

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**

**Facultad de Ingeniería**

**Escuela Profesional de Ingeniería Civil**



**TESIS**

“Comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico para muros no portantes”

Presentado por:

**Bach. NATALY MARITZA MARCA CARDENAS**

Para optar el título profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

**Abancay – Apurímac – Perú**

**2023**

## **Tesis**

“Comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico para muros no portantes”

## **Línea de investigación**

Gestión de la Infraestructura para el desarrollo sostenible

## **Asesor**

Ing. Mauro Samuel Altamirano Camacho



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Civil**

**“Comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas  
de bloques de concreto celular a base de detergente  
aniónico para muros no portantes”**

Presentado por el Bach. **Nataly Maritza Marca Cardenas**, para optar el título profesional de: **INGENIERO CIVIL**.

Sustentado y aprobado el 16 de noviembre de 2023 ante el jurado:

**Presidente** : Mg. Sc. Angel Maldonado Mendivil  
**Primer miembro** : Mg. Juan Franks Valenzuela Carrasco  
**Segundo miembro** : Mg. Eliana Ortega Menzala  
**Asesor** : Ing. Mauro Samuel Altamirano Camacho

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a aquellas personas que han sido mi fuente principal de inspiración y apoyo a lo largo de este proyecto y de mi camino académico.

## **AGRADECIMIENTO**

Ante el impresionante logro alcanzado con este ambicioso proyecto, solamente se me ocurre una palabra: ¡Gracias!

A Dios por brindarme vida y salud, a mi madre, por ser mi principal y mayor apoyo. A mis hermanos, por ser mis cómplices en este proyecto.

A mi asesor el Ingeniero Mauro Samuel Altamirano Camacho, por su orientación y conocimientos. Agradezco profundamente sus enseñanzas y mentorías.

Al Maestro Gregorio, por su experiencia y sabiduría. Aprecio mucho sus enseñanzas y sus consejos en el campo de nuevos materiales como el concreto celular.

Agradezco profundamente a todos los docentes e ingenieros de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de los Andes, cuyas enseñanzas, habilidades y experiencias han sido fundamentales para mi desarrollo profesional. Quiero expresar mi gratitud por compartir sus conocimientos conmigo y por haber contribuido significativamente a mi crecimiento como ingeniero

A cada uno de ustedes, les estoy enormemente agradecido por su inestimable contribución en mi vida. Sus palabras, apoyo y aliento me han llevado a donde estoy hoy, y siempre los llevaré en mi corazón.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA .....	i
POS PORTADA.....	ii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xiii
ACRÓNIMOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	xvii
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Realidad problemática.....	1
1.2. Identificación y formulación de problemas .....	4
1.2.1. Problema general .....	4
1.2.2. Problemas específicos .....	4
1.3. Justificación de la investigación.....	4
1.4. Objetivos .....	6
1.4.1. Objetivo general .....	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
1.5. Delimitación de la investigación.....	6
1.5.1. Delimitación espacial.....	6
1.5.2. Delimitación temporal.....	6
1.5.3. Delimitación social.....	7
1.5.4. Delimitación conceptual.....	7

1.6.	Viabilidad de la investigación.....	7
1.7.	Limitaciones de la investigación .....	8
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....		10
2.1.	Antecedentes de la investigación .....	10
2.1.1.	Antecedentes a nivel internacional .....	10
2.1.2.	Antecedentes a nivel nacional .....	14
2.1.3.	Antecedentes a nivel local.....	18
2.2.	Bases teóricas.....	20
2.2.1.	El concreto celular.....	20
2.2.2.	Bloques de concreto celular para muros no portantes .....	27
2.2.3.	Ensayos para unidades de albañilería.....	29
2.2.4.	Propiedades del detergente aniónico .....	38
2.2.5.	Aditivos.....	41
2.2.6.	Diseño de mezcla para bloques de concreto celular.....	42
2.2.7.	Bloques de concreto para uso no estructural.....	44
2.3.	Marco conceptual .....	45
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....		49
3.1.	Formulación de la hipótesis .....	49
3.1.1.	Hipótesis general.....	49
3.1.2.	Hipótesis específica .....	49
3.2.	Método .....	50
3.2.1.	Método de la investigación .....	50
3.3.	Tipo de investigación.....	51
3.4.	Nivel o alcance de la investigación .....	52
3.5.	Diseño de la investigación .....	52
3.6.	Operacionalización de variables .....	53
3.7.	Población, muestra y muestreo .....	55
3.7.1.	Población .....	55
3.7.2.	Muestra .....	56

3.8.	Técnicas e instrumentos.....	58
3.8.1.	Técnica para la recolección de datos. ....	58
3.8.2.	Instrumentos de recolección de datos. ....	59
3.9.	Consideraciones éticas .....	61
3.10.	Procedimiento estadístico .....	62
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		63
4.1.	Resultados .....	63
4.1.1.	Respuesta al objetivo general. ....	63
4.1.2.	Respuesta al objetivo específico 1 .....	65
4.1.3.	Respuesta al objetivo específico 2 .....	75
4.1.4.	Respuesta al objetivo específico 3 .....	86
4.2.	Discusión de resultados .....	90
4.3.	Prueba de hipótesis.....	96
4.3.1.	Hipótesis General.....	97
4.3.2.	Hipótesis específica 01.....	99
4.3.3.	Hipótesis específica 02.....	100
4.3.4.	Hipótesis específica 03.....	103
CONCLUSIONES .....		105
RECOMENDACIONES .....		107
BIBLIOGRAFÍA.....		109
ANEXOS.....		114



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Resistencia a la compresión del concreto celular en función a su densidad .....	25
<b>Tabla 2</b> Densidades y aplicación del concreto celular .....	39
<b>Tabla 3</b> Tipo de aditivo según la ASTM C494 .....	42
<b>Tabla 4</b> Composición y propiedades del concreto celular .....	43
<b>Tabla 5</b> Clases de unidades de albañilería para fines estructurales.....	44
<b>Tabla 6</b> Operacionalización de variables .....	54
<b>Tabla 7</b> Cantidad de muestra para la elaboración de ensayos para la obtención de propiedades físicas .....	57
<b>Tabla 8</b> Cantidad de muestra a distintas densidades y edades para ensayo de resistencia.....	57
<b>Tabla 9</b> Cantidad de muestra para ensayos de compresión diagonal y axial (corte) .....	58
<b>Tabla 10</b> Procedimiento, técnicas e instrumentos para la recolección de datos de cada indicador.....	60
<b>Tabla 11</b> Resultados de las propiedades físicas y mecánicas tomando como guía los parámetros de la norma E.070 albañilería .....	64
<b>Tabla 12</b> Resultados detallados de las medidas del ensayo de variación dimensional en bloques de concreto celular.....	66
<b>Tabla 13</b> Resultado optimo en % del ensayo de variación dimensional .....	66
<b>Tabla 14</b> Ensayo de variación dimensional a bloques de concreto celular vs bloques de concreto.....	68
<b>Tabla 15</b> Resultados detallados del ensayo de alabeo en bloques de concreto celular a base de detergente aniónico.....	70
<b>Tabla 16</b> Ensayo de Alabeo a bloques de concreto celular vs bloquetas de concreto.....	71
<b>Tabla 17</b> Resultados detallados del ensayo de absorción en bloques de concreto celular a base de detergente aniónico.....	73
<b>Tabla 18</b> Ensayo de absorción de concreto celular vs bloquetas de concreto ....	74
<b>Tabla 19</b> Resultados detallados de la resistencia a la compresión de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico .....	77

<b>Tabla 20</b>	Ensayo de resistencia a la compresión de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico vs bloquetas de concreto .....	78
<b>Tabla 21</b>	Resultados detallados de la resistencia a la compresión axial en pilas de concreto celular a base de detergente aniónico. ....	81
<b>Tabla 22</b>	Resistencia característica del ensayo de compresión axial .....	82
<b>Tabla 23</b>	Ensayo de resistencia a la compresión de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico vs bloquetas de concreto .....	83
<b>Tabla 24</b>	Resistencia a la compresión diagonal o corte .....	86
<b>Tabla 25</b>	Análisis granulométrico de arena fina, cantera Quispe .....	87
<b>Tabla 26</b>	Obtención de resultados del detergente aniónico .....	89
<b>Tabla 27</b>	Dosificación de mezcla para un m <sup>3</sup> de concreto celular a base de detergente aniónico.....	90
<b>Tabla 28</b>	Resultados de la hipótesis general (resistencia a la compresión) .....	98
<b>Tabla 29</b>	Resultados de la hipótesis específica 1 (alabeo).....	100
<b>Tabla 30</b>	Resultados de la hipótesis específica 2 (variación dimensional) .....	102
<b>Tabla 31</b>	Resultados de la hipótesis específica 3.....	104

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Concreto celular con detalles de los vacíos de aire .....	20
<b>Figura 2</b>	Proceso de fabricación del Concreto Celular .....	22
<b>Figura 3</b>	Precisión y facilidad al cortar un bloque celular .....	27
<b>Figura 4</b>	El concreto se adapta a cualquier forma .....	28
<b>Figura 5</b>	Variación dimensional .....	30
<b>Figura 6</b>	Medición de alabeo (concavidad y convexidad) en unidades de albañilería .....	31
<b>Figura 7</b>	Ensayo de absorción .....	33
<b>Figura 8</b>	Resistencia a la compresión de unidades de albañilería .....	34
<b>Figura 9</b>	Compresión diagonal a muretes .....	36
<b>Figura 10</b>	Compresión axial a pilas o prismas .....	38
<b>Figura 11</b>	Representación gráfica del proceso mecánico de las burbujas .....	39
<b>Figura 12</b>	Mecanismo para la obtención de espuma .....	41
<b>Figura 13</b>	Ubicación de un muro no portante en una edificación .....	45
<b>Figura 14</b>	Bloques de concreto celular. ....	55
<b>Figura 15</b>	Análisis comparativo de la variación dimensional (bloques de concreto celular vs bloquetas de concreto).....	69
<b>Figura 16</b>	Análisis comparativo de Alabeo (bloques de concreto celular vs bloquetas de concreto).....	72
<b>Figura 17</b>	Análisis comparativo de la absorción (bloques de concreto celular vs bloquetas de concreto).....	75
<b>Figura 18</b>	Análisis comparativo de la resistencia a la compresión (bloques de concreto celular vs bloquetas de concreto) .....	80
<b>Figura 19</b>	Análisis comparativo de la resistencia a la compresión axial (bloques de concreto celular vs bloquetas de concreto) .....	84
<b>Figura 20</b>	Curva granulométrica arena fina cantera Quispe.....	88
<b>Figura 21</b>	Gráfica descriptiva de la media y mediana de la hipótesis general (resistencia a la compresion) .....	97
<b>Figura 22</b>	Gráfica descriptiva de la media y mediana de la hipótesis específica 1 (alabeo).....	99
<b>Figura 23</b>	Gráfica descriptiva de la media y mediana de la hipótesis específica 2 .....	101

**Figura 24** Gráfica descriptiva de la media y mediana de la hipótesis específica 3  
..... 103

## ÍNDICE DE ECUACIONES

EC- 1 Variación dimensional .....	30
EC- 2 Absorción .....	32
EC- 3 Resistencia a la compresión de unidades de albañilería .....	33
EC- 4 Esfuerzo cortante en muretes de albañilería .....	35
EC- 5 Resistencia a la compresión axial en pilas de albañilería .....	37
EC- 6 Formula para el cálculo de la densidad de la espuma. ....	40

## **ACRÓNIMOS**

*AASHTO. American Association of State Highway and Transportation Officials*

*INEI. Instituto Nacional de Estadística e Informática*

*ACI. American Concrete Institute*

## RESUMEN

La investigación se centró en la producción de bloques de concreto celular utilizando detergente aniónico, los cuales cumplen con los estándares mínimos definidos por la normativa E.070 de albañilería para muros no portantes. Llevando a cabo pruebas exhaustivas para evaluar tanto las características físicas como las propiedades mecánicas de estos bloques, y se estableció una comparación con los bloques de concreto convencionales. Los bloques de concreto celular mostraron una variación dimensional mínima 0.1% frente al 1% de las bloquetas. En el alabeo, los bloques tuvieron 0.2 mm, mientras las bloquetas tuvieron 3.29 mm. En absorción, las bloquetas tuvieron un 9.14% y los bloques de concreto celular un 13.62%. En lo que respecta a las propiedades mecánicas, los bloques de concreto celular alcanzaron una resistencia a la compresión de 24.26 kg/cm<sup>2</sup>, superando el diseño mínimo de 20 kg/cm<sup>2</sup> para muros no portantes. Mientras tanto, las bloquetas obtuvieron una resistencia de 39.53 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual se considera adecuado para muros no portantes mas no para muros estructurales. La resistencia a la compresión axial de los prismas de concreto celular fue de 22.99 kg/cm<sup>2</sup>, y los prismas de bloquetas lograron 38.73 kg/cm<sup>2</sup>. En cuanto a la resistencia a la compresión diagonal, ambos cumplieron con los estándares para muros no portantes, alcanzando 4.33 kg/cm<sup>2</sup>.

**Palabras clave:** *bloques de concreto celular a base de detergente aniónico*

## ABSTRACT

The research focused on the production of cellular concrete blocks using anionic detergent, which meet the minimum standards defined by the E.070 masonry standard for non-load-bearing walls. Extensive tests were carried out to evaluate both the physical characteristics and mechanical properties of these blocks, and a comparison was made with conventional concrete blocks. The cellular concrete blocks showed a minimum dimensional variation of 0.1% versus 1% for the blocks. In warping, the blocks had 0.2 mm, while the blocks had 3.29 mm. In absorption, the blocks had 9.14% and the cellular concrete blocks 13.62%. In terms of mechanical properties, the cellular concrete blocks achieved a compressive strength of 24.26 kg/cm<sup>2</sup>, exceeding the minimum design of 20 kg/cm<sup>2</sup> for non-load-bearing walls. Meanwhile, the cellular concrete blocks obtained a resistance of 39.53 kg/cm<sup>2</sup>, which is considered adequate for non-load-bearing walls but not for structural walls. The axial compressive strength of the cellular concrete prisms was 22.99 kg/cm<sup>2</sup>, and the block prisms achieved 38.73 kg/cm<sup>2</sup>. As for the diagonal compressive strength, both met the standards for non-load-bearing walls, reaching 4.33 kg/cm<sup>2</sup>.

***Keywords:*** *anionic detergent-based cellular concrete blocks*



## INTRODUCCIÓN

Los materiales de construcción desempeñan un papel crucial en la búsqueda de soluciones no solo que sean resistentes y funcionales, sino también amigables con el medio ambiente y capaces de mejorar la calidad de vida de las personas.

Esta tesis se centra en el análisis de las propiedades físicas y mecánicas de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico diseñados específicamente para muros no portantes. Los bloques de concreto celular son reconocidos por su densidad versus resistencia en la construcción. A pesar de su potencial, se ha observado una falta de investigaciones exhaustivas que aborden sus propiedades físicas y mecánicas de manera integral.

En este estudio, se investigan dos aspectos fundamentales: las propiedades físicas, incluyendo la variación dimensional y el alabeo; y las propiedades mecánicas, evaluadas mediante pruebas de absorción, resistencia a la compresión en bloques, resistencia a la compresión axial en pilas o prismas, y resistencia a la compresión diagonal en muretes. Estos resultados proporcionarán una comprensión más completa de las capacidades de los bloques de concreto celular, contribuyendo así al conocimiento en el campo de la construcción sostenible y eficiente en términos energéticos.

Aunque esta investigación no aborda las propiedades térmicas y acústicas de los bloques de concreto celular, su importancia radica en el aporte de información crucial para futuros desarrollos y aplicaciones en la construcción moderna, impulsando la adopción de materiales respetuosos con el medio ambiente y eficaces en el aislamiento.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Realidad problemática**

La innovación es útil y fundamental en el crecimiento de una sociedad, “a mayor innovación, mayor producción de bienes y servicios y por ende mayor crecimiento económico y desarrollo” (Somos Iberoamérica). Los países latinoamericanos no se encuentran dentro de las 25 economías que encabezan Mundialmente el índice de Innovación 2021 según la Organización Mundial de la propiedad Intelectual. Esto indica que, en gran parte en los países latinoamericanos, la investigación, la infraestructura, la producción de nuevas tecnologías y productos creativos, se están dando de forma muy lenta.

En el rubro de la construcción, la innovación se traduce a la incorporación de nuevas ideas, tecnologías, metodologías que aceleren y garanticen la calidad de los procesos constructivos que van desde el diseño hasta la ejecución y su mantenimiento. Países asiáticos y europeos gozan de nuevos materiales de construcción que brindan rapidez y versatilidad a los constructores, y sobre todo mayor confort al usuario. Estos países ya industrializaron la construcción, donde

puede ser vista como un ensamblado de elementos estructurales prefabricados, este tipo de construcción “permite que los proyectos se completen en la mitad de tiempo que las construcciones tradicionales”(ABC Modular, s. f.). Ahora, estos mismos ya buscan la construcción sostenible, que, entre sus objetivos, el principal es cuidar el planeta y así afianzar la prosperidad para todos siendo parte de una inédita agenda de crecimiento sostenible (ABC Modular, 2023).

