6.3.3. Ensayos acústicos con bloques alivianados con bolsas plásticas TBP**



**Figura 6.52** Presión sonora bloque hormigón más 0% TBP, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 6.53** Presión sonora bloque hormigón más 15% TBP, Fuente: Elaboración Propia

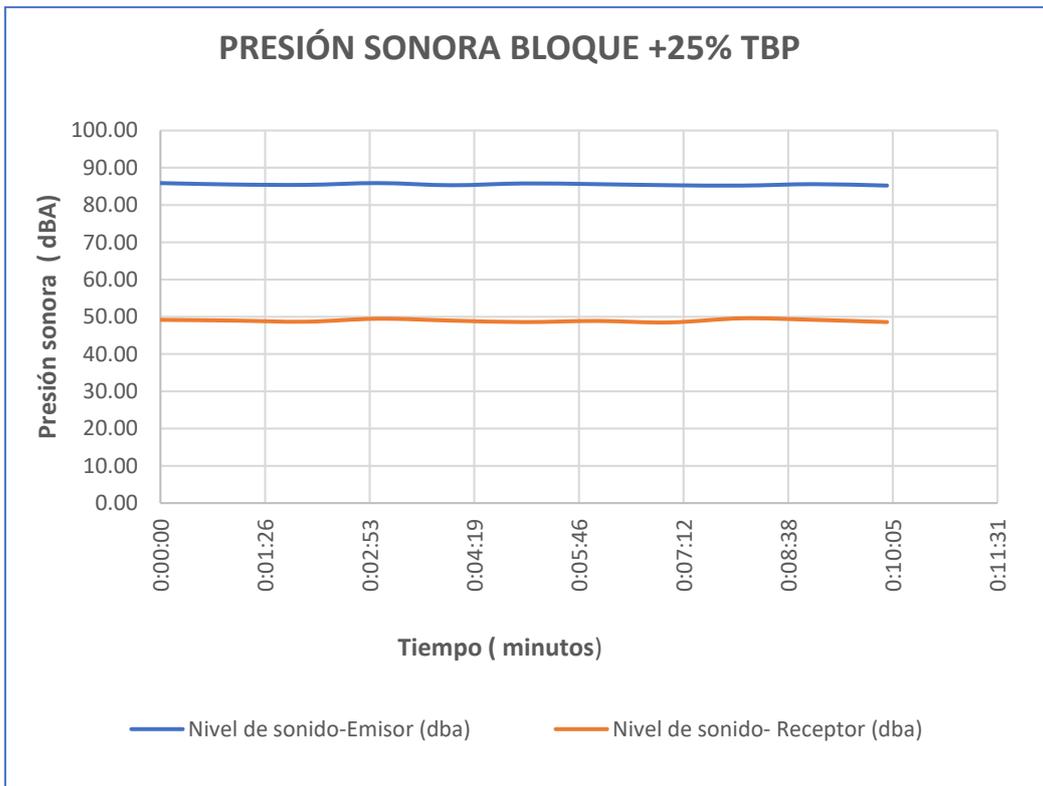


Figura 6.54 Presión sonora bloque hormigón más 25% TBP, Fuente: Elaboración Propia

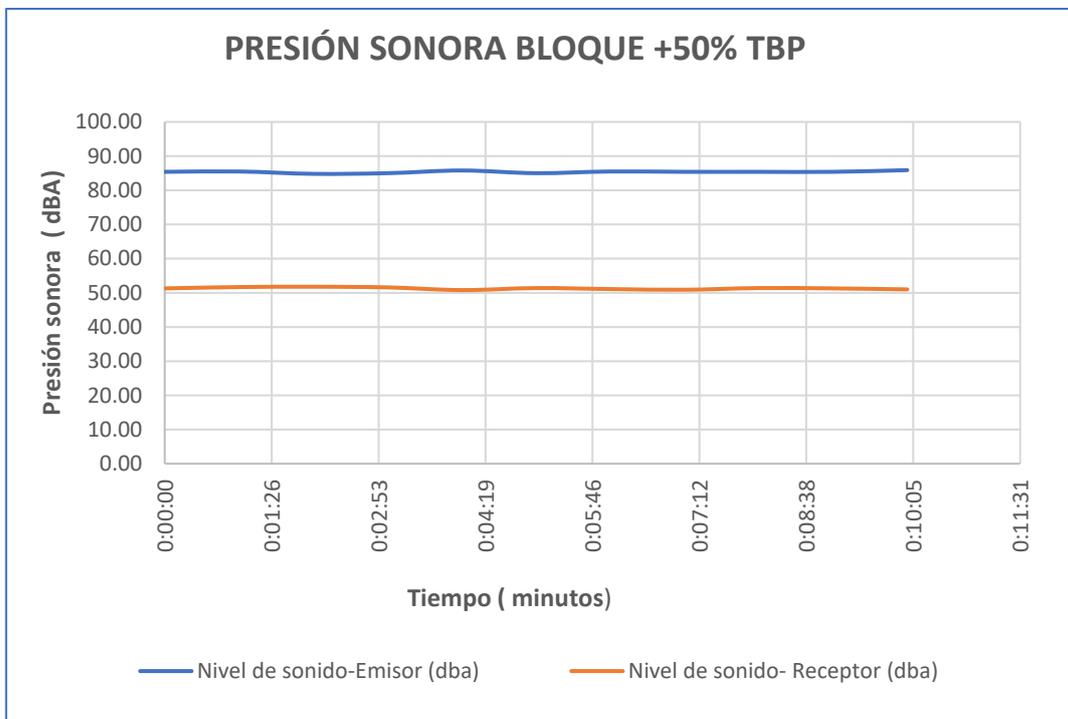
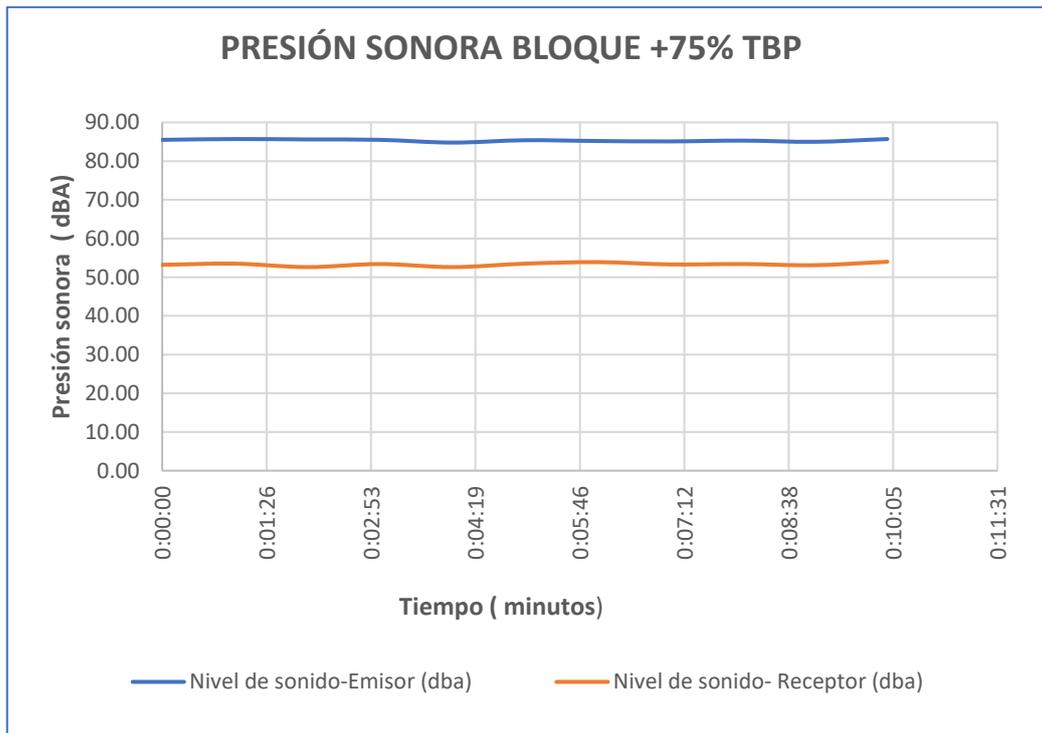