En el Perú, gran parte del sector de la construcción aún mantiene los procedimientos constructivos arcaicos que demandan mayor tiempo y costo, a razón del poco interés y trabajo o tiempo dedicado por parte de los profesionales y empresas para poder aprender estas nuevas técnicas con nuevos materiales y equipos. Esto ocasiona que, en el mercado local de la construcción, la adquisición de productos innovadores se dificulte, teniendo que solicitar a países vecinos e incluso de otros continentes, lo cual incrementa abruptamente el costo real del producto, lo que hace que un consumidor o constructor promedio le sea casi imposible de adquirir el material y/o equipo. Es así como, materiales de construcción como el concreto ligero son mínimamente difundidos en el Perú, la investigación respecto a estos materiales es escaso en comparación al concreto convencional. Además, hoy en día se construyen edificios de gran tamaño lo que requiere que se utilicen materiales de reducido peso para disminuir el impacto del sismo en la edificación. Las nuevas tecnologías de materiales de construcción pueden asumir este rol, de aliviar el peso total de la edificación, sin embargo, en gran parte de las ciudades principales del país desconocen de lo nuevo y se someten a lo tradicional.

Por otro lado, en un ámbito ecológico, la Agencia Internacional de la Energía dice que: “la energía añadida de las emisiones de gases de efecto invernadero

causadas por la construcción de edificios y obras de ingeniería civil manifiestan un 20% en el consumo absoluto de energía y de las transmisiones al mundo”(Torres, 2021). En ese contexto, el sector construcción perjudica de gran manera el medio ambiente, por ello, “se requiere que en la construcción los materiales y recursos utilizados permitan la circularidad, desde su fabricación hasta su posible deconstrucción o demolición” así lo menciona la directora principal de la inmobiliaria “Vía Ágora”.

En la ciudad de Abancay, una realidad problemática persiste debido a la falta de conocimiento sobre nuevos materiales de construcción. A pesar de los numerosos beneficios y aplicaciones que nos permiten las nuevas tendencias, el sector local se resiste y continua con lo habitual. Como resultado, los proyectos de construcción en la ciudad no aprovechan estas ventajas, lo que limita su potencial para el desarrollo urbano sostenible. Un aspecto adicional de esta problemática es la falta de proveedores locales lo que conlleva la necesidad de importar los materiales especializados. Esto incrementa significativamente los gastos de construcción. Esto se traduce en un obstáculo para las empresas y los constructores locales, quienes se ven obligados a optar por alternativas menos eficientes y más costosas.

El crecimiento demográfico en Abancay se está dando aceleradamente, se construyen viviendas día tras día, entonces, los materiales de construcción tienen una gran influencia en esta actividad, específicamente las unidades de albañilería, tales como la bloqueta de concreto y el ladrillo, no obstante, más allá del desconocimiento de la calidad con los que están fabricados estos materiales, es una latente preocupación que aún no se innoven con nuevas unidades de albañilería que ya sean eco amigables y sumen a la sostenibilidad ambiental.

A causa de la problemática descrita, esta investigación propuso un material de albañilería liviano que es el bloque de concreto celular. Este es un material de construcción que tiene muchos beneficios tanto en el proceso constructivo como la reducción del consumo de combustibles, por ello, es un material que apoya al medio ambiente.

## **1.2. Identificación y formulación de problemas**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuál es el comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico para muros no portantes?

### **1.2.2. Problemas específicos**

¿Cuál es el comportamiento de las propiedades físicas de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico para muros no portantes?

¿Cuál es el comportamiento de las propiedades mecánicas de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico para muros no portantes?

¿Cuál es la dosificación de mezcla óptima para un bloque de concreto celular a base de detergente aniónico de una densidad de  $800 \text{ kg/m}^3$  ?

## **1.3. Justificación de la investigación**

Frente a la problemática previamente expuesta, esta investigación propuso adentrarse en el estudio del concreto celular, específicamente, con relación a los bloques de concreto celular utilizados en la albañilería no estructural. La tesis abordó de manera efectiva el desafío presente en el ámbito de la innovación local,

con el potencial de aplicación eficaz en el sector de la construcción. Como resultado, esta investigación contribuye a la difusión y adopción de estos materiales, facilitando la introducción de nuevas tecnologías en la ciudad de Abancay y sus alrededores a través de la investigación científica.

Por otra parte, se planteó utilizar detergente aniónico como agente espumante en sustitución de la espuma convencional, cuya producción se encuentra limitada en el mercado local. Se ha observado que este producto tiene el potencial de igualar las propiedades del espumante tradicional, y su disponibilidad en el mercado local lo convierte en una alternativa beneficiosa para constructores y fabricantes de elementos de albañilería interesados en innovar con este nuevo material.

En este contexto, la tesis tuvo como objetivo principal comprender el comportamiento físico y mecánico del concreto celular elaborado con detergente aniónico, en plena conformidad con los estándares mínimos establecidos por *Norma E.070 Albañilería* (2019). El análisis de las propiedades físicas sirvió como indicador de la ligereza y versatilidad que este material puede alcanzar, lo que lo convierte en una posible alternativa para reducir la carga estructural en edificios de gran altura y mitigar los efectos de los sismos, garantizando así la seguridad de las estructuras.

Becosan, una empresa especializada en concreto celular destaca que este tipo de concreto ofrece una amplia gama de ventajas, como rápida instalación, alta resistencia al fuego, eficaz aislamiento acústico excelente aislamiento térmico, facilidad de trabajo, durabilidad, y una impresionante resistencia, entre otras

cualidades. En resumen, este material proporciona comodidad a los usuarios, facilidad de manejo para los constructores y promueve la sostenibilidad ambiental.

#### **1.4. Objetivos**

##### ***1.4.1. Objetivo general***

Analizar el comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico para muros no portantes.

##### ***1.4.2. Objetivos específicos***

Determinar el comportamiento de las propiedades físicas de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico para muros no portantes.

Determinar el comportamiento de las propiedades mecánicas de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico para muros no portantes.

Establecer una dosificación de mezcla óptima para un bloque de concreto celular a base de detergente aniónico de una densidad de 800 kg/m<sup>3</sup>.

#### **1.5. Delimitación de la investigación**

##### ***1.5.1. Delimitación espacial***

La tesis actual tiene un alcance geográfico específico en la región de Apurímac, en la provincia y distrito de Abancay, concretamente la ciudad de Abancay. Esta elección se basa en la presencia de canteras de agregados pétreos de alta calidad en esta área.

##### ***1.5.2. Delimitación temporal***

La tesis actual esta circunscrita en el tiempo, abarcando un período que se extiende desde mayo del 2023 hasta septiembre del mismo año. Este marco temporal se estableció con el propósito de analizar de manera detallada esta investigación.

### **1.5.3. Delimitación social**

Esta delimitación no es aplicable en la presente tesis, ya que el enfoque se centró en el estudio del concreto con el propósito de fabricar unidades de albañilería, en lugar de investigar aspectos relacionados con personas.

### **1.5.4. Delimitación conceptual**

La delimitación conceptual de la tesis se centró en el estudio de los bloques de concreto celular a base de detergente aniónico, con énfasis en el estudio de sus cualidades físicas y mecánicas a través de pruebas de laboratorio. Esta delimitación se apoya en la observación y análisis de dichos bloques, mientras se garantiza la adhesión a los indicadores límites establecidos por la norma E-070 de albañilería. Esto establece un marco conceptual sólido y define claramente el alcance del estudio, que se concentra en comprender el comportamiento de estos bloques con respecto a las normas mencionadas.

## **1.6. Viabilidad de la investigación**

La viabilidad de la tesis se sustenta en múltiples aspectos. En primer lugar, se llevó a cabo en Abancay, lo cual facilitó el acceso a la información, conocimientos, herramientas, materiales y el tiempo necesario para su desarrollo. Además, nuestra localidad cuenta con laboratorios de concreto y un personal altamente capacitado, Lo que garantiza la calidad de la realización de los análisis



de laboratorio. Desde el punto de vista económico, la Dirección de Investigación de la Universidad Tecnológica de los Andes cubrió los gastos relacionados con la mano de obra, el traslado de equipos, la adquisición de materiales y los pagos de los ensayos de resistencia a la compresión por bloques y resistencia a la compresión diagonal en muretes. Por mi parte, asumí los gastos de los ensayos adicionales, así como los costos de copias e impresiones. En cuanto a los materiales, Abancay dispone de canteras de alta calidad, de donde se obtuvo los recursos pétreos necesarios, como la arena fina. Además, el detergente aniónico, requerido para la tesis, está ampliamente disponible en las tiendas locales. En términos de tecnología, se cuenta con un completo conjunto de dispositivos, incluyendo laptops, cuadernos para tomar notas y una amplia gama de programas informáticos, que nos permiten redactar y procesar eficazmente la información recopilada durante la elaboración de ensayos y redacción del mismo proyecto.

### **1.7. Limitaciones de la investigación**

Existieron diversas limitaciones para la investigación. Como primera limitación, fue la escasa información científica referente al concreto celular elaborado con componentes que sustituyen el aditivo espumante, la información existente es producto del proceso empírico, lo que no garantiza la confiabilidad.

El concreto convencional presenta abundantes métodos para su diseño, lo que no pasa con el concreto celular, de ahí viene la segunda limitación, no se tiene un diseño de mezclas patentado o garantizado para este tipo de concreto, simplemente la resistencia se basa en su densidad y la distribución y tamaño de sus poros. La revisión bibliográfica brinda distintas dosificaciones relacionadas a la densidad y la resistencia a la compresión, sumado a esto la carente información del

proceso de fabricación. Por ello, se limitó a fabricar unidades que ostentan una densidad de aproximadamente  $800 \text{ kg/m}^3$  basada en la reducida información existente, con el propósito de cumplir los parámetros mínimos impuestos por la norma E.070 albañilería.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

##### ***2.1.1. Antecedentes a nivel internacional***

Yoc Chamalé (2018), para el trabajo de tesis titulado “Fabricación y prueba experimental bloques de concreto celular con preformación de espuma” (tesis de pregrado), realizada en Guatemala, tuvo como objetivo general, la evaluación experimental del % de absorción de agua y la resistencia a compresión en bloques fabricados con concreto celular con preformación de espuma, y calificar los materiales con los que están compuestos, espuma preformada, aglomerante y agregados, formulados para la elaboración de las mezclas de concreto celular, y así mismo especificar las características de producción de los bloques. La metodología usada fue factorial, ensayos y muestreos de laboratorio; comparación y análisis del producto, y siendo esta la última etapa se llegó a las siguientes conclusiones y recomendaciones. Esta investigación es experimental aplicada, el investigador elaboró bloques de concreto celular con masa de burbujas preformada, y usando la piedra pómez, como agregado, ya que este material abunda mucho en

la localidad de Guatemala, la investigación se basó en establecer parte de la mezcla con base en el informe del comité ACI 523 3R-14 (2014) teniendo en cuenta esta norma, se realizaron los distintos ensayos en estado endurecido y fresco de mezcla de concreto celular. La finalidad de esta investigación fue presentar una nueva alternativa de mampostería en la construcción.

Pérez Buenfil (2019), para su investigación que lleva por título “*estudio de las características Mecánicas del Concreto Celular Autoclave*” (Tesis de pregrado), realizado en la región de Yucatán – México. Plantea como objetivo principal: Analizar las características mecánicas del Concreto Celular Autoclave (CCA) mediante ensayos experimentales y modelos del Finite Element Method (MEF). Así alcanzar su objetivo de investigación se detalla la obtención de las características mecánicas del CCA, propiedades mecánicas de la mampostería de CCA, el desarrollo del modelo elástico de MEF para diferentes pruebas a tensión y por último el análisis de propiedades mecánicas mediante MEF. Sujeto por las normas ASTM C496, ASTM C1006 y ASTM E 519. Obteniendo como conclusión lo siguiente: la resistencia a compresión axial del CCA depende del contenido de humedad, las ecuaciones del ACI aproximaron satisfactoriamente los valores del El Módulo de Young y la resistencia a la tensión, alcanzando a si resultados buenos, cumpliendo el propósito del objetivo principal y específico.

Ricalde Jiménez (2017), en su trabajo de investigación de tesis titulado “Flexión en Muros Confinados de Concreto Celular de Autoclave: Efecto de la Carga Axial” (tesis de pregrado), realizado en la ciudad de Yucatán – México, propuso como objetivo principal estudiar el comportamiento a flexión que se encuentran sujetos a cargas laterales en el plano de muros confinados de CCA. El motivo de esta investigación es que se presentaron muy pocos estudios sujetos a cargas

laterales con relación a muros confinados de CCA, por lo que, el tesista procedió a llevar 7 muros a ensayos, 4 por comportamiento dominado por cortante y 3 por flexión. La metodología usada fue: la especificación de las propiedades de los materiales, construcción y diseño de muros, diseño del sistema de instrumentación, carga y el desarrollo del modelo de histéresis. Los resultados indican una humedad media máxima del 8.24%, una resistencia a la compresión axial de 44.13 (kg/cm<sup>2</sup>) en los bloques, una resistencia a la tracción de 3,88 (kg/7 cm<sup>2</sup>) y una resistencia a la compresión axial de 172, 169 y 187 (kg/cm<sup>2</sup>) en los muros. En tipos de falla se observó, para el primer y segundo muro, grietas horizontales, grietas por flexo-cortante, grietas diagonales, mientras que en el tercer muro se observó, las mismas grietas con diferencia en la grieta por flexo-cortante y diagonal. Como conclusión se observó que el modelo de histéresis seleccionado para este trabajo representa adecuadamente el comportamiento de los muros estudiados.

Arbitro Contreras (2016), en su investigación de posgrado que tiene como título "Concreto Celular en uso Estructural "(tesis de posgrado), realizado en la ciudad de Cuenca – Ecuador, planteo como objetivos: Analizar las propiedades físico-mecánicas y su comportamiento del agente espumante en combinación con el árido fino y la pasta de cemento Portland; identificar la estabilidad del agente espumante y la adecuada para la fabricación de hormigón celular; para así diseñar la mezcla de hormigón convencional como referencia, y gradualmente modificarla mediante la sustitución progresiva del árido (arena fina) por el agente espumante; evaluar el impacto del reemplazo de arena fina y el árido liviano en la mezcla por el agente espumante en términos de resistencia a la compresión y peso; explorar posibles aplicaciones de estos hormigones modificados y ejecutar un diseño experimental riguroso para garantizar los resultados que se obtengan mediante

validez científica. Como metodología uso la revisión bibliográfica, diseño de un hormigo testigo y el experimento uni-factorial para la aplicación de análisis de resultados. el tesista llevo a ensayos 16 tipos de mezclas: con áridos de la mina Avathar ensayo 5 mezclas y mediante la adición de áridos livianos chasqui ensayo 11 mezclas remplazando en un 60%, 15%, 10% y un 5% en peso de áridos. Arribando a la conclusión de que, mediante el incremento del porcentaje en la incorporación del agente espumante, disminuye la resistencia a la compresión a diferencia del hormigón convencional y además el uso de hormigones celulares con agente espumante se presenta como una opción adecuada para non-structural elements, como paneles divisorios entre otros componentes que generalmente no requieren soportar cargas, así como para aplicaciones como material de relleno. Así mismo, estos hormigones representan una opción viable en edificaciones en mínima escala, así como proyectos de vivienda social y viviendas de dos niveles.

De Olivera Silva (2018), en su trabajo de investigación titulado “Estudio de Dosificación y Evaluación de Hormigón Celular para Fines Estructurales” (tesis de pregrado), realizado en la ciudad de Maceió – Brasil, plateo de objetivo principal: estudiar la obtención, utilidad y características de distintos hormigones celulares añadiendo y sin añadir áridos gruesos, con propósitos estructurales al construir muros, usando distintos aditivos y métodos de adición de burbujas de aire. Y para ello el investigador desarrollo tres tipos de hormigón celular adoptando diferentes tipos de dosificación, materiales y composiciones: el primero se realizó mediante aditivos generadores de espuma sin agregado grueso. El segundo con aditivos químicos incorporadores de burbujas de aire, sin agregado grueso, por acción mecánica de la mezcladora. Y el tercero con agregado grueso y aditivo incorporador de burbujas de aire. Se evaluaron también las características del concreto en

estado fresco (densidad, consistencia y contenido de aire incluido) y en estado endurecido (resistencia a la compresión). La mayor resistencia obtenida de la evaluación del hormigón celular fue a los 28 días teniendo 6.5 Mp, 19.5Mp y 23.5Mp siendo estos resultados aplicables en muros con fines estructurales

### **2.1.2. Antecedentes a nivel nacional**

Lazo Arraya (2017), para su investigación que lleva por título “Diseño de Concreto Celular para, Análisis de sus Propiedades, Diferentes Densidades y su utilidad” (tesis pregrado), realizado en la ciudad de Arequipa – Perú, planteo como objetivo el diseño de concreto celular con densidades distintas así mismo con materiales de fácil adquisición en la ciudad de Arequipa. Lazo muestra al concreto celular como un hormigón ligero con aditivo espumante y plastificante con distintas utilidades en función al esfuerzo a compresión y de su densidad. En su fabricación hicieron ensayos previos al diseño de mezclas, así mismo la fluidez y resistencia obteniendo la relación a/c, la cantidad de cemento y el diseño, hicieron el ensayo del cono de March obteniendo el punto de congestión del aditivo y realizó un gráfico que enlaza la dosificación del tiempo de mezclado, peso unitario y aditivo espumante. Después se fabricaron tres diseños, el diseño 1 realizado con arena y cemento, el diseño 2 con piedra pómez, arena y cemento así finalmente el diseño 3 con piedra del huso 89 y arena, con cada dosificación se fabricaron concretos celulares de distintas densidades, los ensayos de contenido de aire, consistencia, peso unitario, y rendimiento se hicieron en el estado fresco, en estado endurecido se realizaron los ensayos de resistencia a la compresión, absorción, contracción, permeabilidad, densidad de equilibrio y ultrasonido. Se hicieron comparaciones de costos en concreto celular y concreto convencional.