Figura 6.55 Presión sonora bloque hormigón más 50% TBP, Fuente: Elaboración Propia



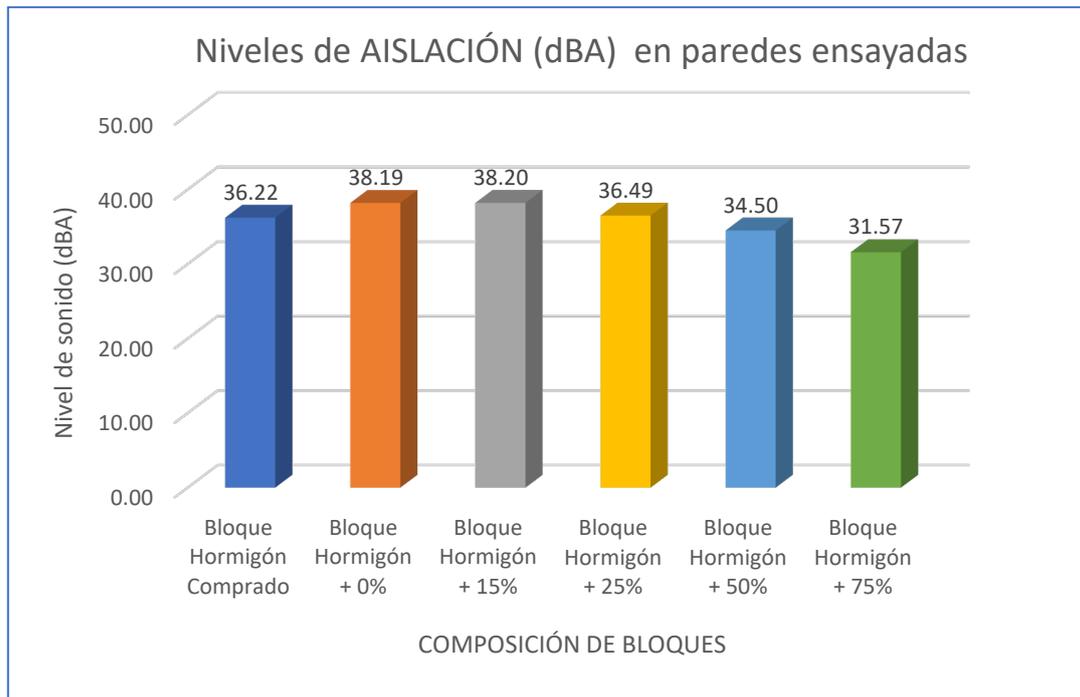
**Figura 6.56** Presión sonora bloque hormigón más 75% TBP, Fuente: Elaboración Propia

Se han ensayado 5 paredes por porcentaje, cada una formada por 9 bloques, con un total de 25 ensayos. Los resultados se muestran en la Tabla 6.23.

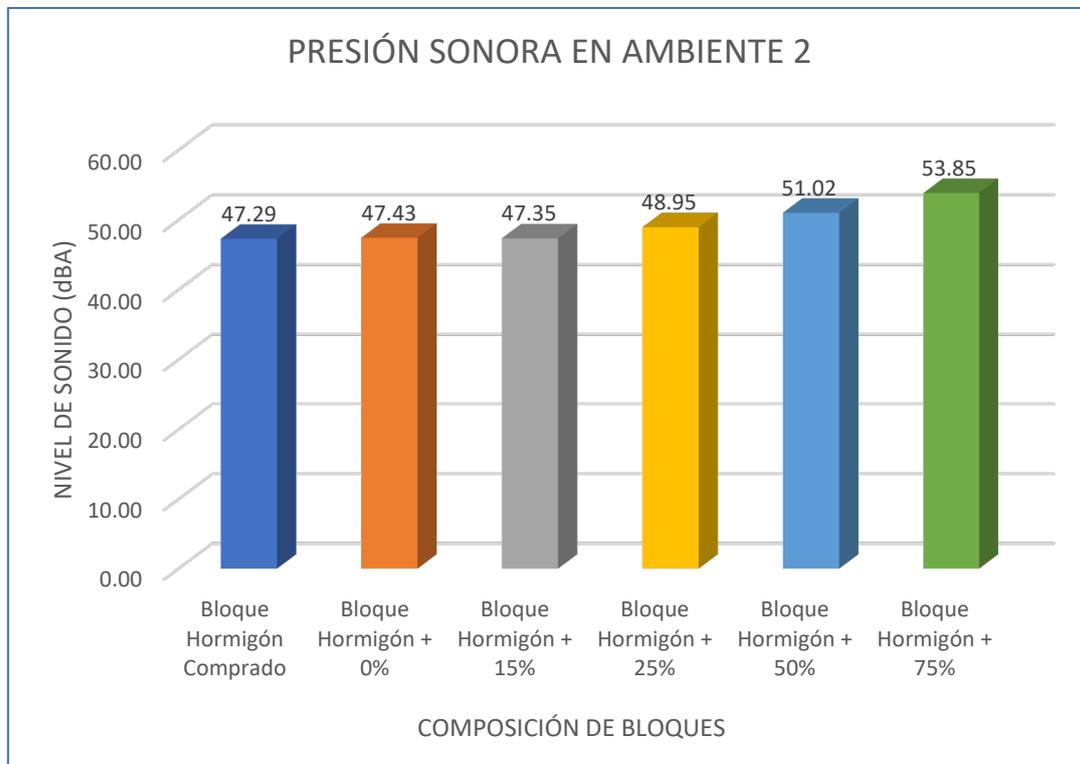
<b>RESULTADOS PROMEDIOS DE LOS ENSAYOS ACÚSTICOS (dBA)</b>			
<b>%</b>	<b>PROMEDIO EMISOR</b>	<b>PROMEDIO RECEPTOR</b>	<b>DIFERENCIA PROMEDIO</b>
<b>INEN 3066</b>	83.51	47.29	36.22
<b>0%</b>	85.62	47.43	38.19
<b>15%</b>	85.55	47.35	38.20
<b>25%</b>	85.44	48.95	36.49
<b>50%</b>	85.52	51.02	34.50
<b>75%</b>	85.43	53.85	31.57

**Tabla 6.23** Promedio de resultados de ensayos acústicos de las paredes de bloques alivianados más TBP, Fuente: Elaboración Propia

En las Figura 6.57 y 6.58 se puede observar una comparación de los niveles de aislamiento en los ambientes de la cámara acústica con respecto a la composición de cada muro.



**Figura 6.57** Niveles de aislación en las paredes de bloques de hormigón con adición de TBP, Fuente: Elaboración Propia



**Figura 6.58** Presión sonora ambiente 2, paredes de hormigón con adición de TBP, Fuente: Elaboración Propia

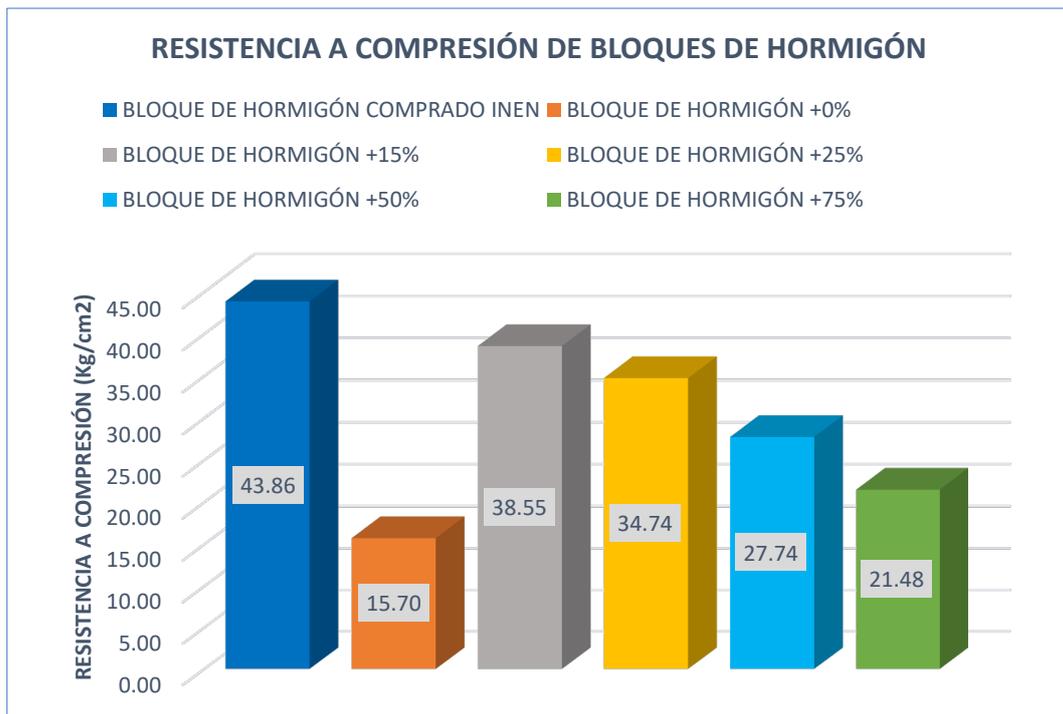
### 6.3.4. Ensayos de compresión con bloques alivianados con bolsas plásticas TBP

La resistencia promedio que se muestra en la Tabla 6.24 y en la Figura 6.59 se ha obtenido como el promedio total de los 57 bloques que han sido ensayados para cada dosificación.

<i>COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE BLOQUES DE ADOBE</i>		
<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>RESISTENCIA</i>	<i>UNIDAD</i>
BLOQUE DE HORMIGÓN COMPRADO INEN	43.86	kg/cm <sup>2</sup>
BLOQUE DE HORMIGÓN +0%	15.70	kg/cm <sup>2</sup>
BLOQUE DE HORMIGÓN +15%	38.55	kg/cm <sup>2</sup>
BLOQUE DE HORMIGÓN +25%	34.74	kg/cm <sup>2</sup>
BLOQUE DE HORMIGÓN +50%	27.74	kg/cm <sup>2</sup>
BLOQUE DE HORMIGÓN +75%	21.48	kg/cm <sup>2</sup>

**Tabla 6.24** Comparación de los resultados de paredes de hormigón con adición de TBP,

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 6.59** Comparación de los resultados de paredes de hormigón con adición de TBP, Fuente: Elaboración Propia

## CAPÍTULO 7

### 7. CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS

La presente investigación se ha centrado en el estudio de bloques elaborados artesanalmente en comunidades rurales de Ecuador con adición de diferentes materiales de desecho (aserrín, poliestireno, botellas de plástico PET, bolsas de plástico TBP) con el objetivo de darles un segundo uso, contribuyendo de esta manera a la economía circular y a mitigar el impacto que genera el vertido de residuos sobre el medio ambiente. Además, los bloques artesanales elaborados (bloques de adobe y bloques alivianados de hormigón) pueden ser utilizados en la mampostería de viviendas rurales donde los medios económicos son escasos, facilitando de esta manera, la producción de material de construcción sostenible en las zonas más desfavorecidas.

Mediante la construcción de una cámara de ensayos, se evaluó el comportamiento térmico y acústico de los bloques elaborados con las mezclas experimentales que contenían en su composición los residuos antes descritos. Asimismo, se estudió la resistencia a compresión de los bloques. Propiedades todas ellas que fueron comparadas con las obtenidas en las muestras de referencia o bloques convencionales (con 0% de residuos).

En la elaboración de los bloques de adobe, se utilizaron los siguientes porcentajes de residuo (aserrín, poliestireno, botellas de plástico PET, triturado de bolsas de plástico TBP) en sustitución al árido: 0%, 5%, 10% y 15%.

En la elaboración de los bloques alivianados de hormigón, se utilizaron los siguientes porcentajes de residuo (aserrín, poliestireno, botellas de plástico PET, triturado de bolsas de plástico TBP) en sustitución al árido: 0%, 15%, 25%, 50% y 75%.

En este apartado se recogen las principales conclusiones obtenidas, agrupadas en función del tipo de bloque y del residuo añadido.

## 7.1. BLOQUES DE ADOBE CON ADICIÓN DE ASERRÍN Y POLIESTIRENO

- El suelo seleccionado para la elaboración de bloques de adobe contenía un 30% de áridos finos (limos y arcillas) y un 70% de arena. Su índice de plasticidad fue de 8,57%, pudiéndolo clasificar como un suelo inorgánico A-2-5, grava y arena arcillosa o limosas, de acuerdo a los criterios de clasificación de la AAHSTO y como una Arena limosa SM, de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), apto para la elaboración de adobes.
- En relación al aislamiento térmico del muro realizado con adobe, que incorpora aserrín y poliestireno, se obtuvo que el porcentaje de sustitución con resultados más favorables (más aislante) fue el del 15%, obteniéndose 29.06°C de aislamiento frente a los 18,78°C obtenido en el muro de adobe tradicional, obteniéndose una temperatura retenida de 10.28°C.
- El coeficiente de conductividad térmica del muro de adobe con el 15% de aserrín y poliestireno (0,568 W/m·K) es inferior del de la norma NCh-853 (0.90 W/m·K) en un 36,9% y en un 3,4% del que presenta un muro de adobe tradicional (0,588 W/m·K). Sabiendo que cuanto más bajo sea el valor del coeficiente, mejor es el aislamiento, puede afirmarse que los bloques experimentales tuvieron mayor capacidad de aislamiento que la mínima requerida.
- En relación al confort térmico, ninguno de los bloques experimentales de adobe con aserrín y poliestireno cumple la norma NEC-Capítulo 13 sobre eficiencia energética, en la que se define una temperatura óptima de 18-20°C. La mezcla de adobe que más se aproxima a ese nivel de confort térmico es la que contiene un 15% de aserrín y poliestireno, que alcanzó un valor 17.05°C, con una diferencia mínima del 5,27%.
- En relación al aislamiento acústico, todas las mezclas experimentales elaboradas para fabricar bloques de adobe cumplen con los requerimientos de la norma NCh-352, que indica, en su apartado 1 sobre construcciones de usos habitacional, un valor mínimo de 40 dBA. El muro ensayado con mayor aislamiento acústico fue

el que se realizó con adobes que contenían un 15% de aserrín y poliestireno, alcanzando valores del 45 dBA.

- En relación al confort acústico, la norma NEC-Capítulo 13 limita la presión sonora máxima a 50 dBA para viviendas; alcanzándose una diferencia favorable del 22,18% en los muros de adobe con el 15% de aserrín y poliestireno, con un valor de 38,91 dBA, lo que da lugar a un mayor confort acústico para estas mezclas.
- En relación a la resistencia a compresión, todos los bloques de adobe elaborados con aserrín y poliestireno en su composición, alcanzaron el valor mínimo de resistencia de 10.2 kg/cm<sup>2</sup> indicado en la norma E-080, siendo la mezcla con resultados más favorables la que contenía un 5% de residuos (15,2 kg/cm<sup>2</sup>).
- En resumen, se puede afirmar que los bloques de adobe fabricados con aserrín y poliestireno cumplen los requisitos mecánicos para ser empleados en edificación, así como, las propiedades térmicas y acústicas necesarias en una vivienda, siendo el porcentaje de sustitución al árido más adecuado el del 15%.

## **7.2. BLOQUES DE ADOBE CON ADICIÓN DE BOTELLAS DE PLÁSTICO PET**

- En relación al aislamiento térmico del muro realizado con adobe, que incorpora plástico de botellas PET triturado, se obtuvo que el porcentaje de sustitución con resultados más favorables (más aislante) fue el del 5%, con unos valores de aislamiento de 36.49 °C.
- El coeficiente de conductividad térmica del muro de adobe con el 5% de plástico de botellas PET triturado alcanzó el menor valor entre todas las muestras, con un dato de 0,532 W/m·K, cumpliendo lo establecido en la norma NCh-853, inferior en un 5,53% al obtenido en un adobe tradicional (0,9 W/m·K). Por ello, se puede afirmar que el adobe con un 5% de plástico de botellas PET triturado es un buen aislante térmico.