Izquierdo & Ortega (2017), en su investigación titulado “Aplicación y desarrollo a base de aditivo espumante Concreto para la fabricación de unidades de albañilería afectos a tabiquerías no portantes en Edificaciones” (tesis de pregrado), realizado en el departamento de Lima, planteo el objetivo principal de la siguiente manera, examinar y describir las propiedades mecánicas y físicas unidades de albañilería sólidos de concreto celular con MasterCell 10 el aditivo espumante, que están diseñados para su aplicación en tabiquería no estructural. Dividió el trabajo en cuatro secciones que abarcan todas las facetas de investigación. La primera sección aborda las generalidades, proporcionando un repaso antiguo y estableciendo el objetivo de investigación. La segunda sección se concentra en el marco teórico, que abarca información sobre el hormigón, se adentra gradualmente en el concreto celular con aditivo espumante. La tercera sección presenta de los materiales utilizados sus características generales, así como los ensayos programados para el concreto celular en evaluación. Por último, la cuarta sección se dedica al análisis de los resultados de los ensayos y su comparación con los materiales tradicionales utilizados en construcción no estructural. Todos los ensayos y pruebas se realizan conforme a las normativas de la NTP y la ASTM. A lo largo del trabajo, se proporcionan explicaciones y menciones de los métodos de cálculo, tablas y gráficos utilizados.

Huaman & Villanueva (2020), en su trabajo de investigación titulado “Análisis de las características de resistencia mecánica de un bloque de albañilería destinado a ser empleado en muros estructurales utilizando concreto celular en Lima 2020.” (tesis pregrado), realizado en el departamento de Lima, Se plantea como objetivo primordial resaltar las propiedades mecánicas de unidad de albañilería de concreto celular ligero (CCL) con el fin de su aplicación en sistemas de albañilería confinada



y porticada. La metodología empleada fue de carácter aplicado y pre-experimental de diseño. Llevando a cabo el ensayo de fluidez utilizando el "Standard Test Method for Slump Flow of Self-Compacting Concrete " según la normativa ASTM C1611M, donde se comprobó y se aceptó la disgregación de la mezcla. Con relación al revenimiento, realizaron ensayos de conductividad térmica en tres ejemplares, obteniendo un valor de 0.254 w/mk, así como un aislamiento acústico de 22 dB en una muestra de 100 mm de diámetro. Además, llevaron a cabo ensayos de unidades a compresión axial ( $f'_m$ ), así como a compresión por corte diagonal ( $V'_m$ ). Estos resultados se diferencian con materiales como el hormigón convencional y ladrillos artesanales. Se obtuvo un valor de  $f'_m$  de 47.8 kg/cm<sup>2</sup>, lo que representó una disminución del 35.4% en comparación con la capacidad del bloque P, y un incremento del 27% en comparación con los ladrillos artesanales tipo I. En cuanto al valor promedio de  $V'_m$ , fue de 7.4 kg/cm<sup>2</sup>, lo que significó una disminución del 14% en relación con el bloque tipo P y un aumento del 31.2% en comparación con los ladrillos artesanales. En resumen, se concluyó que el bloque P es adecuado como bloque de uso estructural. Sin embargo, es importante mencionar que la normativa no ofrece parámetros de resistencia específicos para el concreto celular ligero (CCL).

Zamora Terrones (2016), en su tesis de pregrado, "Diseño de un bloque de Hormigón Celular y su aplicación como unidad de albañilería no estructural", realizada en la ciudad de Cajamarca. El objetivo principal de este estudio fue crear un bloque de concreto celular que cumpla con las especificaciones mecánicas y físicas del NTP. Se produjeron 144 muestras con forma cúbica, manteniendo una dosificación constante de Adikrete, el aditivo espumante. Estas muestras se organizaron en tres grupos según su densidad aparente, que fue de 1400 (kg/m<sup>3</sup>),

1200 (kg/m<sup>3</sup>) y 1000 (kg/m<sup>3</sup>). En el diseño de cada uno de estos grupos de densidad se incluyeron cuatro variaciones de composición, utilizando el aditivo plastificante Sikament 290N y la fibra de polipropileno Sikafiber en diversas combinaciones. Los elementos de estas agrupaciones se designaron por sus nombres: E para espuma, EAF para espuma-aditivo-fibra, EF para espuma-fibra y EA para espuma-aditivo. La "Guía para el hormigón celular con densidades superiores a 800 kg/m<sup>3</sup>" de la norma ACI 523.3R-14 sirvió de base para el diseño de las mezclas de hormigón celular. Los materiales utilizados fueron cemento Portland Tipo I de Pacasmayo, fibra de polipropileno Sikafiber, aditivo espumante Adikrete, árido fino de granulometría variable en función de la densidad necesaria y aditivo plastificante Sikament 290N. Según los resultados, las unidades tienen una resistencia a la compresión de 71.55 kg/cm<sup>2</sup> cuando se apilan de dos en dos.

Arapa Cruz (2016), en su investigación que lleva por título "diseño y análisis comparativo mediante el uso de espuma de poliestireno y agente espumante en el Concreto Celular" (tesis pregrado), realizado en la ciudad de Juliaca – Perú, El propósito de este estudio busco obtener las propiedades del concreto celular, examinando sus distintos elementos en tres tipos de mezclas: con espuma de poliestireno, con agente espumante, y la combinación de ambos. su objetivo era realizar una comparación entre estas mezclas para identificar cuál de ellas presenta las propiedades más eficientes en función de características específicas. Como parte de la aplicación en la construcción de este concreto, fabricaron bloques, conocidas comúnmente como bloquetas, utilizando las tres variedades de mezclas. Esto proporcionó información acerca de su comportamiento térmico. Además, se realizaron pruebas en los especímenes de cada mezcla para determinar sus propiedades, incluyendo la resistencia a la compresión, la masa unitaria,

conductividad térmica, resistencia y transmitancia térmica. Así mismo, se analizaron los resultados de estas pruebas hechas en distintas mezclas. Como resultado, se concluyó que el concreto celular con espuma de poliestireno es la opción óptima entre las tres variedades, ya que su masa unitaria es un 50% menos densa, es un 40% más ligero en términos de peso y ofrece una aislación térmica un 40% superior en comparación con el concreto tradicional o convencional. Con esto amerita que es una elección óptima para aplicaciones de concreto celular.

### **2.1.3. Antecedentes a nivel local**

Las características mecánicas y físicas de los bloques de hormigón celular para muros no portantes no se han estudiado localmente, pero es vital hacerlo para comprender las características de los bloques de hormigón celular, pero si precisan el estudio de las propiedades mecánicas y físicas a los que se ha añadido vidrio molido y evaluación de la resistencia, absorción y permeabilidad capilar de bloques de concreto elaborados con incorporación de emulsión de parafina. Se sugieres realizar más investigaciones con respecto al tema.

Diaz Aymara (2022), en su trabajo de investigación titulado “Estudio de las propiedades mecánicas y físicas de las bloquetas hechas de concreto incorporando vidrio triturado en Abancay, Apurímac, 2022” (tesis de pregrado), realizada en Abancay, propone como objetivo primordial la evaluación de las propiedades mecánicas y físicas de bloquetas hechas de concreto incorporando vidrio triturado. Teniendo como población, una cantidad de bloquetas convencionales y otra parte de bloquetas hechas de concreto con un porcentaje de vidrio molido. Por otro lado, para la muestra de esta investigación, el investigador considero 75 unidades de bloquetas de concreto con un % de vidrio triturado, y estas fueron divididas en

distintos grupos para la elaboración de los ensayos. Su diseño fue experimental y de tipo aplicada. Los resultados alcanzados son los siguientes: Las unidades construidas con 15% de vidrio esmerilado y los bloques construidos con hormigón normal produjeron resultados idénticos en los ensayos de alabeo, variación dimensional y succión. Se obtuvo una resistencia de  $f'b=18.13 \text{ kg/cm}^2$  en el ensayo de resistencia a la compresión de los bloques combinados con 15% de vidrio molido, y de  $F'm=39.78 \text{ kg/cm}^2$  en el ensayo de resistencia a la compresión axial de los pilotes. Teniendo como resultado que al incorporar vidrio triturado en porcentajes pequeños al diseño de mezcla este incrementara sus propiedades mecánicas.

Cabrera & Ramirez (2019), El objetivo principal del estudio del investigador, “Evaluación de la resistencia, absorción capilar y permeabilidad de bloques de hormigón fabricados con adición de emulsión de parafina en la ciudad de Abancay-2018” (tesis de pregrado), realizado en la ciudad de Abancay, es mejorar las propiedades mecánicas y físicas de estos bloques en comparación con los bloques de hormigón convencionales. poblado por treinta bloques de hormigón. Este estudio se centró en la evaluación de bloques de concretos fabricados en Abancay, con la finalidad de resolver la cuestión de la humedad en las viviendas del departamento de Apurímac. En el primer capítulo, se muestra detalles la problemática de la humedad en las paredes de las viviendas. Para el segundo capítulo proporciona una base teórica relevante para el proyecto de investigación. Para el capítulo tres, describe la metodología empleada para el proyecto. Para el capítulo cuatro muestra los ensayos del laboratorio realizados en bloques de concreto adicionado y sin la adición de emulsión de parafina, junto con todo lo obtenido. Finalmente, para el

quinto capítulo incluye conclusiones y recomendaciones que intervienen con el proyecto a investigar.

## 2.2. Bases teóricas

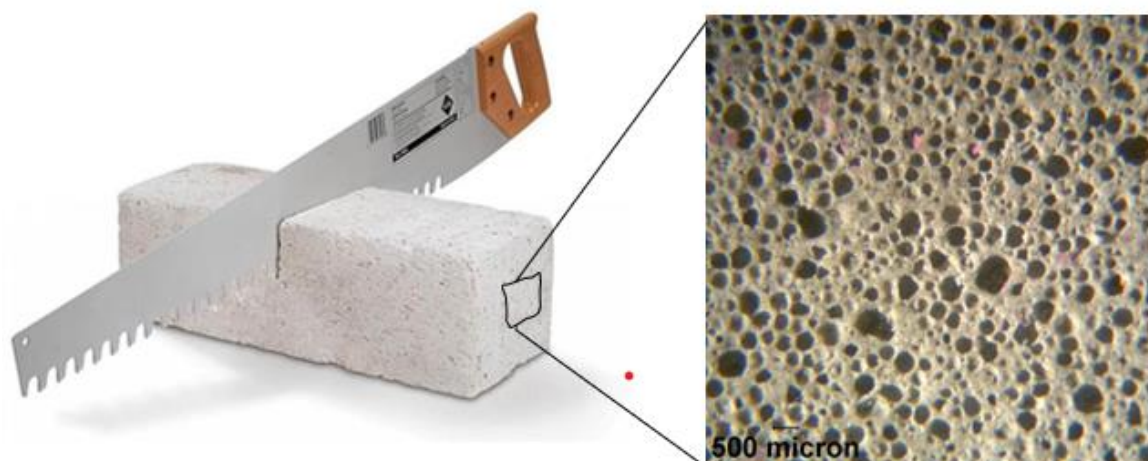
### 2.2.1. El concreto celular

El concreto celular es una mezcla de cemento portland, arena fina y lechada de agua, combinada con espuma preformada para crear vacíos de aire, que puede actuar como una alternativa fuerte, liviana, duradera y económica. La clave es obtener una estructura de vacío o celda de aire homogénea y estable. La estructura celular se obtiene en esencia por la incorporación macroscópica de vacíos (burbujas de aire) resultantes de la incorporación mecánica de aire u otros gases.

El concreto celular inicialmente fue empleado como un producto de construcción para sistemas de pisos tanto en los EE.UU como en Europa a lo largo de la primera parte del siglo XX, en el año 1924 finalmente se patentó por J.A. Ericsson.

### Figura 1

*Concreto celular con detalles de los vacíos de aire*



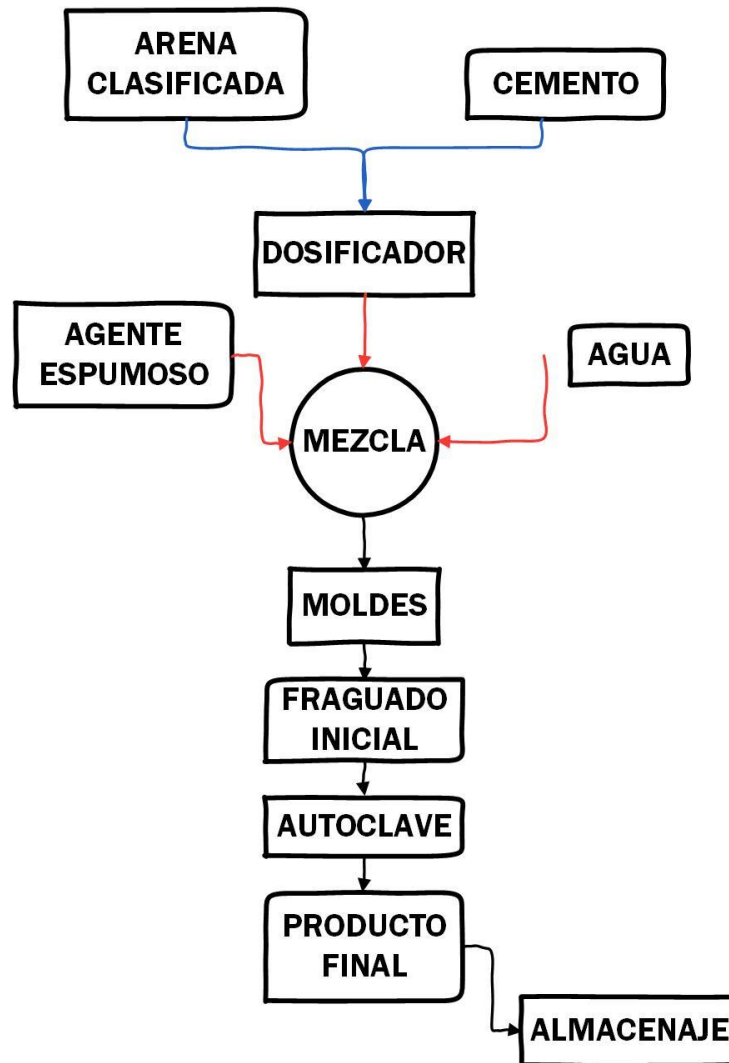
*Nota:* El concreto celular en su estado endurecido consiste en una matriz de cemento portland rellena de vacíos de aire diminutos de aproximadamente 1.0 mm de diámetro. La figura es adaptada de “De hormigón (2022)” y “(Guide to Lightweight Cellular Concrete for Geotechnical Applications, 2021)”.

Además del concreto celular, a menudo se utilizan muchos otros términos para describir este material, como hormigón celular, concreto aireado u concreto liviano. Para evitar confusiones y mantener la coherencia, el término utilizado en este documento es de concreto celular.

En algunos casos se mezclan diferentes componentes a parte de los ya descritos para elaborar el concreto celular, como la cal y el yeso, pero la espuma preformada es indispensable. Una vez mezclado y en estado fresco, el material es autocompactante y altamente fluido. Cuando este material se endurece las propiedades más comunes son la resistencia a la compresión no confinada y el peso unitario, os cuales deben medirse en cada trabajo, cabe resaltar que también adquiere las propiedades de contenido de aire, la permeabilidad, la absorción, el módulo de elasticidad y otras.

Figura 2

Proceso de fabricación del Concreto Celular



Nota: Esquema grafico para la obtención de bloques de concreto celular.

### 2.2.1.1. Propiedades físicas del concreto celular

Las propiedades físicas varían en función de los materiales utilizados y el proceso de fabricación. En el presente apartado se mencionan las propiedades físicas más comunes.

**Microestructura.** En el concreto aireado, para la formación de poros (es decir, formación de espuma o liberación de gas) el método influye en la

microestructura y, por lo tanto, en sus propiedades. La estructura del material de hormigón celular se caracteriza por su matriz micro porosa sólida y macro poros. Los macroporos se forman debido a la expansión de la masa provocada por la aireación y los microporos aparecen en las paredes entre los macro poros. “Los macro poros se han considerado como poros de un diámetro de más de 60  $\mu\text{m}$ .” (Narayanan y Ramamurthy, 2000). Debido a la presencia de vacíos la orientación de los productos de hidratación del cemento se altera significativamente.

***Distribución del tamaño de poro, permeabilidad y porosidad.*** Las propiedades del concreto celular como la contracción, la permeabilidad y la resistencia, están sujetos a la distribución de la porosidad y del tamaño de los poros. Por ende, es indispensable conocer la caracterización porosa del concreto y más importante aún del concreto celular, que puede llegar a poseer un 80% de porosidad. Se ha establecido que la cantidad de poros y su distribución está sujeto al proceso de fabricación, curado y a los materiales utilizados.