- En relación al confort térmico, ninguno de los bloques experimentales de adobe con plástico de botellas PET triturado cumple la norma NEC-Capítulo 13 sobre eficiencia energética, en la que se define una temperatura óptima de 18-20°C. Este hecho se atribuye a las condiciones climáticas exteriores (temperatura y humedad) del lugar de estudio; sin embargo, al tener un buen coeficiente de conductividad térmica, se puede afirmar que el material puede ser adecuado para bloques a emplear en zonas cálidas, donde las condiciones externas no sean extremas.
- En relación al aislamiento acústico (valor mínimo de 40 dBA según la norma NCh-352), obtenido como diferencia entre el ambiente emisor y el ambiente receptor de la cámara de ensayo, los bloques de adobe con plástico de botellas PET triturado que demostraron mayor capacidad de insonorización fueron aquellos que contenían un 15% de residuo en sustitución al árido, con una diferencia de sonido de 43,89 dBA.
- En relación al confort acústico (límite de presión sonora máxima a 50 dBA para viviendas, según la norma NEC-Capítulo 13), todos los bloques de adobe elaborados con plástico de botellas PET triturado cumplieron las prescripciones de la normativa de referencia.
- En relación a la resistencia a compresión, todos los bloques de adobe elaborados con plástico de botellas PET triturado en su composición, alcanzaron el valor mínimo de resistencia de 10.2 kg/cm<sup>2</sup> indicado en la norma E-080, siendo la mezcla con resultados más favorables la que contenía un 5% de plástico de botellas PET (15,87 kg/cm<sup>2</sup>).
- En resumen, se puede afirmar que los bloques de adobe fabricados con plástico de botellas PET triturado mantiene unos niveles adecuados de aislamiento térmico y acústico para ser empleados como mampuestos de viviendas, considerando la mezcla con un 5% plástico de botellas PET las más adecuada si se considera un equilibrio entre todas las propiedades finales de los bloques.

### 7.3. BLOQUES DE ADOBE CON ADICIÓN DE BOLSAS PLÁSTICAS TPB

- En relación al aislamiento térmico del muro realizado con adobe, que incorpora bolsas de plástico TBP trituradas, se obtuvo que el porcentaje de sustitución con resultados más favorables (más aislante) fue el del 10%, con unos valores de aislamiento de 27,44 °C.
- El coeficiente de conductividad térmica del muro de adobe con el 10% de bolsas de plástico TBP trituradas alcanzó el menor valor entre todas las muestras (0,571 W/m·K), cumpliendo lo establecido en la norma NCh-853, inferior en un 2,89% al obtenido en un adobe tradicional (0,9 W/m·K). Por ello, se puede afirmar que el adobe con un 10% de bolsas de plástico TBP trituradas es un buen aislante térmico.
- En relación al aislamiento acústico (valor mínimo de 40 dBA según la norma NCh-352) y al confort acústico (límite de presión sonora máxima a 50 dBA para viviendas, según la norma NEC-Capítulo 13), los bloques de adobe con bolsas de plástico TBP trituradas que demostraron mayor capacidad de insonorización fueron aquellos que contenían un 15% de residuo en sustitución al árido, con valores de variación acústica de 43,60 dBA.
- En relación a la resistencia a compresión, los bloques de adobe con bolsas de plástico TBP trituradas que presentaron mejores resistencias fueron aquellos que incorporaban un 10% de residuos en su composición, alcanzando valores de 12,19 kg/cm<sup>2</sup>, superior al valor mínimo de resistencia de 10.2 kg/cm<sup>2</sup> indicado en la norma E-080.
- En resumen, se puede afirmar que los bloques de adobe fabricados con un 10% de bolsas de plástico TBP trituradas en sustitución al árido son los que mantiene unos niveles adecuados de resistencia y, de aislamiento térmico y acústico, para ser empleados como mampuestos de viviendas.

#### **7.4. BLOQUES ALIVIANADOS CON ADICIÓN DE ASERRÍN Y POLIESTIRENO**

- El árido natural empleado tuvo una granulometría fina adecuada para la fabricación de bloques de hormigón alivianados.
- En relación al aislamiento térmico del muro realizado con bloque alivianado de hormigón que incorpora aserrín y poliestireno, se obtuvo que el porcentaje de sustitución con resultados más favorables (más aislante) fue el del 75%, con unos valores de aislamiento de 35,78 °C. Porcentajes de sustitución del 50% no cumplieron las condiciones térmicas requeridas.
- En relación al aislamiento acústico, los bloques alivianados de hormigón que incorporan aserrín y poliestireno que demostraron mayor capacidad de insonorización fueron aquellos que contenían un 25% de este residuo en sustitución al árido, con valores de variación acústica de 38,45 dBA. La mezcla que demostró peor aislamiento acústico fue la que contenía un 15% de aserrín y poliestireno, con valores de 36,85 dBA.
- En relación a la resistencia a compresión, los bloques alivianados de hormigón que incorpora aserrín y poliestireno que presentaron resistencias superiores a la mínima establecida en la normativa de referencia fueron aquellos que incorporaban un 15% y 25% de estos residuos en su composición (22,43 kg/cm<sup>2</sup> y 15,55kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente). Por el contrario, la mezcla con 75% de aserrín y poliestireno (8,03 kg/cm<sup>2</sup>) no alcanza el valor mínimo de resistencia necesario para emplear en ningún ámbito constructivo.
- En resumen, se puede afirmar que los bloques alivianados de hormigón que incorporan aserrín y poliestireno en un 15% y un 25% son los más recomendables para su uso en construcción, ya que cumple, las prescripciones de resistencia y alcanza unas condiciones térmicas y acústicas más adecuadas que las de los bloques convencionales.

## 7.5. BLOQUES ALIVIANADOS CON ADICIÓN DE BOTELLAS PLÁSTICAS PET

- Para alcanzar la resistencia a compresión adecuada para bloques a emplear en estructuras tipo B (4 MPa), acorde a la norma NTE INEN 3066, se diseñó una dosificación de la mezcla aplicando el método de densidades óptimas. Esa dosificación es la que sirvió de base para elaborar las demás mezclas con sustituciones de árido del 15%, 25%, 50% y 75% de botellas plásticas PET.
- En relación al aislamiento térmico del muro realizado con bloque alivianado de hormigón que incorpora botellas plásticas PET trituradas, se obtuvo que el porcentaje de sustitución con resultados más favorables (más aislante) fue el del 50%, alcanzando valores de coeficiente de conductividad de 0,524 W/m·K. Para poder comparar se tiene los valores de un bloque artesanal tradicional (0,541 W/m·K) y un bloque normalizado (0,535 W/m·K).
- En relación al aislamiento acústico (variación y confort acústico), los bloques alivianados de hormigón que botellas plásticas PET trituradas que demostraron mejores propiedades, fueron aquellos que contenían un 75% de este residuo en sustitución al árido, con valores de variación acústica de 44,07 dBA y de confort de 42,74 dBA, frente a un muro con bloque comercial INEN (36,22 dBA de aislamiento y 47,29 dBA de confort) o a un muro de bloque artesanal (35,99 dBA de aislamiento y 47,43 dBA de confort).
- La resistencia a compresión de los bloques con adición de botellas plásticas PET se evaluaron según la norma NTE INEN 3066, obteniendo el mayor valor de resistencia aquellos bloques que contenían un 15% de botellas plásticas PET trituradas (44,59 kg/cm<sup>2</sup>). A medida que se incrementó el contenido de plástico PET, la resistencia a compresión disminuyó, aunque, en todos los casos, se mantuvieron en valores superiores a los de un bloque artesanal tradicional.
- En resumen, considerando el equilibrio entre la resistencia a compresión y las propiedades térmicas y acústicas de los bloques con adición de botellas plásticas PET, se recomienda el porcentaje de sustitución del 50% en la mezcla, que obtiene unos resultados de 32,19 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a compresión, un aislamiento

térmico de 33,21°C, un coeficiente de conductividad térmica de 0,524 W/m·K, una variación acústica de 42,42 dBA y un confort acústico de 45,05 dBA.

#### **7.6. BLOQUES ALIVIANADOS CON ADICIÓN DE BOLSAS PLÁSTICAS TPB**

- En relación al aislamiento térmico del muro realizado con bloque alivianado de hormigón que incorpora triturado de bolsas plásticas TBP trituradas presentó una reducción de temperatura de 31,50°C, 31,93°C, 34,91°C y 32,03°C, para las mezclas con el 15%, 25%, 50%, 75% de sustitución, respetivamente. De estos datos, se desprende que la mezcla con el 50% de sustitución es la obtuvo mayor retención de temperatura, por lo que, se obtendría una mayor frescura en el ambiente interior de las viviendas.
- El coeficiente de conductividad térmico del muro construido con bloque de hormigón alivianado que contenían el 15%, 25%, 50% y 75% de triturado de bolsas plásticas TBP alcanzó los valores de 0,527, 0,524, 0,518, y 0,522 W/m·K, respectivamente, estando todos ellos dentro de los mínimos permitidos (0.33–0.55 W/m·K) de la normativa de referencia del Instituto Nacional de Normalización (INN).
- En relación con el aislamiento acústico, los muros construidos con bloque de hormigón alivianado que contenían el 15%, 25%, 50% y 75% de triturado de bolsas plásticas TBP presentaron una reducción del sonido de 38,20, 36,49, 34,50 y 31,58dBA, respectivamente; valores que están por debajo del valor de aislamiento acústico de 40 dBA establecido en la normativa de referencia, especialmente destacable el valor (38,20 dBA) de la mezcla con el 15% de bolsas plásticas TBP.
- En relación al confort acústico, el nivel sonoro de los muros construidos con bloque de hormigón alivianado que contenían el 15%, 25%, 50% y 75% de triturado de bolsas plásticas TBP fue de 47,35, 48,95, 51,05 y 53,85 dBA, respectivamente. De los datos se desprende que las mezclas con el 15% y el 25% de bolsas plásticas TBP fueron las que mejores propiedades de confort acústico

proporcionaron, con valores inferiores a los 50 dBA que establece la normativa de referencia.

- En relación con la resistencia a compresión, los bloques alivianados de hormigón que incorporaban el 15%, 25%, 50%, 75% de triturado de bolsas plásticas TBP presentaron unos valores de 38,55, 34,74, 27,74 y 21,48 kg/cm<sup>2</sup>; valores que, como era de esperar, disminuyeron a medida que se incrementó el porcentaje de sustitución.
- En resumen, el mejor comportamiento en cuanto al aislamiento térmico y acústico corresponde con el muro construido con bloques alivianados que contienen el 15% de triturado de bolsas plásticas TBP, además esta mezcla brinda la mayor resistencia a la compresión (38.55 kg/cm<sup>2</sup>).

#### **7.7. LINEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS**

Como líneas de investigación futuras a la presente Tesis Doctoral se establecen las siguientes propuestas de actuación:

- Caracterizar suelo en distintos sectores de la provincia de Tungurahua que pueda ser susceptible de emplear en la fabricación de adobes y, correlacionar sus propiedades mecánicas con normas de otros países.
- Evaluar el comportamiento térmico a bajas temperaturas (en cámara frigorífica) de los bloques de adobe y de los bloques de hormigón alivianados de la presente investigación.
- Diseñar y estudiar las propiedades mecánicas, térmicas y acústicas de los bloques de adobe que contengan cantidades superiores al 15% de residuos, bien sea de los residuos de la presente investigación, o bien nuevos residuos, como pueden ser la caña de azúcar, la cascarilla de arroz, la fibra de coco, la fibra de cabuya o fibra de vidrio.

- Diseñar y estudiar las propiedades mecánicas, térmicas y acústicas de bloques de hormigón alivianados que contengan residuos de diferente procedencia a los de la presente investigación.
- Realizar un estudio económico comparativo entre los bloques de adobe convencionales y los bloques de adobe que incorporan los residuos objeto de la presente investigación.
- Realizar un estudio económico comparativo entre los bloques de hormigón alivianados convencionales y los bloques de hormigón alivianados que incorporan los residuos objeto de la presente investigación.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] I. M. G. Bertelsen, L. J. Belmonte, G. Fischer, and L. M. Ottosen, “Influence of synthetic waste fibres on drying shrinkage cracking and mechanical properties of adobe materials,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 286, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122738.
- [2] R. M. Gandia, A. A. R. Corrêa, F. C. Gomes, D. B. Marin, and L. S. Santana, “Physical, mechanical and thermal behavior of adobe stabilized with ‘synthetic termite saliva,’” *Eng. Agric.*, vol. 39, no. 2, pp. 139–149, Mar. 2019, doi: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39n2p139-149/2019.
- [3] M. M. Salih, A. I. Osofero, and M. S. Imbabi, “Critical review of recent development in fiber reinforced adobe bricks for sustainable construction,” *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, vol. 14, no. 4. Higher Education Press, pp. 839–854, Aug. 2020. doi: 10.1007/s11709-020-0630-7.
- [4] P. Muñoz, V. Letelier, L. Muñoz, and M. A. Bustamante, “Adobe bricks reinforced with paper & pulp wastes improving thermal and mechanical properties,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 254, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119314.
- [5] H. Gonzalez-Calderon *et al.*, “Biopolymer-waste fiber reinforcement for earthen materials: Capillary, mechanical, impact, and abrasion performance,” *Polymers (Basel)*, vol. 12, no. 8, Aug. 2020, doi: 10.3390/polym12081819.
- [6] G. A. Jokhio, S. M. Syed Mohsin, and Y. Gul, “Two-fold sustainability - Adobe with sawdust as partial sand replacement,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Apr. 2018, vol. 342, no. 1. doi: 10.1088/1757-899X/342/1/012069.
- [7] J. C. Cárdenas-Gómez, M. B. Gonzales, and C. A. D. Lazo, “Evaluation of reinforced adobe techniques for sustainable reconstruction in andean seismic zones,” *Sustain.*, vol. 13, no. 9, May 2021, doi: 10.3390/su13094955.
- [8] O. Ige and H. Danso, “Physico-mechanical and thermal gravimetric analysis of adobe masonry units reinforced with plantain pseudo-stem fibres for sustainable construction,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 273, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121686.
- [9] B. I. M. G. B. L. J. F. G., “Influence of synthetic waste fibres on drying shrinkage cracking and mechanical properties of adobe materials,” vol. 286, 2021.
- [10] J. Valdez Loaiza, J. Aguilar Franco, L. S. Vargas, G. A. Góngora, A. Pardo, and F. Dianderas, “Diseño e implementación de un proceso alternativo para la fabricación de ladrillos a partir de relaves mineros de Oro,” *Ingeniare. Rev. Chil.*