***Densidad.*** La relación (a/c) está relacionada con la porción de aireación obtenida y, por tanto, con la densidad. Para una densidad dada, la relación a/c aumenta con la proporción de arena. Para el concreto celular, una menor relación agua/sólidos conduce a una aireación insuficiente mientras que una mayor resulta en la ruptura de los vacíos, siendo la consecuencia el aumento de la densidad en ambos casos. Por lo tanto, el requerimiento de agua debe medirse por la mezcla fresca en lugar de por una proporción predeterminada agua-cemento o agua sólidos.

Las diferentes densidades del concreto celular guardan relación con las aplicaciones específicas que se desea alcanzar y esto depende de su fabricación,



lo que a su vez afecta a su estructura, la distribución de poros y el tamaño. Una estructura celular estable y preferentemente esférica es vital para las propiedades estructurales y funcionales óptimas. Además, los poros deben distribuirse uniformemente en la masa para obtener productos de densidad uniforme. “Se informa que el desarrollo de macro poros más grandes en la matriz reduce significativamente la densidad” (Narayanan y Ramamurthy, 2000).

#### **2.2.1.2. Propiedades mecánicas del concreto celular**

El concreto celular tiene propiedades mecánicas que son distintas a las del concreto convencional debido a su estructura porosa y ligera, sin embargo, las unidades de concreto celular para fines de albañilería trabajan más a compresión que a flexión, por ello, en el presente apartado se enfatiza la compresión del concreto celular en la resistencia.

**Resistencia a la compresión.** La forma de la muestra y las dimensiones, el método de formación de poros, la dirección de la carga, la edad, el contenido de agua, la caracterización de materiales utilizados y el método de curado inciden en la resistencia del concreto celular. La estructura de los poros de aire y la condición de las capas de los poros tienen una marcada influencia en la resistencia a la compresión. “la disminución de la densidad por la formación de grandes macro poros causa una caída significativa de la resistencia” (Narayanan y Ramamurthy, 2000)

Generalmente, aumenta linealmente la resistencia a la compresión con la densidad. En la tabla 1 se aprecia los valores de resistencia a la compresión para diferentes densidades así mismo las diferentes dosificaciones de agua, cemento, arena y espuma preformada.

**Tabla 1**

*Resistencia a la compresión del concreto celular en función a su densidad*

Sugerencias para producir 1 m <sup>3</sup> de Concreto Celular								
Materiales utilizados (en estado seco, sin unidad)	Tipo de uso							Concreto Convencional
	No estructural				Estructural			
Densidad Seca (kg/m <sup>3</sup> )	400	600	800	1000	1200	1400	1600	2350
Arena (kg)	-	210	400	560	750	950	1100	1950
Cemento (kg)	300	310	320	350	360	380	400	320
Agua en la masa (lt)	110	110	120	120	140	150	160	180
Espuma (lt)	800	715	630	560	460	370	290	-
Densidad Húmeda (kg/m <sup>3</sup> )	474	687	890	1075	1287	1510	1683	2400
Resistencia a la Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	10	15	20	41	61 -82	101 - 122	163 - 183	< 250

*Nota:* Adaptado de “(ECOFOAM Advanced Solutions, s. f.)”

**Contracción por secado.** Todos los productos de cemento portland experimentan cierta cantidad de contracción autógena cuando se pierde humedad. Esto se conoce como contracción por secado. La contracción por secado exhibida por el concreto celular puede ser hasta 10 veces mayor que la observada para el concreto convencional (Narayanan y Ramamurthy, 2000).

La contracción ocurre en la pasta de cemento así mismo es restringida en el hormigón de peso normal por los materiales inertes como la grava y la arena. “En concreto celular, los agregados se reemplazan con vacíos abiertos que permiten que la pasta de cemento se contraiga sin restricciones” (Guide to Lightweight Cellular Concrete for Geotechnical Applications, 2021). La contracción es causada principalmente por el cambio en el contenido de agua, que se puede reducir disminuyendo en la mezcla inicial el agua o reduciendo la porción de secado que

ocurre con el tiempo. La contracción del concreto celular disminuye a medida que aumenta la densidad. Esta contracción se atribuye al poco contenido de agua a la pasta de cemento.

### **2.2.1.3. Propiedades funcionales del concreto celular**

Se caracteriza el concreto celular como un material de construcción por la baja densidad y su capacidad para aislar el sonido y el calor. A continuación, se describen algunas propiedades funcionales.

**Capilaridad y absorción de agua.** Al ser el concreto aireado poroso, existe una fuerte relación entre el agua, el vapor de agua y el sistema poroso y existen varios mecanismos de transportes de humedad. En el estado seco, están vacíos los poros y domina la difusión de vapor de agua, mientras que algunos poros se llenan en regiones de mayor humedad. Predomina la succión capilar para un elemento en contacto con el agua. Estos mecanismos dificultan la predicción de la influencia de la distribución del tamaño de los poros y el contenido de agua en la migración de la humedad.

**Durabilidad.** El concreto celular tiene una alta porosidad, esto permite la penetración de gases y líquidos. Esto puede conducir a una matriz dañada. “Se informa que las reacciones de congelación y descongelación son significativas en lo que se refiere al concreto celular en grados de saturación de 20+-40%” (Narayanan y Ramamurthy, 2000). A mayores grados de saturación, la muestra se vuelve quebradiza y se agrieta por completo. Es necesario tomar precauciones protectoras con materiales a base de betún cuando se prevé un ataque de sulfato.

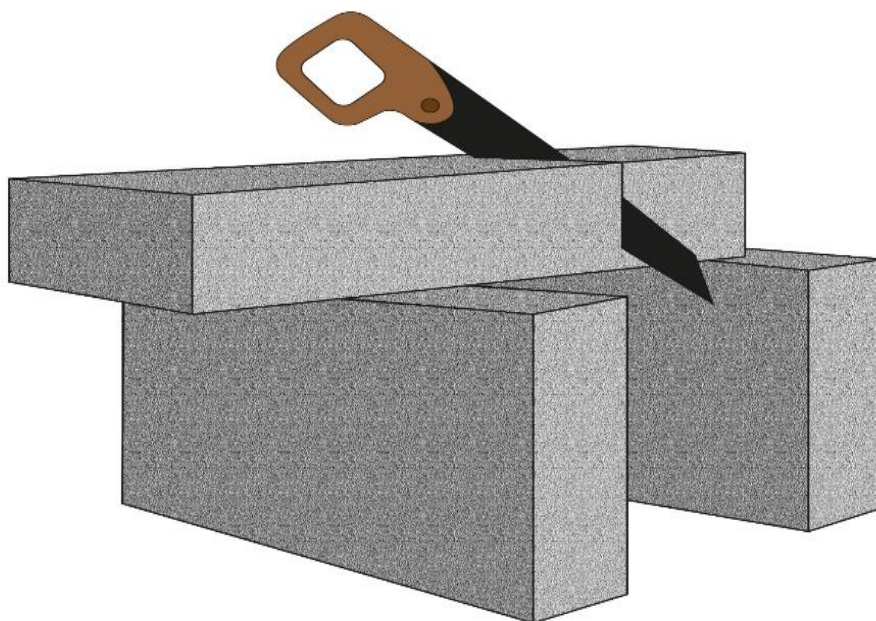
### 2.2.2. Bloques de concreto celular para muros no portantes

Las principales aplicaciones del concreto celular se encuentran en la división de espacios por medio de tabiquerías a base de unidades de bloques de concreto celular, que por si fuera poco brindan ligereza en la edificación, también proporciona mayor ahorro de tiempo y facilidad para el asentado de muros. A continuación, se describen algunas ventajas como unidad de albañilería al uso de bloques de concreto celular.

**Rapidez de construcción.** “Debido a su peso ligero y grandes dimensiones, se reduce el tiempo de ejecución en 40%” (BLOQUES PERÚ, s. f.). Los bloques de concreto celular se presentan en diferentes tamaños, sus dimensiones suelen ser por encima de las unidades de albañilería tradicionales, esto sumado a su ligereza, incrementan en mayor medida la rapidez de construcción.

#### Figura 3

*Precisión y facilidad al cortar un bloque celular*



*Nota:* Adaptado de “(ECOFOAM Advanced Solutions, s. f.)”

**Versatilidad.** Los bloques de concreto celular debido a sus características, nos brinda una amplia gama de usos, por ejemplo, para la fabricación de muros de tabiquería para interiores y exteriores, muros de contención e incluso para muros portantes en edificaciones. También es importante destacar unas cuantas particularidades de los bloques de concreto celular, que es la facilidad con las que se puede cortar y manipular para adaptarse a diferentes diseños y requerimientos arquitectónicos, esto disminuye el tiempo de construcción en comparación de otros materiales como el ladrillo o las bloquetas de concreto.

#### Figura 4

*El concreto se adapta a cualquier forma*



*Nota:* Adaptado de "(ECOFOAM Advanced Solutions, s. f.)"

**Facilidad para las instalaciones.** En vez de utilizar cortafierros e ir golpeando el muro como se hace tradicionalmente, con el bloque de concreto celular se ejecutan cortes con amoladora o serrucho con gran facilidad para realizar las canaletas de instalaciones, esto disminuye en gran medida los porcentajes de desperdicios.

### **2.2.3. Ensayos para unidades de albañilería.**

En esta sección se analizan las características de los materiales utilizados para fabricar las unidades de albañilería. El objetivo de este estudio es determinar las características mecánicas y físicas de los bloques de hormigón celular, en particular como componentes de albañilería para muros que no soportan peso. A continuación, se presenta la teoría y los procedimientos precisos para realizar los ensayos físicos y mecánicos.

#### **2.2.3.1. Propiedades físicas y absorción.**

**Variación dimensional.** Para medir los cambios en las magnitudes de las unidades de albañilería, aplicará el proceso descrito en las regulaciones de la NTP 399.604 (2002) y NTP 399.613 (2005).

El muestreo para el ensayo será siguiendo lo indicado en la NTP E.070 albañilería donde se dispone que para lotes de hasta cincuenta millares, se selecciona como mínimo diez unidades de albañilería.

En esta prueba, se miden la altura, la longitud y el ancho de cada borde del prisma que limita con la superficie central utilizando una regla milimétrica, como se ilustra en la Figura 5. Para cada una de estas dimensiones, se registran cuatro

mediciones y se calcula el promedio para obtener los resultados. La variabilidad dimensional se expresa en porcentajes (%) mediante la siguiente fórmula:

*EC- 1 Variación dimensional*

$$V = \left[ \frac{ME - MP}{ME} \right] \times 100 \quad (1)$$

Donde:

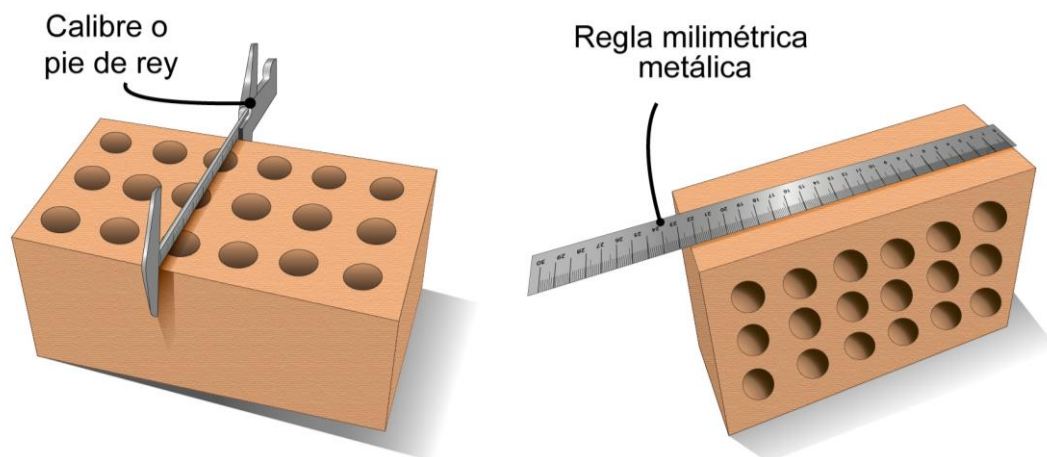
V= Variación dimensional (%)

ME= Medida especificada por el fabricante (mm)

MP= Medida promedio (mm)

**Figura 5**

*Variación dimensional*



*Nota:* Adaptada de albañilería estructural (p.123), (Gallegos & Casabonne, 2005).

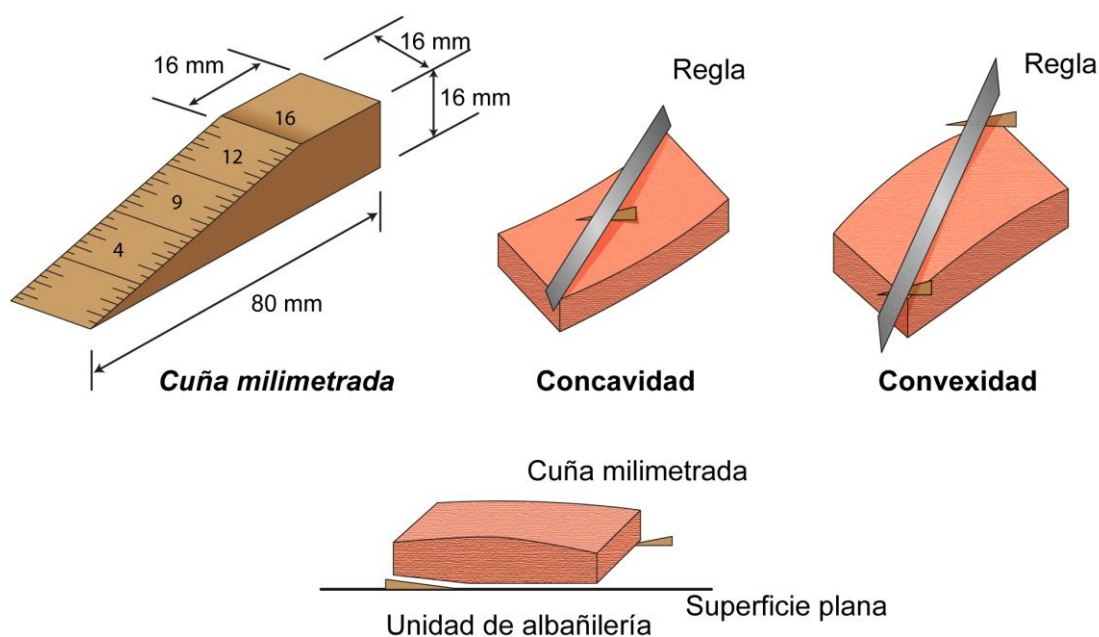
**Alabeo.** Al igual que la variación dimensional para el alabeo se aplicará el proceso descrito en las regulaciones de la NTP 399.604 (2002) y NTP 399.613 (2005).

El muestreo de igual manera que en la variación dimensional para la realización del ensayo de alabeo también será siguiendo lo que indica en la NTP E.070 albañilería donde se dispone que para lotes de hasta cincuenta millares, se seleccionará como mínimo diez unidades de albañilería.

En este ensayo es importante poseer una cuña y una regla metálica graduada. Este ensayo consiste en anotar los valores de alabeo dependiendo del tipo de alabeo visualizando cuando se coloca en forma diagonal la regla tal como se muestra en la (fig. 6). Cuando es cóncavo el alabeo, se introduce en la zona del medio del área plana del prisma y cuando es convexa la cuña se introduce en los extremos. Este procedimiento se efectúa en ambas caras del prisma. El resultado del alabeo será expresado en milímetros enteros.

**Figura 6**

*Medición de alabeo (concavidad y convexidad) en unidades de albañilería*





*Nota:* Adaptada de albañilería estructural (p.123), por (Gallegos & Casabonne, 2005)

**Absorción.** Se llevarán a cabo los análisis de absorción siguiendo las pautas establecidas en las regulaciones NTP 399.604, (2002) y NTP 399.613, (2005).

El muestreo será siguiendo lo indicado en la NTP E. 070 albañilería donde se dispone que para lotes de hasta cincuenta millares, cinco de las unidades de mampostería son elegidas para el ensayo de absorción.

Las muestras deben secarse primero en un horno a 110 °C durante 24 horas antes de la prueba. Pasado las 24 horas son retiradas del horno y así dejar enfriar por un periodo de 4 horas para posteriormente ser pesados. Terminado este proceso se introduce por un periodo de 24 horas los especímenes a un recipiente lleno de agua (fig. 7). Pasada las horas se sacarán los especímenes del agua y se secarán superficialmente con un pañuelo para luego ser pesadas. Los resultados estarán expresados en porcentajes.