- Ing.*, vol. 28, pp. 268–276, 2020.
- [11] J. A. Cifuentes Sarmiento, “La industria del ladrillo y la urbanización de San Cristóbal, 1910-1940,” *Anu. Colomb. Hist. Soc. y la Cult.*, vol. 47, no. 1, pp. 139–167, 2020, doi: 10.15446/achsc.v47n1.83148.
- [12] K. Corredor, A. Guzmán, and N. Torres, “Factibilidad en la fabricación de ladrillos no estructurales, a partir del reciclaje de las colillas de cigarrillo,” *Rev. Ing. construcción*, vol. 35, no. 3, pp. 232–245, 2020, doi: 10.4067/s0718-50732020000300232.
- [13] I. Kafodya, F. Okonta, and P. Kloukinas, “Role of fiber inclusion in adobe masonry construction,” *J. Build. Eng.*, vol. 26, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.job.2019.100904.
- [14] C. Fioriti, R. Segantini, J. Pinheiro, J. Akasaki, and F. Spósito, “Bloques de mampostería de hormigón liviano fabricados con caucho de neumáticos y metacaolín,” *Rev. Ing. construcción*, vol. 35, no. 3, pp. 295–307, Dec. 2020.
- [15] J. J. Fontana Cabezas, “Características geométricas, físicas y mecánicas de mampuestos cerámicos huecos fabricados en Uruguay,” *Ciencia, Docencia y Tecnol.*, vol. 22, no. 42, pp. 207–240, 2021.
- [16] N. A. León, N. R. Rojas Reyes, B. U. Suárez, and M. Oswaldo Bustamante R, “Experimental evaluation of silicon - calcareous units from blast furnace slag and hydraulic lime for masonry,” *DYNA*, vol. 76, no. 160, pp. 247–254, 2019.
- [17] M. P. Moreno Quintero, Y. A. Pabón Acevedo, L. Cely Illera, and J. Cely Niño, “Influence of wet milling on the structural and mechanical behavior of ceramic products formed by extruding clay at Zulia (North de Santander, Colombia),” *Bol. la Soc. Esp. Ceram. y Vidr.*, vol. 58, no. 5, pp. 190–198, 2019, doi: 10.1016/j.bsecv.2019.01.001.
- [18] C. Fioriti *et al.*, “Bloques de mampostería de hormigón liviano fabricados con caucho de neumáticos y metacaolín,” *Rev. Ing. construcción*, vol. 35, no. 3, pp. 295–307, Dec. 2020, doi: 10.4067/S0718-50732020000300295.
- [19] J. Y. Atalaya and A. E. Sarmiento, “Physical and mechanical properties of compacted adobe with incorporation of coconut fibers,” *Proc. LACCEI Int. Multi-conference Eng. Educ. Technol.*, 2020, doi: 10.18687/LACCEI2020.1.1.447.
- [20] F. C. Antico, M. J. Wiener, G. Araya-Letelier, and R. G. Retamal, “Eco-bricks: A sustainable substitute for construction materials,” *Rev. la Constr.*, vol. 16, no. 3, pp. 518–526, 2017, doi: 10.7764/RDLC.16.3.518.
- [21] F. I. Aneke and C. Shabangu, “Green-efficient masonry bricks produced from scrap plastic waste and foundry sand,” *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 14, p. 515,

- 2021, doi: 10.1016/j.cscm.2021.e00515.
- [22] M. Madrid, A. Orbe, H. Carré, and Y. García, “Thermal performance of sawdust and lime-mud concrete masonry units,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 169, pp. 113–123, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.02.193.
- [23] G. M. Cuenca-Moyano, J. Martín-Pascual, M. Martín-Morales, I. Valverde-Palacios, and M. Zamorano, “Effects of water to cement ratio, recycled fine aggregate and air entraining/plasticizer admixture on masonry mortar properties,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 230, p. 18, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116929.
- [24] J. P. Ojeda, I. T. Mercante, and N. H. Fajardo, “ENSAYOS MECÁNICOS SOBRE MORTEROS CON AGREGADOS DE PLÁSTICO RECICLADO DOSIFICADOS SEGÚN MODELO DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA,” *Rev. Int. Contam. Ambient.*, vol. 36, no. 2, pp. 465–474, 2020, doi: 10.20937/RICA.53452.
- [25] R. del Rey, J. Alba, J. Ramis, and V. J. Sanchis, “Nuevos materiales absorbentes acusticos obtenidos a partir de restos de botellas de plastico,” *Mater. Constr.*, vol. 61, no. 304, pp. 547–558, 2011, doi: 10.3989/mc.2011.59610.
- [26] S. K. Intan and S. Santosa, “Life cycle assessment of bricks made from waste of building material and plastics (LDPE and PET),” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 398, no. 1, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/398/1/012002.
- [27] W. S. Alaloul, V. O. John, and M. A. Musarat, “Mechanical and Thermal Properties of Interlocking Bricks Utilizing Wasted Polyethylene Terephthalate,” *Int. J. Concr. Struct. Mater.*, vol. 14, no. 1, 2020, doi: 10.1186/s40069-020-00399-9.
- [28] D. K. Dadzie, A. K. Kaliluthin, and D. Raj Kumar, “Exploration of waste plastic bottles use in construction,” *Civ. Eng. J.*, vol. 6, no. 11, pp. 2262–2272, 2020, doi: 10.28991/cej-2020-03091616.
- [29] A. Omotayo, B. A. Adebowale, and E. E. Uche, “Adoption of eco-bricks for housing: the case of Yelwa, Nigeria,” *African J. Sci. Technol. Innov. Dev.*, vol. 14, no. 2, 2021.
- [30] R. Parra, E. Cadena, and C. Flores, “Maximum UV index records (2010-2014) in Quito (Ecuador) and its trend inferred from remote sensing data (1979-2018),” *Atmosphere (Basel)*, vol. 10, no. 12, pp. 2–18, 2019, doi: 10.3390/ATMOS10120787.
- [31] A. Lozano-Povis, C. E. Alvarez-Montalván, and N. Moggiano, “Climate change in the Andes and its impact on agriculture: a systematic review,” *Sci. Agropecu.*, vol.

- 12, no. 1, pp. 101–108, 2021, doi: 10.17268/SCI.AGROPECU.2021.012.
- [32] L. C. G. Cruzatty and J. E. S. Vollmann, “Caracterización de suelos a lo largo de un gradiente altitudinal en Ecuador,” *Rev. Bras. Ciencias Agrar.*, vol. 7, no. 3, pp. 456–464, 2012, doi: 10.5039/agraria.v7i3a1736.
- [33] D. Vinicio Carrera-Villacrés, P. Valeria Guevara-García, L. Carolina Tamayo-Bacacela, A. Lucía Balarezo-Aguilar, C. Alfonso Narváez-Rivera, and D. Rosa Morocho-López, “Relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media Filling series annual meteorological data by statistical methods in the coastal zone from Ecu,” *Idesia*, vol. 34, no. 3, pp. 81–90, 2016, [Online]. Available: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/idesia/v34n3/art10.pdf>
- [34] S. F. T. Romero and C. O. P. Santos, “Water balance components in the Paramo of Jatunsacha, Ecuador,” *Granja*, vol. 28, no. 2, pp. 52–66, 2018, doi: 10.17163/lgr.n28.2018.04.
- [35] J. A. Kadhim and A. O. Dawood, “Seismic performance of clay bricks construction,” *Civ. Eng. J.*, vol. 6, no. 4, pp. 785–805, 2020, doi: 10.28991/cej-2020-03091508.
- [36] MIDUVI, “Guía práctica de la construcción para no profesionales,” p. 94, 2016.
- [37] G. Mussardo, “Manual para la Regulacion de Procesos Constructivos,” *Stat. F. Theor*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019.
- [38] M. Poma, K. Aguirre, M. B. Corre, E. Guaminga, E. Dibujés, and L. Hernández, “Estudio Experimental y Analítico de las Propiedades Estructurales ante Cargas Laterales de una Mampostería Reforzada Utilizando un Bloque Prototipo de Concreto,” *Rev. Técnica la Fac. Ing. Univ. del Zulia*, no. 2, pp. 41–49, 2020.
- [39] M. G. Cuitiño R., “Vista de Análisis comparativo de aspectos térmicos y resistencias mecánicas de los materiales y los elementos de la construcción con tierra. | Revista de Arquitectura (Bogotá),” *Tecnol. Medio Ambient. Y Sostenibilidad*, vol. 22, no. 1, pp. 138–151, 2020, [Online]. Available: <https://revistadearquitectura.ucatolica.edu.co/article/view/2348/2980>
- [40] Superintendencia de Control del Poder de Mercado, “Informe Especial de Bloques y Adoquines,” no. 593, pp. 1–21, 2017.
- [41] O. A. Cevallos, D. Jaramillo, C. Ávila, and X. Aldaz, “Production and quality levels of construction materials in Andean regions: A case study of Chimborazo, Ecuador,” *J. Constr. Dev. Ctries.*, vol. 22, no. 1, pp. 115–136, 2017, doi: 10.21315/jcdc2017.22.1.7.