#### EC- 2 Absorción

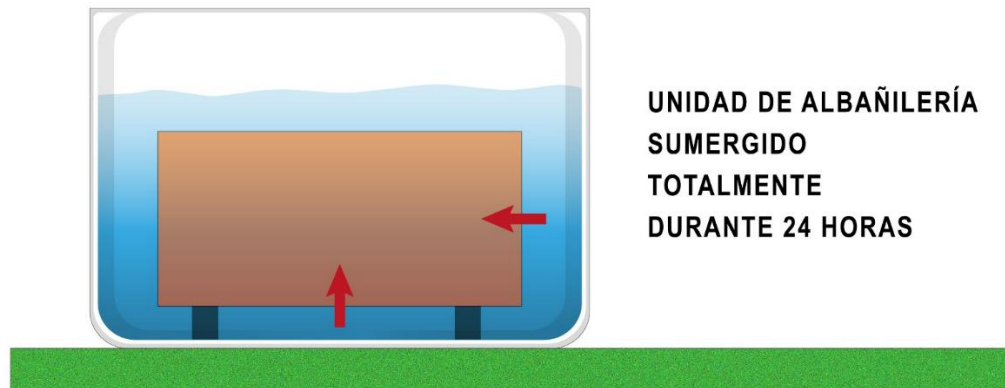
$$A = \left[ \frac{PS - Pseco}{Pseco} \right] x 100 \quad (2)$$

Donde:

A= Absorción (%)

PS= Peso saturado (gr)

Pseco= Peso seco (gr)

**Figura 7***Ensayo de absorción*

*Nota:* Adaptada de Evaluación comparativa de un prototipo de ladrillo macizo de cemento (p. 108), por (Flores Florez & Ochoa Teran)

### 2.2.3.2. Propiedades mecánicas

**Resistencia a la compresión de unidades de albañilería.** Se llevarán a cabo el ensayo de resistencia a la compresión siguiendo las pautas establecidas en las regulaciones de la (NTP 399.604, 2002; NTP 399.613, 2005)

El muestreo se dio siguiendo lo indicado en la NTP E. 070 albañilería capítulo 5, donde se establece que los ensayos se realizarán sobre 5 especímenes.

Una unidad de mampostería se prueba introduciéndola en una máquina de compresión (fig. 8). La carga de rotura se divide por la superficie bruta para obtener los resultados. Y deduciendo una desviación estándar de la media de los valores, se determina la resistencia característica a la compresión  $f'_b$ .

EC- 3 Resistencia a la compresión de unidades de albañilería

$$f'_b = \frac{P}{A} \quad (3)$$

Donde:

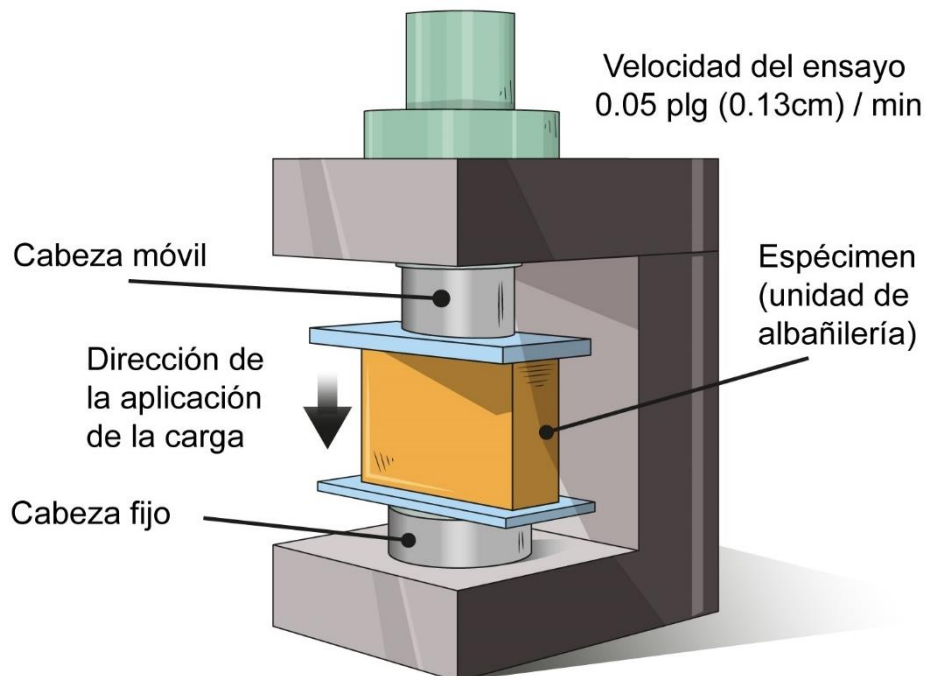
$f'_b$  = resistencia a compresión de la unidad

P = carga aplicada en la pila en kg

A = área bruta  $\text{cm}^2$

### Figura 8

*Resistencia a la compresión de unidades de albañilería*



*Nota:* Adaptada de Evaluación comparativa de un prototipo de ladrillo macizo de cemento (p. 99), por (Flores Florez & Ochoa Teran)

**Resistencia a la compresión diagonal en muretes.** De acuerdo con la (NTP 399.621, 2004). Debe haber un mínimo de tres muros iguales en los que realizar las pruebas. Para las muestras de ensayo se requieren muros cuadrados que abarquen al menos dos unidades completas de mampostería en cada hilada y tengan una separación mínima de 600 mm por 600 mm. Tras la construcción, los

muros deben conservarse en el laboratorio durante al menos siete días a 20°C, 25% de humedad relativa y sin corrientes de aire.

Se recomienda humedecer los ladrillos aproximadamente 15 horas antes de formar las hiladas de albañilería. Durante la construcción de los muros, se debe asegurar el alineamiento horizontal mediante un cordel y verificar la verticalidad utilizando una plomada. Las juntas entre los ladrillos serán de 1.5 cm. Luego, se procede a apilar los bloques de construcción formando el muro. Una vez que se han construido los muros de albañilería, se mide la altura el ancho y el largo del murete.

Una vez que las muestras se encuentren en la máquina de ensayo, se verificara la posición que sean centrados y a plomo; previo a su colocación se fijarán las escuadras de carga en la parte inferior y superior. Una vez que las muestras estén colocadas en una posición central, se verificará la alineación adecuada de la parte superior e inferior del mismo.

#### *EC- 4 Esfuerzo cortante en muretes de albañilería*

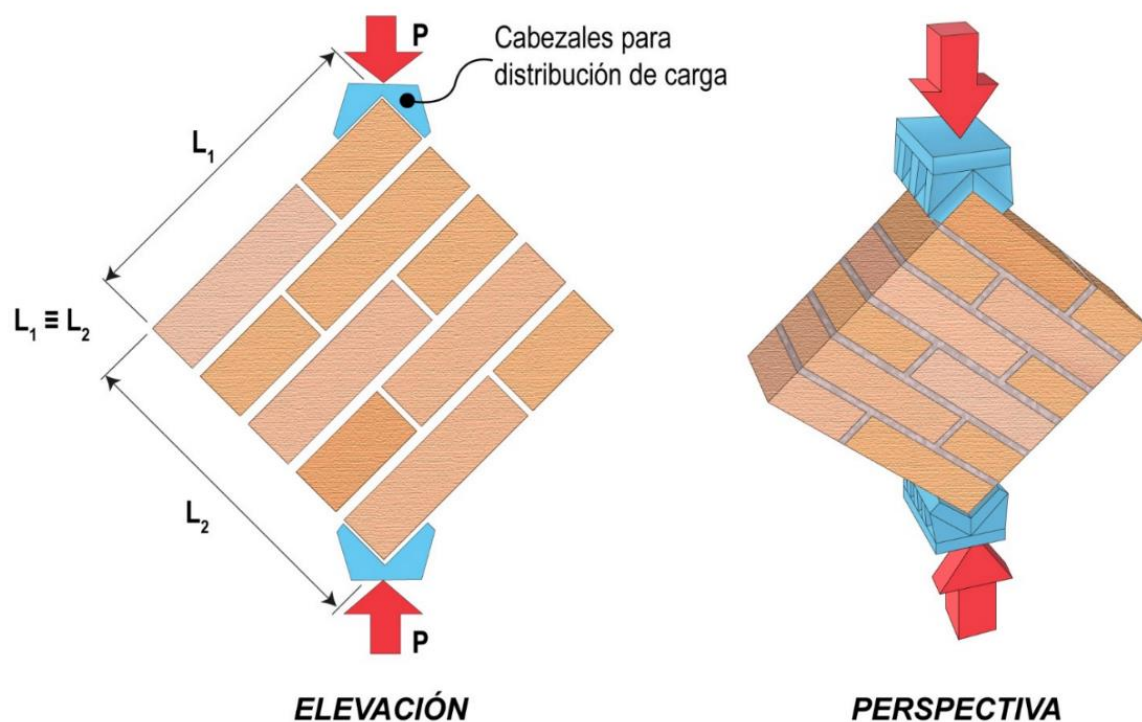
$$V_m = \frac{0,707P}{A_b} \quad (4)$$

Donde:

$V_m$  = Esfuerzo cortante sobre el área bruta en kg/cm<sup>2</sup>

$P$  = Carga aplicada, en kg

$A_b$  = Área bruta del espécimen en cm<sup>2</sup>

**Figura 9***Compresión diagonal a muretes*

*Nota:* Adaptada de “(Determinación de la resistencia a la compresión diagonal y de la rigidez a cortante de muretes de mampostería de barro y de concreto, s. f.)”

**Ensayo de compresión axial.** De acuerdo con la (NTP 399.605, 2013), los ensayos se realizarán como mínimo en 5 pilas iguales. El objetivo principal de esta prueba es determinar la resistencia a la compresión de los pilotes de mampostería. La capacidad de un material para soportar fuerzas de compresión, como la presión aplicada por una carga vertical, se conoce como resistencia a la compresión.

Para realizar esta prueba, hay que elegir un pilote de mampostería representativo y prepararlo meticulosamente. Esto implica asegurarse de que el pilote está nivelado y alineado y de que se ha eliminado cualquier anomalía en la superficie. El prisma está listo y se coloca en el aparato de ensayo de compresión. Luego, se aplica una carga gradual y controlada verticalmente sobre la pila de

albañilería. La carga se incrementa de manera constante hasta que la pila falle o se rompa. En el ensayo, se registran datos importantes, como la deformación y la carga aplicada de la pila. Estos datos se usarán para hacer una curva de carga-deformación, que proporciona información sobre el comportamiento de la pila bajo compresión.

Los resultados del ensayo incluyen la carga máxima que la pila de albañilería puede soportar antes de la falla y la deformación asociada. Estos resultados son cruciales para el diseño de estructuras, ya que permiten determinar la capacidad de carga segura de las pilas de albañilería en una estructura. La información obtenida del ensayo de compresión axial a pilas de albañilería se utiliza en el diseño y la evaluación de estructuras de albañilería, como muros de contención, columnas y otros elementos estructurales. Ayuda a garantizar que las construcciones sean seguras y cumplan con los estándares de ingeniería.

*EC- 5 Resistencia a la compresión axial en pilas de albañilería*

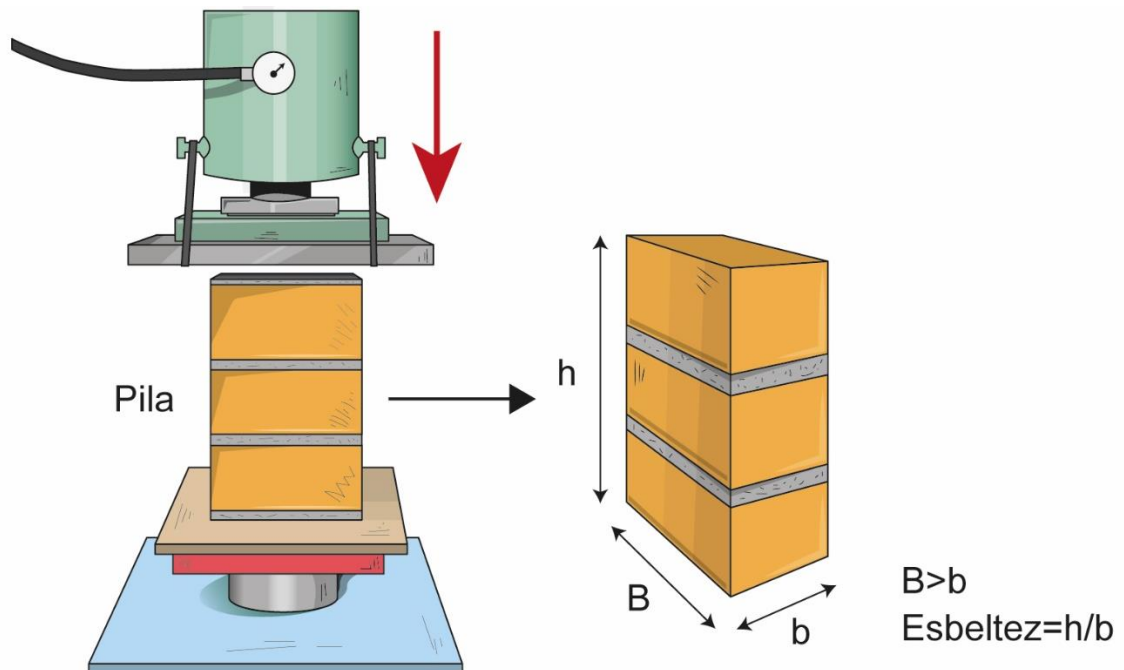
$$f'_m = \frac{P}{A} \quad (5)$$

Donde:

$f'_m$  = Esfuerzo axial sobre el área bruta

$P$  = Carga aplicada en la pila (Kg)

$A$  = Área de la pila en (cm<sup>2</sup>)

**Figura 10***Compresión axial a pilas o prismas*

*Nota:* Adaptada de Evaluación comparativa de un prototipo de ladrillo macizo de cemento (p. 97), por (Flores Florez & Ochoa Teran)

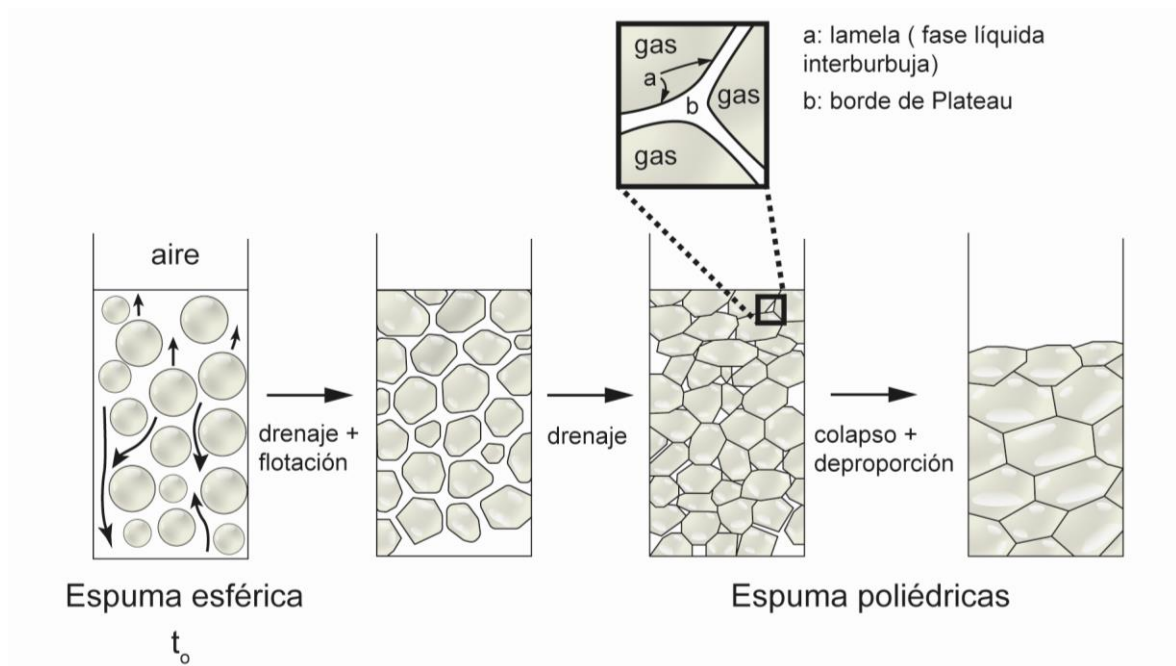
#### **2.2.4. Propiedades del detergente aniónico**

En el contexto de la espuma, existe una relación directa entre la densidad y la resistencia a la compresión. Por lo tanto, es de suma importancia tener un conocimiento preciso de la densidad de la espuma, ya que esto conduce a la obtención de resultados óptimos en la fabricación de concreto celular. La norma ASTM C796-2012 proporciona directrices y procedimientos para la evaluación de concentrados de espuma.

La figura 11 muestra un diagrama que ilustra de manera esquemática los procesos de desestabilización de la espuma, junto con una vista ampliada de la película que se forma entre las burbujas.

**Figura 11**

*Representación gráfica del proceso mecánico de las burbujas*



*Nota:* La imagen es una representación esquemática de los mecanismos de desestabilización de la espuma y vista ampliada de la película inter-burbujas.

#### **2.2.4.1.1. Densidad de la espuma**

La densidad de la espuma se mide en kilogramos por metro cúbico. Esta unidad de medida es importante: la densidad de la espuma define cuál será el uso del material. En la siguiente tabla 2 se muestra las distintas densidades y su aplicación de cada una de ellas.

**Tabla 2**

*Densidades y aplicación del concreto celular*

<b>Densidades</b>	<b>Aplicación</b>
Entre 300 y 600 kg/m <sup>3</sup>	En pisos y azoteas con aislante térmico y acústico. Fabricación de bloques y paneles
Entre 600 y 900 kg/m <sup>3</sup>	precolados/premoldeados para paredes de revestimiento divisorias



Entre 900 y 1.200 kg/m <sup>3</sup>	Fabricación de bloques y paneles para capas externas de edificios.
Entre 1.200 y 1.600 kg/m <sup>3</sup>	Fabricación de paneles prefabricados de cualquier dimensión para uso comerciales e industriales.

*Nota:* Adaptada de (SILVA, 2022).

Para determinar la densidad de la espuma, se pesa un recipiente con una capacidad de un litro vacío y luego se llena con la espuma hasta alcanzar su tope. Seguido a ello, se vuelve a pesar el recipiente con la espuma y se calcula la densidad de acuerdo con la norma (ASTM C796, 2012), utilizando la fórmula correspondiente.

En la figura 12 se presenta una ilustración del generador de espuma y el proceso para obtenerla.

EC- 6 Formula para el cálculo de la densidad de la espuma.

$$W_{uf} = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad (6)$$

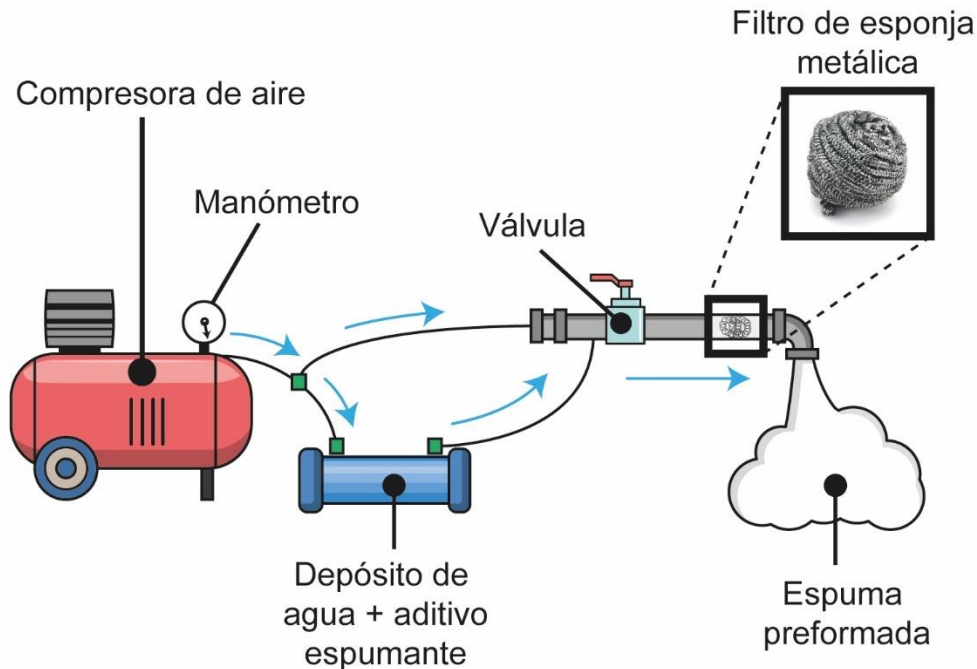
Donde:

$W_{uf}$  : Densidad de la espuma, kg/cm<sup>3</sup>

$W_2$  : Masa del recipiente con espuma, kg

$W_1$  : Masa del recipiente sin espuma, kg

$V$  : Volumen del recipiente, m<sup>3</sup>

**Figura 12***Mecanismo para la obtención de espuma*

*Nota:* Esquema grafico del generador de espuma avece de una compresora de aire.

### **2.2.5. Aditivos**

Los aditivos son productos químicos que se introducen durante la mezcla del concreto con el propósito de alterar ciertas características de la mezcla. Es importante destacar que los aditivos no deben considerarse como una alternativa al diseño adecuado de la mezcla, a la calidad de la mano de obra o al uso de materiales de alta calidad, ya que estos elementos fundamentales no deben ser reemplazados por el uso de aditivos.

Dependiendo de los requisitos de cada proyecto, la industria de la construcción utiliza una gran variedad de aditivos. Sin embargo, la norma ASTM C494 (2005) agrupa los aditivos químicos que reducen el agua y controlan el fraguado en los siguientes grupos, como ilustra la tabla 3.

**Tabla 3**

*Tipo de aditivo según la ASTM C494*

<b>Tipos</b>	<b>Características</b>
Tipo A	Reductor de agua
Tipo B	Retardante de fragua
Tipo C	Acelerador de fragua
Tipo D	Reductor de agua y retardante
Tipo E	Reductor de agua y acelerante
Tipo F	Reductor de agua de alto rango
Tipo G	Reductor de agua de alto rango y retardante

*Nota:* Adaptada de la norma de aditivos de concreto, ASTM C494

En este estudio se empleó Sika Rapid-1, un aditivo que tiene múltiples usos en la mejora de las cualidades del hormigón celular. Dependiendo de la cantidad utilizada, este aditivo puede funcionar como plastificante o superplastificante. Debido a que Sika Rapid-1 es un acelerante de fraguado, cumple con la norma (ASTM C494, 2012), que es de tipo C. Dado que el propósito principal del aditivo es interactuar con el cemento, la cantidad que debe utilizarse está directamente correlacionada con la cantidad de cemento que está presente en la mezcla. Para garantizar su eficacia, se recomienda seguir las recomendaciones del fabricante.

#### **2.2.6. Diseño de mezcla para bloques de concreto celular.**

El hormigón celular no tiene actualmente un proceso de dosificación especificado, y las técnicas típicas de mezcla de mortero y hormigón no son adecuadas para este uso. No obstante, debido a que los hormigones celulares y los hormigones fabricados con áridos pétreos tienen ciertos rasgos estructurales, ACI 523.3R-14 considera que deben tratarse de forma similar. En algunas circunstancias, la resistencia a compresión a la que se somete el hormigón celular también puede tener un impacto en sus características. Las características de

resistencia y rigidez del hormigón celular y su resistencia a la compresión tienen generalmente una relación comparable a la del hormigón normal.

La composición y las características del hormigón celular a una densidad de 800 kg/cm<sup>3</sup> se presentan en la tabla 3 para la relación agua/cemento y cemento/arena.

**Tabla 4**

*Composición y propiedades del concreto celular*

Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Arena: Cemento	Agua: Cemento	Factor cemento (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia a compresión estimada	
				PSI	Mpa
800	0.79	0.6	335	250	1.7
800	0.55	0.5	390	300	2.1
800	0.29	0.5	446	400	2.8
960	1.27	0.6	335	350	2.4
960	0.96	0.5	390	400	2.8
960	0.65	0.5	446	500	3.5
1120	1.75	0.6	335	450	3.1
1120	1.37	0.5	390	500	3.5
1120	1.06	0.45	446	600	4.1

*Nota:* La siguiente tabla está adaptada de la guía del ACI 523.3R-14

#### **2.2.6.1. Dosificación de mezcla:**

Las técnicas descritas en la Guía ACI 523.3R-14 se aplican en el diseño de mezclas de hormigón celular basado en espuma. Los pasos iniciales de este proceso de diseño implican la elección de la relación agua-cemento, la resistencia a la compresión requerida y la densidad del hormigón fresco (peso por unidad de volumen). Los distintos fabricantes de aditivos espumantes y hormigón celular han simplificado aún más el proceso, aunque esta guía es bastante fácil de utilizar. Han proporcionado tablas con diferentes dosificaciones en función de las relaciones de densidad y peso del cemento, el agua y la arena, y se mide el volumen de espuma

necesario. Si nos atenemos a los requisitos de la norma ACI 523.3R-14, podemos diseñar el hormigón celular y determinar los materiales necesarios.

### 2.2.7. Bloques de concreto para uso no estructural

Los bloques de hormigón destinados a usos no estructurales deben cumplir los siguientes criterios: deben ser prefabricados utilizando cemento, agua y áridos finos y/o gruesos naturales o artificiales, con o sin aditivos; también deben tener una forma prismática razonable y dimensiones modulares no superiores a 60 cm. En el caso de bloques de hormigón aligerado, sin embargo, debe tenerse en cuenta una densidad inferior a 1300 kg/m<sup>3</sup> (NTP 399.600, 2017). La tabla 5 muestra los requisitos que deben cumplir las unidades de mampostería para construir muros no portantes.

**Tabla 5**

*Clases de unidades de albañilería para fines estructurales*

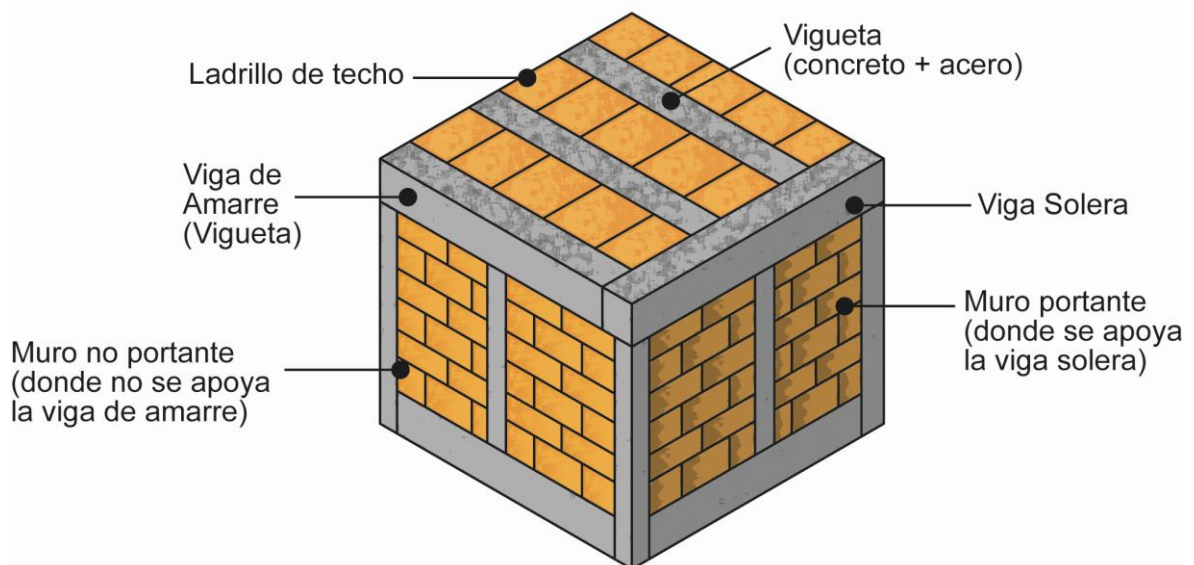
Clase	Variación de la dimensión (máxima en %)			Alabeo (máximo en mm)	Resistencia característica a compresión $f'_b$ mínimo en MPa (kg/cm <sup>2</sup> ) sobre área bruta	
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Mas de 150 mm		MPa	kg/cm <sup>2</sup>
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4,9	50
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6,9	70
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9,3	95
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12,7	130
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6	180
Bloque P <sup>(1)</sup>	± 4	± 3	± 2	4	4,5	50
Bloque NP <sup>(2)</sup>	± 7	± 6	± 4	8	2,0	20

*Nota:* Adptada de la norma E.70 albañilería (2019).

Los muros no portantes o muros de tabiquería son construidos después de la estructura principal, usualmente su función siempre será el de dividir espacios, mientras que a diferencia de los muros portantes pasaran de un piso a otro por medio de los elementos estructurales. En la siguiente figura mostraremos la ubicación de estos muros portantes en una edificación.

### Figura 13

*Ubicación de un muro no portante en una edificación*



*Nota:* Adaptada del manual de construcciones maestro

### 2.3. Marco conceptual

**Detergente aniónico:** “Liberan una carga negativa (anión) en solución acuosa, su parte hidrófila se carga negativamente. Suelen utilizarse por su poder espumoso el cual se encargará controlar la densidad y la porosidad de la mezcla del concreto celular”. (Chica & Alzate, 2019)

**Densidad:** “En función de los áridos que se utilicen, el volumen alcanzado durante el proceso de curado determina la densidad; el porcentaje de arena eleva la relación agua/cemento. Cuando esta relación es muy elevada, se produce una microestructura ampliada debido a la ruptura de huecos, lo que indica una aireación inadecuada”. Las características del hormigón celular se ven directamente afectadas por la densidad, que en su forma seca oscila entre 800 y 1800 kg/m<sup>3</sup>. (Yoc Chamalé, 2018)

**Vacíos:** “La distancia entre las partículas de una masa agregada que no está ocupada por materia mineral sólida se mide en unidades de volumen agregado”. (Narayanan & Ramamurthy, 2000)

**Hidrofugo:** “Un producto hidrófugo es el que no deja pasar la humedad evitando las filtraciones de agua. Los hidrófugos actúan penetrando en los materiales de construcción porosos”. (Chica & Alzate, 2019)

**Bloque de concreto:** “Son unidades que pueden ser elaboradas de manera artesanal, generalmente tiene un color gris o gris verdoso, el color puede variar de acuerdo con los materiales que se le incorpora, presenta una textura gruesa, la porosidad de estas generalmente son abiertas y su peso puede aligerarse incorporando otro material en su dosificación” (San Bartolomé, 1994, p.35).

**Agregado fino:** “Se describe como el material de piedra triturada que se mantiene en la malla 200 después de pasar por un tamiz de 3/8". La arena es el material más empleado en este procedimiento, ya que las investigaciones han demostrado que desintegra los materiales rocosos”. (Ferreira, 2014, p.18).

**Propiedades físicas:** Según la norma E-070 (2016), “Esta propiedad permite reconocer y clasificar el tipo de unidad al que pertenece. En particular, está relacionada con la resistencia que posee la unidad de mampostería, incluidos el alabeo, la succión, la absorción y la variación dimensional”. Estas propiedades nos permiten determinar la resistencia de la unidad de mampostería.

**Propiedades mecánicas:** Según la norma E-070 (2016), “esta propiedad nos permite clasificar e identificar al tipo de unidad que pertenece, esta propiedad se refiere específicamente a su durabilidad que tiene la unidad de albañilería como: resistencia a la compresión, absorción y módulo de rotura a la compresión”.

**Bloque:** “Los bloques se realizan para ser manipulado por dos manos y tiene un peso aproximado de 15 kg, el ancho del bloque no está definido ya que varía por sus huecos y alveolos que tienen para ser manejados según” (Ucha, 2013, p.26)

**Unidad de albañilería:** Según la norma E-070 (2016), “la unidad de albañilería se conoce como un elemento que se utiliza en la construcción, realizados con arcillas y concreto simple, moldeadas, comprimidas y sometidas a procesos de fabricación”.

**Resistencia:** Según el autor, “la resistencia es la capacidad física de un elemento para soportar y resistir una fuerza externa aplicada durante un tiempo predeterminado, lo que en última instancia conduce a una pérdida de rendimiento y luego se recupera como resultado de la fuerza externa”. (Navarro, 1998).

**Variación dimensional:** Según la Norma E-070 (2016), “La variación dimensional se define como el cálculo de la altura manifiesta de las hiladas, el aumento del espesor en función de las necesidades, que dará lugar a mayores



variaciones, y la junta de mortero por encima de la adherencia, que varía entre 9 y 12 cm, dando lugar a una unidad de albañilería con menor capacidad de resistencia”.

**Albañilería Estructural:** “Es un sistema estructural, formada básicamente de elementos de albañilería (ladrillos, bloquetas etc.) que actúan frente a las cargas producidas por el peso propio de la edificación y antes las fuerzas ocasionadas por el sismo”. (gallegos, 2005, p.19).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Formulación de la hipótesis**

##### ***3.1.1. Hipótesis general***

La resistencia a la compresión de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico varía significativamente de las bloquetas de concreto de la ciudad de Abancay.

##### ***3.1.2. Hipótesis específica***

El alabeo de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico varía significativamente de las bloquetas de concreto de la ciudad de Abancay.

La variación dimensional de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico varía significativamente de las bloquetas de concreto de la ciudad de Abancay.

La resistencia a compresión de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico no varía significativamente de la resistencia de diseño según la dosificación de mezcla de la guía ACI 523 3 R-14.

### **3.2. Método**

#### **3.2.1. Método de la investigación**

El método, es el camino que se debe de seguir para lograr los objetivos planteados al inicio de una investigación, (Nel Quesada, 2010) afirma que “método es un conjunto de actividades y reglas que se llevan a cabo con el propósito de lograr una meta” (p.21).

Para el desarrollo de una investigación, surgen diferentes tipos de métodos, los más conocidos son el método deductivo e inductivo, los cuales son dos enfoques diferentes utilizados para la obtención de conocimientos y la formulación de conclusiones, donde “la deducción parte de premisas generales o teorías establecidas y utiliza la lógica para llegar a una conclusión específica, el método deductivo es usado principalmente en estudios teóricos y en la formulación de hipótesis” (Nel Quesada, 2010, p.22).

Mientras que, el método inductivo, se basa en la observación de casos particulares para llegar a conclusiones generales, “la inducción se enfoca en la recolección de datos específicos, se analiza patrones y se extrae conclusiones generales, basadas en la evidencia observada” (Nel Quesada, 2010, p. 23). Con relación a lo mencionado, el estudio que se usa en esta investigación es el método deductivo, donde se partió de premisas validas de investigaciones, libros y normas de albañilería que fueron aplicados de forma experimental, con la finalidad de

conocer el comportamiento físico y mecánico de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico en remplazo del agente espumante, y obtener resultados que sirvan como base para el desarrollo de bloques de concreto celular.

Por otro lado, la presente investigación es de enfoque cuantitativo, Hernández Sampieri & Mendoza Torres (2018), nos indican que “el enfoque cuantitativo es la recolección de datos para probar la hipótesis, teniendo en consideración las mediciones numéricas y análisis estadísticos, para poder determinar patrones y probar teorías” (p. 7). De esta manera, el estudio actual comienza con una idea respaldada por preguntas y objetivos, basándose en teorías fundamentales de la ingeniería estructural. Las preguntas dieron lugar al planteamiento del problema y el diseño de la investigación, lo cual inició la recopilación de datos y el análisis estadísticos, donde se evaluaron distintas densidades, para proseguir con la interpretación y presentación de resultados, dando lugar a la obtención de conclusiones relacionales con las hipótesis planteadas.