- [42] F. Puente-Sotomayor, A. Egas, and J. Teller, “Land policies for landslide risk reduction in Andean cities,” *Habitat Int.*, vol. 107, no. December, 2021, doi: 10.1016/j.habitatint.2020.102298.
- [43] P. Bracchi, F. J. Torrijo, A. Boix, M. Cruz Cabrera, and D. Giordanelli, “Urban and hydrogeological alert on the morphoclimatic risk affecting quito’s world heritage,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. - ISPRS Arch.*, vol. 54, no. M-1, pp. 825–832, 2020, doi: 10.5194/isprs-archives-XLIV-M-1-2020-825-2020.
- [44] L. P. Bassantes, D. T. Gonzaga, C. R. Bedón, and T. Toulkeridis, “Comparative analysis of the mechanical properties of concrete block masonry used in constructions within Argentina and Ecuador,” *Malaysian Constr. Res. J.*, vol. 28, no. 2, pp. 51–64, 2019.
- [45] M. Perrault, P. Gueguen, K. G. Parra, and J. Sarango, “Modification of the data-driven period/height relationship for buildings located in seismic-prone regions such as Quito (Ecuador),” *Bull. Earthq. Eng.*, vol. 18, no. 3, 2020.
- [46] O. R. Porras Porras, “Diseño y Elaboración de Bloques de Hormigón Sostenibles Cumpliendo las Normas ‘NTE INEN’, Mejorando las Características Físicas Mediante la Corrección de Procesos de Fabricación en la Provincia de Cotopaxi,” *Pontif. Univ. Católica del Ecuador*, 2018.
- [47] G. Minke, *Building with Earth*, 1st ed. Birkhäuser Basel, 2006. doi: 10.1007/3-7643-7873-5.
- [48] M. C. Karina and S. T. Katherine, “*El proceso constructivo en tierra en comunidades de ascendencia Indígena en zona fría*,” vol. 2. 2013.
- [49] K. Macwilliam and C. Nunes, “*Structural Analysis of Historical Constructions*, 1st ed., vol. 18. Springer International Publishing,” 2019. doi: 10.1007/978-3-319-99441-3.
- [50] *Acuerdo-No-004-19-Reglamento-para-validacion-de-tipologias-planos-masa-proyectos-de-vivienda-interes-social-1.pdf*.
- [51] A. N. del Ecuador, *Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo*, vol. LOOTUGS. 2016.
- [52] D. G. Couret and J. F. V. Párraga, “Evolution of the Priority: Housing in portoviejo,” *Cuad. Vivienda y Urban.*, vol. 12, no. 23, 2019, doi: 10.11144/Javeriana.cvu12-23.evis.
- [53] INEC, *Las condiciones de vida de los ecuatorianos*, vol. 5. 2014.
- [54] I. E. de Normalización, *NTE INEN 3142. Accesibilidad de las personas al medio*

*físico. Ventanas*. 2018.

- [55] MIDUVI, *Lineamientos Mínimos Para Registro Y Validación-De Tipologías De Vivienda*. 2020.
- [56] MIDUVI, *Acuerdo-Ministerial-No-002-18-del-Reglamento-para-la-Operacion-del-programa-Casa-Para-Todos-2.pdf*.
- [57] L. Minuchin, “Prefigurative urbanization: Politics through infrastructural repertoires in Guayaquil,” *Polit. Geogr.*, vol. 85, 2021, doi: 10.1016/j.polgeo.2020.102316.
- [58] A. Nadal, D. Rodríguez-Cadena, O. Pons, E. Cuerva, A. Josa, and J. Rieradevall, “Feasibility assessment of rooftop greenhouses in Latin America. The case study of a social neighborhood in Quito, Ecuador,” *Urban For. Urban Green.*, vol. 44, 2019, doi: 10.1016/j.ufug.2019.126389.
- [59] N. INEN, *ACCESIBILIDAD DE LAS PERSONAS AL MEDIO FÍSICO. DORMITORIOS Y HABITACIONES ACCESIBLES. REQUISITOS*. 2016.
- [60] N. T. E. I. 2 309, *Accesibilidad de las personas al medio físico. Puertas. Requisitos*. 2018.
- [61] O. L. C. Ramos, “PROYECTO DE VIVIENDA POPULAR,” *Arquitecturas insurgentes*. 2018. doi: 10.2307/j.ctv893j19.14.
- [62] S. Sebastián, *Proyecto de ley de vivienda*. 2012.
- [63] J. Viracucha, *Memoria Técnica-Desarrollo de la Propuesta (Prop. Imagen Objetivo) Consultoría para ‘Actualizar, complementar y sistematizar los Estudios Técnicos del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Ambato de la Provincia de Tungurahua’*. Quito, 6.
- [64] C. Y. S. MINISTERIO DE VIVIENDA and NORMA, “Diseño y construcción con tierra reforzada NORMA E. 080,” *Resolución Minist. el Peru.*, vol. 1, 2017.
- [65] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “Tamices De Ensayo. Dimensiones Nominales De Las Aberturas,” *154*, 2015.
- [66] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “Mecánica de Suelos. Determinación del límite líquido. Método de Casa Grande,” *Inst. Ecuatoriano Norm.*, pp. 1–14, 1982.
- [67] U. X. Glx, “Guía de usuario Xplorer GLX. . .,” 2002.
- [68] EXTECH Instruments, “Manual del usuario Medidor ambiental 5 en 1 Modelo: EN300,” pp. 1–9, 2014.
- [69] PASPORT, “Temperature / Sound Level / Light Sensor”.

- [70] Instituto Nacional de Normalización (Chile), “Aislación térmica - determinación de propiedades de transmisión térmica en estado estacionario y propiedades relacionadas - cámara térmica calibrada y de guarda”.
- [71] Instituto Nacional de Normalización (Chile), “NCh-2785-Acústica-Medición de Aislación Acústica en Construcciones y Elementos de Construcción-Mediciones en Terreno de Aislación Acústica Aérea Entre Recintos”.
- [72] G. Minke, *Manual Construcción En Tierra: La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*, Segunda. 2005.
- [73] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “Determinación del Contenido de Agua - Método del Secado al Horno,” pp. 1–9, 1982, [Online]. Available: <http://apps.normalizacion.gob.ec/normaspdf/pdf/nte/690.pdf>
- [74] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso.,” *Determ. del tamaño Part. en Arid. fino y grueso.*, vol. 1, no. Primera Edición, p. 5, 2014.
- [75] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “Mecánica de suelos. Determinación de límite plástico.,” *Inst. Ecuatoriano Norm.*, pp. 1–10, 1982.
- [76] M. Blondet, J. Vargas Neumann, D. Torrealva, and Á. Rubiños, “MANUAL DE CONSTRUCCIÓN CON ADOBE REFORZADO CON GEOMALLAS DE VIVIENDA DE BAJO COSTO SALUDABLES Y SEGURAS”.
- [77] construcción y saneamiento Ministerio de vivienda, “Edificaciones antisísmicas de Adobe,” *Man. construcción/Edificaciones Antisísmicas adobe*, p. 36, 2010, [Online]. Available: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj0\\_\\_ebkIPuAhWyBtQKHQcZCxsQFjAAegQIAxAC&url=http%3A%2F%2Fwww3.vivienda.gob.pe%2Fdnc%2Farchivos%2Festudios\\_Normalizacion%2FManuales\\_guias%2FMANUAL%2520ADOBE.pdf&usq=A0vVaw21\\_LgSCwEeHq](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj0__ebkIPuAhWyBtQKHQcZCxsQFjAAegQIAxAC&url=http%3A%2F%2Fwww3.vivienda.gob.pe%2Fdnc%2Farchivos%2Festudios_Normalizacion%2FManuales_guias%2FMANUAL%2520ADOBE.pdf&usq=A0vVaw21_LgSCwEeHq)
- [78] S. F. Florian, R. F. Verena, T. A. Arianne, T. S. Cristián, and T. P. Valentina, “Manual de (Re) Acondicionamiento Térmico,” *Una guía para el dueño casa*, vol. 1º Edición, 2016.
- [79] Norma Chilena, “Acondicionamiento térmico – Envolvente térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas”.
- [80] IESS, “Decreto Ejecutivo 2393 REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES Y MEJORAMIENTO DEL MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO,” *Iess*, pp. 2–94, 2011, [Online]. Available: <https://prosigma.com.ec/pdf/nlegal/Decreto-Ejecutivo2393.pdf>

[81] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), “EFICIENCIA ENERGÉTICA en Edificaciones Residenciales (EE),” *Miduvi*, p. pp 1-48, 2018.

## 9. NOMENCLATURA

“	Pulgadas
°C	Grados centígrados
°F	Grados fahrenheit
ACBL	Arcilla Potters de Menzel Temime
ACI	American Concrete Institute
AEPA	Aire aditivo de arrastre plastificante
AJM	Arena-arcilla Jebel Mencharclay
ASTM	American Society for Testing and Materials
ASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
BEV	Banco Ecuatoriano de la Vivienda
BID	Banco Internacional de Desarrollo
BSPA	Birds Special Protection Areas
BTC	Bloques de tierra comprimida
CEB	Ladrillos de tierra comprimida
CEC	Catalogo de elementos constructivos
cm	Centímetros
cm <sup>2</sup>	Centímetro cuadrado
CMU	Unidades de mampostería de hormigón
COOTAD	Código Orgánico de Organización Territorial Autónoma y Descentralización
CSEB	Bloques de tierra estabilizada comprimida
CTE	Código Técnico de la Edificación
Db	Decibeles
Db <sub>a</sub>	Decibelio ponderado
DB-HR	Documento Básico de Protección Frente al Ruido
DIC	Correlación de imagen digital

DS	Desarrollo sostenible
FRP	Polímeros reforzados con fibra
f c	Resistencia del hormigón a los 28 días
f m	Área neta en promedio de la sección
gr	gramos
gr/lt	gramos sobre litro
gr /cm <sup>3</sup>	gramos sobre centímetro cúbico
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
GEI	Gases de efecto invernadero
GFRP	Glass-Fiber Reinforced Plastic
GP	Grano fino
gr	gramos
h	horas
hp	horsepower
IESS	Instituto Ecuatoriano de Seguro Social
INAMHI	Instituto nacional de meteorología e hidrología
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización
IP	Índice plástico
ISO	Organización Internacional de Normalización
JIS	Normas industriales japonesas
J/mm	Joules por milímetro
KG	Grava gruesa
kg	kilogramos
kgf	kilogramos fuerza
kg/ m <sup>3</sup>	kilogramos sobre metro cubico
kg/cm <sup>2</sup>	kilogramo por centímetro cuadrado
km <sup>2</sup>	kilómetro cuadrado
KN	Kilo newton
KN m	kilo Newtons metro
LDPE	Polietileno de baja densidad
LL	Límite líquido

LP	Límite plástico
Lux	Lúmenes por metro cuadrado
m	metros
MIDUVI	Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda
mm	Milímetros
mm/min	Milímetros por minuto
MPa	Mega pascal
msnm	Metros sobre el nivel del mar
NCh	Norma Chilena
NEC-SE-MP	Estructuras de Mampostería Estructural
NFA	Áridos finos naturales
NTE E.080	Norma Técnica de Edificación
OMS	Organización mundial de la salud
PET	Tereftalato de polietileno
PICDVSIS	Proyecto de Investigación Calculo y diseño de vivienda
sismo	resistente de interés social, auto sustentable con materiales
de la	zona sierra.
PNBV	Plan Nacional del Buen Vivir
PP	Polipropileno
PRFV	Procesamiento de residuos
PS	Poliestireno
PUR	Poliuretano
PVC	Policloruro de Vinilo
RFA	Áridos finos reciclados
R-PE	Redes de pescas desechadas
SENAGUA	Secretaría nacional del agua
SJM	Arena Jebel Mencharclay
SSS	Saturado superficie seca
TBP	Triturado de bolsas plásticas
UMC	unidades de mampostería de concreto
UNE-EN	Normalización Española para morteros
UV	Radiación ultravioleta

UVI	Índice de radiación ultravioleta
V	Voltios
V/mm	Voltios por milímetro
W	Watts
W/C	Relación agua cemento
W/m	Watts por metro
W/m <sup>2</sup>	Watts por metro cuadrado
W/m·K	Watts por metro kelvin

## ANEXO 1

<b>RESUMEN DE ENSAYOS REALIZADOS Y NORMAS UTILIZADAS</b>		
<b>ENSAYOS UTILIZADOS PARA LA REALIZACIÓN DE BLOQUES DE ADOBE</b>		
<b>ENSAYO</b>	<b>NORMA</b>	<b>PAÍS</b>
CINTA DE BARRO	E-080	PERÚ
RESISTENCIA SECA	E-080	PERÚ
CONTENIDO DE HUMEDAD	INEN 690	ECUADOR
GRANULOMETRÍA	NTE INEN 696	ECUADOR
LÍMITE LÍQUIDO	NTE INEN 691	ECUADOR
LÍMITE PLÁSTICO	NTE INEN 692	ECUADOR
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	SUCS	USA.
DIMENSIONAMIENTO DE BLOQUE	E-080	PERÚ
PREPARACIÓN DE LA MEZCLA	E-080	PERÚ
RESISTENCIA DE BLOQUES	E-080	PERÚ
ELABORACIÓN DEL MURO	E-080	PERÚ
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	SUCS	USA.
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	SUCS	USA.
COMPRESIÓN	E-080	PERÚ
ENSAYO TÉRMICO	NCh 849-850- 851-853	CHILE
ENSAYO ACÚSTICO	NCH 2786- 2864-2865	CHILE
<b>ENSAYOS UTILIZADOS PARA LA REALIZACIÓN DE BLOQUES ALIVIANADOS</b>		
<b>ENSAYO</b>	<b>NORMA</b>	<b>PAÍS</b>
GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO	NTE INEN 696	ECUADOR
GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO	NTE INEN 696	ECUADOR
CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO	NTE INEN 862	ECUADOR
CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO	NTE INEN 862	ECUADOR
DENSIDAD APARENTE DEL AGREGADO FINO Y GRUESO SUELTA Y COMPACTADA	NTE INEN 858	ECUADOR
DENSIDAD APARENTE COMBINADA	NTE INEN 858	ECUADOR
DENSIDAD REAL DEL AGREGADO GRUESO	NTE INEN 857	ECUADOR
DENSIDAD REAL DEL AGREGADO FINO	NTE INEN 856	ECUADOR
DENSIDAD REAL DEL CEMENTO	NTE INEN 156- ASTM C 188-03	ECUADOR - USA.
DOSIFICACIÓN	MÉT. UNIVERSIDAD	ECUADOR

	CENTRAL	
COMPRESIÓN	INEN 3066	ECUADOR
ENSAYO TÉRMICO	NCh 849-850-851-853	CHILE
ENSAYO ACÚSTICO	NCh 2786-2864-2865	CHILE
<b><i>ENSAYOS GENERALES</i></b>		
<b><i>ENSAYO</i></b>	<b><i>NORMA</i></b>	<b><i>PAÍS</i></b>
GRANULOMETRIA DEL TRITURADO DE BOLSAS PLÁSTICAS	NTE INEN 696	ECUADOR
GRANULOMETRÍA DEL TRITURADO PET	NTE INEN 696	ECUADOR
GRANULOMETRÍA DEL ASERRÍN	NTE INEN 696	ECUADOR
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL ASERRÍN/BOLSAS PLÁSTICAS/PET	NTE INEN 862	ECUADOR
DENSIDAD APARENTE/COMPACTADA DEL ASERRÍN/ BOLSAS PLÁSTICAS/PET	NTE INEN 858	ECUADOR
DENSIDAD REAL DEL PET /ASERRÍN/BOLSAS PLÁSTICAS	NTE INEN 856-857	ECUADOR
<b><i>NORMAS EXTRAS</i></b>		
<b><i>USO</i></b>	<b><i>NORMA</i></b>	<b><i>PAÍS</i></b>
CONFORT TERMINO Y PRESIÓN SONORA	NEC- CAP 13	ECUADOR
NIVEL DE AISLACIÓN	NCh-352	CHILE