### **3.3. Tipo de investigación**

Los investigadores emplean diferentes tipos de investigación, para resolver diversos tipos de problemas. El científico que se dedica a la investigación pura o básica usa este método para lograr nuevos conocimientos. Quienes cultivan la investigación aplicada, lo utilizan cuando quieren hallar un nuevo producto a base del conocimiento adquirido, para mejorar áreas específicas. Es por ello, que la presente investigación es de tipo aplicada. Donde, Zamora Terrones (2015) consideran que “la investigación aplicada busca resolver problemas que se presentan en la sociedad en función a los conocimientos que se han adquirido”

(p.10). Por lo tanto, esta investigación parte de conocimientos emitidos por otros investigadores, con Johan Axel Eriksson en su trabajo conocido como aerated concrete (concreto aireado) y a si como él muchos investigadores y científicos mas

### **3.4. Nivel o alcance de la investigación**

El alcance de la presente tesis es exploratoria y correlacional, ya que “Los estudios exploratorios se llevan a cabo para explorar áreas desde una nueva perspectiva” (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018). mientras que “La función principal de los estudios correlacionales es comprender cómo un concepto o una variable puede actuar al entender el comportamiento de otras variables relacionadas.” (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018, p. 110). Para el estudio exploratorio se usó de la verificación de dosificaciones empíricas (cemento y arena) para formular respuestas a los problemas planteados y para apoyar nuestras propias afirmaciones. Por otro lado, para el estudio correlacional, la variable independiente: detergente aniónico, fue manipulada para distintas densidades, y estos se relacionaron de manera positiva (directamente proporcional) con las variables dependientes: propiedades físicas y mecánicas, mediante estas propiedades se pudo conocer el comportamiento de los bloques de concreto celular a base de detergente aniónico.

### **3.5. Diseño de la investigación**

El estudio se realizó en un contexto experimental, “Los diseños experimentales implican la manipulación y control de tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (llamadas variables independientes) con el fin de observar cómo afectan a otras variables (las variables dependientes) en una situación controlada.” (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018, p. 152). Dicho

esto, en la presente investigación la variable: detergente aniónico, fue manipulada intencionalmente, para determinar la influencia en las variables dependientes.

Los datos se recolectarán a través de un estudio transversal, ya que “Los estudios transversales proporcionan una descripción de las relaciones entre dos o más categorías, conceptos o variables en un momento específico. Estas relaciones pueden examinarse en términos de correlación, es decir, cómo se relacionan entre sí, o en función de la relación causa-efecto, es decir, cómo una variable influye en otra” (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018b, p. 179). Ante esto, los resultados de la variable dependiente dependerán de la densidad exacta de la variable independiente se medirán en un determinado tiempo y no durante rotundos lapsos de tiempo.

### **3.6. Operacionalización de variables**

**Variable independiente 1:** Bloques de concreto celular a base de detergente aniónico

**Variable dependiente 1:** Propiedades físicas y Mecánicas

Tabla 6

## Operacionalización de variables

Título: "Comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico para muros no portantes"							
Variables	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Unidad	Instrumentos
V. I: bloques de concreto celular a base de detergente aniónico	Aquel en el cual todo o parte del agregado grueso es sustituido por burbujas de gas o aire (ACI, 2014, p. 02)	Se elaborarán bloques de concreto celular con diferentes dosificaciones que posteriormente serán sometidos a una serie de ensayos.	Dosificación	Arena fina Cemento Aditivo Espuma preformada	Razón	%	Ficha de recolección de datos Anexo 10
			Densidad	Volumen Peso		Kg/m <sup>3</sup>	
V. D: Propiedades Físicas y Mecánicas	Estas propiedades son importantes para evaluar la calidad y el rendimiento de los bloques de concreto en diversas aplicaciones de construcción (NTP, 2004, p. 18)	Mediante los ensayos de laboratorio aplicados a los BCC a base de detergente aniónico, se determina sus parámetros tanto físicos como mecánicos para evaluar el comportamiento y la calidad de estos.	Propiedades físicas	Variación dimensional	Razón	%	Ficha de recolección de datos Anexo 4
				Alabeo	Razón	mm	Ficha de recolección de datos Anexo 5
				Absorción	Razón	%	Ficha de recolección de datos Anexo 6
			Propiedades mecánicas	Resistencia a la compresión	Razón	Kg/m <sup>3</sup>	Ficha de recolección de datos Anexo 7
				Resistencia a la compresión axial	Razón	Kg/m <sup>3</sup>	Ficha de recolección de datos Anexo 8
Resistencia a la compresión diagonal	Razón	Kg/m <sup>3</sup>	Ficha de recolección de datos Anexo 9				

Nota: V.I. (variable independiente) y V.D. (variable dependiente)

### 3.7. Población, muestra y muestreo

#### 3.7.1. Población

La población, puede ser descrita como la totalidad de las unidades que están sujetas a estudio, (Ñaupas Paitán et al., 2014) considera que “la selección de la población y la forma en que se obtiene la muestra son decisiones críticas en el diseño de la investigación, ya que influyen en la validez y la representatividad de los resultados”. Por consiguiente, el alcance de esta investigación se centra en una población compuesta por 85 unidades de bloques de concreto celular, los cuales han sido seleccionados deliberadamente para ser sometidos a rigurosos ensayos físicos y mecánicos.

#### Figura 14

*Bloques de concreto celular.*





*Nota:* Almacenamiento de boques de concreto celular a los 14 y 18 días de edad.

### **3.7.2. Muestra**

Según Ñaupas Paitán et al., (2014) define la muestra cómo, “una porción cuidadosamente seleccionada de una población que comparte las características representativas de dicha población en su totalidad. Esta selección estratégica permite la extrapolación de resultados y generalización de conclusiones de manera confiable”

En ese contexto, para la presente investigación se trabajó por el método no probabilístico o muestreo por conveniencia, “en las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador”(Hernández Sampieri, 2014, p. 189).

Se ha tomado en cuenta los “métodos de prueba estándar para muestreo y ensayos de unidades de albañilería de hormigón y unidades relacionadas” ASTM C140-08, (2009), donde nos recomienda que para propósitos de ensayo la muestra debe representar el lote completo de unidades de las que han sido seleccionadas. Así, se emplearán cinco unidades para la resistencia a la compresión y la absorción, y se eligieron diez unidades para la prueba de variación dimensional y alabeo. A la inversa, para el ensayo de resistencia a la compresión diagonal de los muros se necesitó un mínimo de tres muros, y para el ensayo de compresión axial, un mínimo de cinco pilotes.

**Tabla 7**

*Cantidad de muestra para la elaboración de ensayos para la obtención de propiedades físicas*

<b>Tipo de ensayos</b>	<b>Cantidad de Bloques de Concreto Celular</b>	<b>Subtotal</b>
Variación dimensional	10 und	10 und
Alabeo	10 und	10 und
Total: 20 und		

*Nota:* Para los ensayos físicos, requeriremos de 20 bloques de concreto celular a base de detergente aniónico.

**Tabla 8**

*Cantidad de muestra a distintas densidades y edades para ensayo de resistencia*

<b>Tipo de ensayo</b>	<b>Cantidad de muestras para ensayo de absorción</b>	<b>Edades del Bloques de Concreto Celular</b>			
		<b>14 días</b>	<b>21 días</b>	<b>28 días</b>	<b>días</b>
Absorción	5 und	-	-	-	
Resistencia a la compresión	-	5 und	5 und	5und	
Subtotal	5 und		15 und		
Total: 20 und					

*Nota:* Para llevar a cabo los ensayos mecánicos de absorción y resistencia a la compresión en bloques, se requerirán 20 bloques de concreto celular a base de detergente aniónico.

**Tabla 9**

*Cantidad de muestra para ensayos de compresión diagonal y axial (corte)*

<b>Tipo de ensayos</b>	<b>Cantidad del Bloques de Concreto Celular por muro</b>	<b>Cantidad de muros o pilas</b>	<b>Subtotal</b>
Resistencia a la compresión diagonal	8 und	3	24 und
Resistencia a la compresión axial	3 und	5	15 und
Total:			39 und

*Nota:* Para llevar a cabo los ensayos en muretes y pilas de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico, se requerirán 39 bloques.

### **3.8. Técnicas e instrumentos**

#### **3.8.1. Técnica para la recolección de datos.**

Se desarrolló como principal técnica la observación científica o estructurada. “Durante el proceso de observación, el investigador se beneficiará de un entorno meticulosamente controlado que le permitirá medir de manera precisa el comportamiento del objeto de investigación a través de la evaluación de variables específicas” (Vásquez Ramírez et al., 2023). Tomando en cuenta la literatura y para ser más precisos, se manejó los siguientes tipos de observación: observación de campo, observación de laboratorio y observación experimental.

En los ensayos se utilizó la observación en laboratorio para determinar las propiedades mecánicas y físicas, como el alabeo, la variación dimensional, la absorción, la resistencia a la compresión axial en pilotes, la resistencia a la compresión diagonal en

muros y la resistencia a la compresión de los bloques de hormigón celular. Se observó sobre el terreno el proceso de curado de los bloques de hormigón celular y, mediante observación experimental, se examinaron los efectos de las distintas densidades de detergente aniónico sobre la resistencia. Sin embargo, para poder poner en práctica el conocimiento de las técnicas anteriores fue necesario la utilización de técnicas para la revisión bibliográfica, que nos ayudó a comprender mejor la albañilería, los procesos de los ensayos requeridos y la obtención de los antecedentes referidos a nuestro tema de estudio.

### **3.8.2. Instrumentos de recolección de datos.**

Se emplearon fichas de observación y control como instrumentos para llevar a cabo la medición de los indicadores, Sivestre Miraya & Huamán Nahula (2019), considera que los instrumentos como fichas de control de datos y observación, es una herramienta simple y muy útil para registrar datos que surgen como producto de la interacción directa entre el observador y la realidad que está siendo observada. (pag.370). Es por ello por lo que, empleé fichas de recopilación de material y observación como los instrumentos primarios para obtener información precisa y detallada sobre el comportamiento de los bloques de concreto celular. Estas herramientas meticulosamente diseñadas y estructuradas me permitieron recopilar datos relevantes y objetivos, facilitando así un análisis exhaustivo y una comprensión rigurosa de las propiedades de los bloques de concreto celular en estudio

La validez de los instrumentos constituye un aspecto fundamental para asegurar la confiabilidad y robustez de los resultados obtenidos. En el marco de este estudio, se

llevó a cabo un riguroso proceso de validación de las fichas de recolección de datos, el cual contó con la participación de tres especialistas altamente calificados en el campo pertinente, así como un experto en metodología de la investigación un estadístico y un ingeniero especialista en al área albañilería. La validación se llevó a cabo siguiendo el criterio establecido por Hernández Nieto (2022). Los resultados de dicho proceso, que confirman la validez y la concordancia de los instrumentos utilizados, se encuentran detallados en los anexos, ofreciendo una evidencia sólida de la calidad y robustez de la metodología empleada en este estudio.

A continuación, se muestra los métodos, fuentes e instrumentos que se manejaron para la medición de los indicadores:

**Tabla 10**

*Procedimiento, técnicas e instrumentos para la recolección de datos de cada indicador*

Indicadores	Recolección de datos		
	Procedimiento	Técnica	Instrumento
Dosificación	Arena fina, cemento, aditivo, espuma preformada	Recolección de datos	Ficha de recolección de datos, anexo 10
Densidad	Peso y volumen	Observación directa	Ficha de recolección de datos, anexo 10
Variación dimensional	Ensayo de variación dimensional	Observación de laboratorio	Ficha de recolección de datos variación dimensional, anexo 4
Alabeo	Ensayo de alabeo	Observación de laboratorio	Ficha de recolección de datos de ensayo de alabeo, anexo 5
Absorción	Ensayo de absorción	Observación de laboratorio	Ficha de recolección de

			datos de ensayo de absorción, anexo 6
Resistencia a la compresión	Ensayo de resistencia a la compresión de BBC	Observación de laboratorio	Ficha de recolección de datos de ensayo de resistencia a la compresión, anexo 7
Resistencia a la compresión axial	Ensayo de resistencia a la compresión diagonal de muros de BCC	Observación de laboratorio	Ficha de recolección de datos de ensayo de resistencia a la compresión axial, anexo 8
Resistencia a la compresión diagonal	Ensayo de resistencia a la compresión diagonal de muros de BCC	Observación de laboratorio	Ficha de recolección de datos de ensayo de resistencia a la compresión diagonal, anexo 9

### 3.9. Consideraciones éticas

En la actualidad, la investigación científica desempeña un papel fundamental en la generación de nuevo conocimiento, lo que subraya la importancia de asegurar que la información proporcionada sea confiable y útil para otros investigadores. En este sentido, es imprescindible mantener un estricto cumplimiento de los aspectos éticos relacionados con la publicación de investigaciones. La presente investigación se basa en información genuina y original, redactada por el autor sin incurrir en prácticas de plagio. Se reconocen adecuadamente las ideas y contribuciones de otros investigadores, citándolas de manera apropiada y otorgándoles el debido reconocimiento que merecen. Asimismo, se trabaja con datos y resultados reales obtenidos a partir de rigurosos ensayos ejecutados, lo que garantiza la validez y fiabilidad de la información presentada.

Además, se resalta el compromiso de no manipular de forma alguna los datos y resultados, con el fin de mantener la integridad de la investigación y asegurar que los hallazgos sean presentados de manera precisa y veraz. Esta rigurosidad ética es esencial para fomentar la confianza en el campo de la investigación científica y para garantizar que el conocimiento generado contribuya de manera efectiva al avance de la ciencia y el bienestar de la sociedad

### **3.10. Procedimiento estadístico**

El estudio utilizó el software JAMOVI como una herramienta para realizar análisis estadísticos inferenciales. Este proceso se centra en determinar si existen diferencias significativas entre dos grupos. Para esto, se establece una hipótesis nula que asume que no hay diferencias significativas entre los grupos y una hipótesis alternativa que sugiere que sí las hay. Es importante destacar que los datos de la población deben seguir una distribución normal, por lo que se realizó una prueba de normalidad para determinar si el análisis t sería apropiado.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Resultados**

En lo que respecta a los resultados, estos se muestran de forma estructurada y se adecuan a la secuencia de los objetivos específicos que se habían establecido previamente. Se destacan valores significativos que desempeñaron un papel esencial en el desarrollo de esta investigación. Del mismo modo, se exponen los resultados en consonancia con el objetivo general, siguiendo rigurosamente lo que se había propuesto en los objetivos y la metodología del estudio.

##### ***4.1.1. Respuesta al objetivo general.***

“Analizar del Comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas de Bloques de Concreto Celular a base de detergente aniónico para muros no portantes”



Las propiedades físicas y mecánicas son de gran importancia en la fabricación de cualquier tipo de unidad o bloque de albañilería. En el contexto del objetivo general, los bloques de concreto celular se sometieron a diversas pruebas, tanto físicas como mecánicas. Los resultados de las pruebas físicas destacaron más en comparación con los resultados de las pruebas mecánicas.

En este apartado, se tomaron como referencia los parámetros mínimos establecidos en la normativa E.070 de albañilería. Estos parámetros mínimos son fundamentales para asegurar la calidad de los bloques destinados a muros no portantes.

La Tabla 11 presenta los resultados de las propiedades físicas y mecánicas de los bloques de concreto celular elaborados con detergente aniónico. Estos resultados, obtenidos a través de ensayos de laboratorio, cumplieron satisfactoriamente con los requisitos mínimos especificados por la normativa E.070 de albañilería para muros no portantes. A excepción del ensayo de la resistencia a compresión axial  $V'_m$ .

**Tabla 11**

*Resultados de las propiedades físicas y mecánicas tomando como guía los parámetros de la norma E.070 albañilería*

Características		Norma E.070 albañilería	Bloques de concreto celular
Variación dimensional (máxima en porcentaje)	Hasta 150 mm	± 6 %	0.06%
	Más de 150mm	± 4 %	0.43%
	Más de 150mm	± 4 %	0.05%
Alabeo (máximo en mm)		8 mm	0.2 mm

Absorción (máxima en porcentaje)	<15%	13.35%
Resistencia característica a compresión $f'_b$	20 kg/cm <sup>2</sup>	24.26 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia característica a compresión axial $V'_m$	26 kg/cm <sup>2</sup>	22.99 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia característica a compresión diagonal $f'_m$	3.44 kg/cm <sup>2</sup>	4.33 kg/cm <sup>2</sup>

*Nota:* Resultados obtenidos en laboratorio CONCHIPA y HYH INGENIEROS

#### **4.1.2. Respuesta al objetivo específico 1**

“Determinar el comportamiento de las propiedades físicas de Bloques de Concreto Celular a base de detergente aniónico para muros no portantes”

##### **4.1.2.1. Resultados de las propiedades físicas y del ensayo de absorción de los bloques de concreto celular.**

La calidad de las unidades de albañilería puede determinarse mediante ensayos físicos, que son esenciales para garantizar la longevidad y la seguridad de las estructuras construidas con estos materiales. La variación dimensional y el alabeo son las características físicas de los bloques de hormigón celular que se definen en esta sección a base de detergente aniónico. A continuación, se demostrará el comportamiento físico del bloque de hormigón celular basado en detergente aniónico.

**La variación dimensional:** Para el cálculo de este ensayo se utilizó la fórmula establecida en la normativa (NTP 399.604, 2002). En este caso, se trabajó con bloques no portante (NP) que tienen dimensiones de 400 x 120 x 200 mm, sabiendo que nuestro bloque tiene un largo y alto, con más de 150 mm, y un ancho de hasta 150 mm. Según los estándares, esto nos asigna un margen máximo de  $\pm 4 \%$  en longitud,  $\pm 6 \%$  en ancho

y  $\pm 4$  % en altura. Nuestros resultados cumplen de manera sobresaliente con estas especificaciones, ya que las variaciones medidas son mínimas en comparación con lo requerido por la Tabla N° 01 de la norma E.070 albañilería.

Los resultados globales del ensayo de variación dimensional realizado en los bloques de hormigón celular a base de detergente aniónico se muestran en la Tabla 16. La proporción ideal se muestra en la Tabla 12.

**Tabla 12**

*Resultados detallados de las medidas del ensayo de variación dimensional en bloques de concreto celular*

Espécimen N°	Largo (mm)		Prom. largo	Ancho (mm)		Prom. ancho	Alto (mm)		Prom. alto
	L-1	L-2		A-1	A-2		H-1	H-2	
M-01	399.01	398.01	398.51	119.60	119.26	119.43	199.93	200.01	199.97
M-02	397.05	397.07	397.06	120.82	120.09	120.46	200.00	199.97	199.99
M-03	398.03	399.04	398.54	119.55	119.62	119.59	200.02	200.03	200.03
M-04	397.02	398.02	397.52	118.89	120.93	119.91	200.03	200.07	200.05
M-05	400.04	399.02	399.53	120.57	119.28	119.93	199.98	199.99	199.99
M-06	400.09	398.05	399.07	118.99	118.89	118.94	200.05	200.00	200.03
M-07	399.01	398.02	398.52	119.63	120.28	119.96	200.00	200.04	200.02
M-08	400.04	398.09	399.07	121.02	121.17	121.10	200.03	200.05	200.04
M-09	398.08	398.05	398.07	121.22	121.59	121.41	199.05	199.90	199.48
M-10	397.03	397.09	397.06	120.46	119.53	120.00	199.09	199.70	199.40

*Nota: Resultados detallados del ensayo de variación dimensional*

**Tabla 13**

*Resultado optimo en % del ensayo de variación dimensional*

Medida promedio (mm)	MP=	398.29	120.07	199.90
Medida específica del fabricante (mm)	ME=	400	120.00	200.00

Desviación estándar	$\sigma=$	0.8547	0.74	0.25
<b>Variación dimensional (%)</b>	<b>V%=</b>	<b>0.43%</b>	<b>-0.06%</b>	<b>0.05%</b>

*Nota:* La variación en las dimensiones del bloque es del 0.43% en el largo, -0.06% en el ancho y 0.05% en el alto.

**Comparación de la variación dimensional entre bloques de concreto celular a base de detergente aniónico y bloquetas de concreto:** En esta sección, llevamos a cabo un análisis comparativo del comportamiento de los bloques de concreto celular, sometidos al ensayo de variación dimensional, en comparación con las bloquetas de concreto.

Por otro lado, se detalla y contrasta los resultados obtenidos en laboratorio donde determinamos los cambios mínimos de las dimensiones de los bloques de concreto celular. Para realizar esta evaluación, comparamos nuestros resultados con los datos obtenidos por (Cabrera Huamanñahui & Ramirez Aroni, 2019), en su tesis titulada “Evaluación de la resistencia, permeabilidad y absorción capilar de bloques de concreto elaborados con adición de emulsión de parafina en la ciudad de Abancay- 2018”. Este análisis se efectuó con el propósito de identificar las posibles diferencias entre ambos conjuntos de materiales de manera detallada y precisa.

En la Tabla 14, se presentan los resultados que detallan la variación dimensional de los bloques de concreto celular fabricados con detergente aniónico, en comparación con las bloquetas producidas en la ciudad de Abancay. Ensayo de variación dimensional a bloques de concreto celular vs bloquetas de concreto.

**Tabla 14**

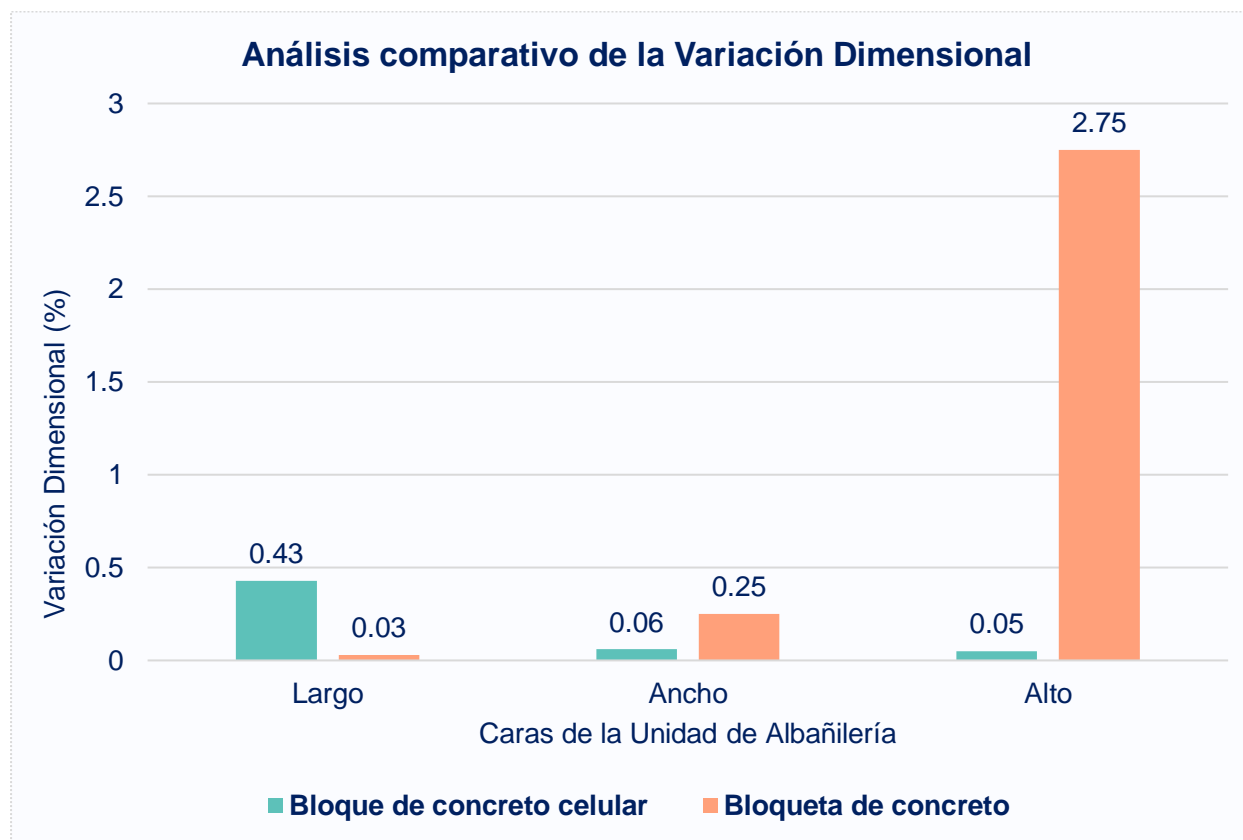
*Ensayo de variación dimensional a bloques de concreto celular vs bloques de concreto*

Especimen N°	Bloques de concreto celular			Bloquetas de concreto		
	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
M-01	398.51	119.43	199.97	402.00	119.00	197.00
M-02	397.06	120.46	199.99	400.00	119.00	196.00
M-03	398.54	119.59	200.03	401.00	120.00	195.00
M-04	397.52	119.91	200.05	400.00	120.00	193.00
M-05	399.53	119.93	199.99	400.00	119.00	194.00
M-06	399.07	118.94	200.03	400.00	120.00	195.00
M-07	398.52	119.96	200.02	399.00	120.00	195.00
M-08	399.07	121.10	200.04	399.00	120.00	194.00
M-09	398.07	121.41	199.48	400.00	120.00	194.00
M-10	397.06	120.00	199.40	400.00	120.00	192.00
<b>Medida promedio (mm)</b>	<b>398.29</b>	<b>120.07</b>	<b>199.90</b>	<b>400.10</b>	<b>119.70</b>	<b>194.50</b>
Medida específica del fabricante (mm)	400.00	120.00	200.00	400.00	120.00	200.00
Desviación estándar	0.85	0.74	0.25	0.88	0.48	1.43
<b>Variación dimensional (%)</b>	<b>0.43%</b>	<b>-0.06%</b>	<b>0.05%</b>	<b>-0.03%</b>	<b>0.25%</b>	<b>2.75%</b>

*Nota:* Los bloques de concreto celular tuvieron una variación promedio de un 0.1% mientras que los bloques de concreto cuentan con una variación de 1.0%

**Figura 15**

*Análisis comparativo de la variación dimensional (bloques de concreto celular vs bloquetas de concreto)*



*Nota:* En la gráfica se puede apreciar la variación dimensional de los diferentes bloques.

**Alabeo.** Es importante destacar que el grado de alabeo, ya sea en forma convexa o cóncava, está directamente relacionado con el grosor de la junta. En este sentido, se llevó a cabo una medición del alabeo en la cara superior e inferior de la junta, y se encontró porcentajes mínimos de convexidad y concavidad en ambos casos. La NTP E.070 albañilería, en la tabla N° 1 correspondiente a bloques NP, establece un límite máximo de alabeo de 8 mm. Así mismo, al analizar los resultados obtenidos, se observa

que el promedio de los valores de alabeo es muy reducido, teniendo resultados de concavidad y convexidad mínimas.

**Tabla 15**

*Resultados detallados del ensayo de alabeo en bloques de concreto celular a base de detergente aniónico.*

Especimen N°	Medida cara superior (mm)			Medida de cara inferior (mm)		
	Convexo		Cóncavo	Convexo		Cóncavo
	Lado izquierdo	Lado derecho	Centro	Lado izquierdo	Lado derecho	Centro
M-01	0	0	0.50	0	0	0.50
M-02	0.10	0.20	0.00	0	0	0.20
M-03	0.30	0.20	0.00	0.20	0.20	0.00
M-04	0	0	0.30	0	0	0.50
M-05	0	0	0.00	0	0	0.00
M-06	0	0	0.00	0	0	0.10
M-07	0	0	0.50	0	0	0.00
M-08	0	0	0.50	0	0	0.10
M-09	0	0	0	0	0	0.00
M-10	0.10	0.10	0	0	0	0.10
<b>Promedio (mm)</b>	0.05	0.05	0.18	0.02	0.02	0.15

*Nota:* La medición del alabeo de los bloques de concreto celular a base de detergente aniónico arrojó valores de convexidad de 0.05 mm y 0.02 mm, y de concavidad de 0.18 mm y 0.15 mm.

**Comparación de alabeo entre bloques de concreto celular a base de detergente aniónico y bloquetas de concreto:** En esta sección al igual que en la variación dimensional se detalla los resultados obtenidos en laboratorio donde determinamos la concavidad y convexidad mínima de los bloques de concreto celular. La comparación de resultados se hizo con las boquetas de concreto tomando como referencia los datos obtenidos por (Cabrera Huamanñahui & Ramirez Aroni, 2019), en la

tesis titulada “Evaluación de la resistencia, permeabilidad y absorción capilar de bloques de concreto elaborados con adición de emulsión de parafina en la ciudad de Abancay-2018”. Este análisis se efectuó con el propósito de identificar las posibles concavidades y convexidades entre ambos conjuntos de materiales de manera detallada y precisa.

En la tabla 16 se presentan los resultados que detallan el alabeo de los bloques de concreto celular fabricados con detergente aniónico, en comparación con las bloquetas de concreto producidas en la ciudad de Abancay.

**Tabla 16**

*Ensayo de Alabeo a bloques de concreto celular vs bloquetas de concreto.*

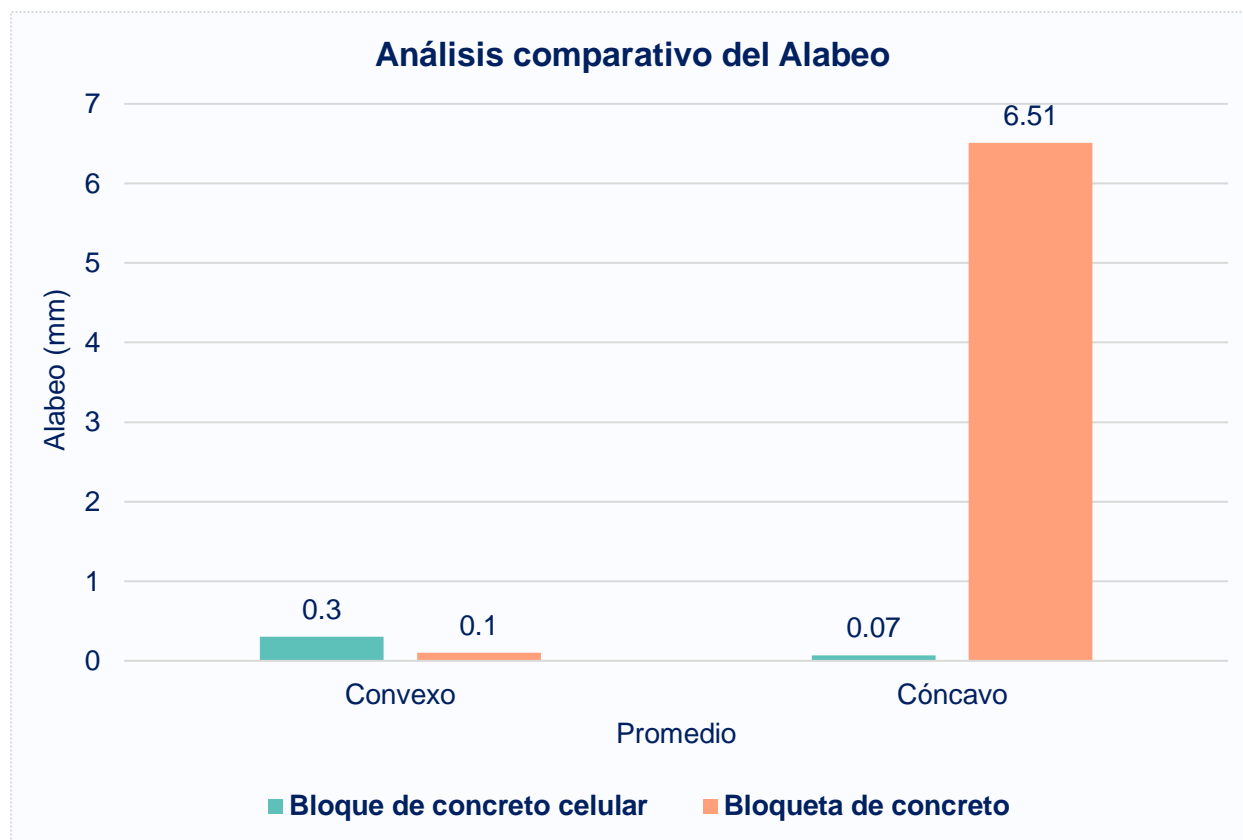
Especimen N°	Bloques de concreto celular				Bloquetas de concreto			
	cara superior (mm)		cara inferior (mm)		cara superior (mm)		cara inferior (mm)	
	convex o	cóncav o	convex o	cóncav o	convex o	cóncav o	convex o	cóncav o
M-01	0.0	0.5	0.0	0.5	5.01	0.0	4.9	0.0
M-02	0.2	0.0	0.0	0.2	0.00	0.7	1.2	0.0
M-03	0.2	0.0	0.2	0.0	0.77	0.0	2.6	0.0
M-04	0.0	0.3	0.0	0.5	5.22	0.0	8.9	0.0
M-05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.49	0.0	1.6	0.0
M-06	0.0	0.0	0.0	0.1	1.33	0.0	0.0	0.0
M-07	0.0	0.5	0.0	0.0	5.48	0.0	6.13	0.0
M-08	0.0	0.5	0.0	0.1	4.10	0.0	2.08	0.0
M-09	0.0	0.0	0.0	0.0	5.05	0.0	3.52	0.0
M-10	0.1	0.0	0.0	0.1	4.00	0.0	2.70	0.0
Promedio (mm)	0.05	0.18	0.02	0.15	3.15	0.07	3.36	0.00
<b>promedio cóncavo</b>	<b>0.3</b>				<b>0.1</b>			
<b>promedio convexo</b>	<b>0.07</b>				<b>6.51</b>			

*Nota:* Los bloques de concreto celular tuvieron un alabeo promedio de 0.2% mientras que las bloquetas de la ciudad de Abancay cuentan con un alabeo del 3.29%



**Figura 16**

*Análisis comparativo de Alabeo (bloques de concreto celular vs bloquetas de concreto)*



*Nota:* En el gráfico, se puede apreciar que los bloques de concreto celular muestran una mayor convexidad en comparación con las bloquetas, mientras que, en cuanto a la concavidad, las bloquetas superan significativamente a los bloques de concreto celular.

**Absorción.** El ensayo de absorción guarda una estrecha relación con la durabilidad de las unidades o bloques de albañilería, ya que un alto grado de absorción puede hacer que un bloque sea vulnerable al deterioro causado por el intemperismo. Para evaluar esta propiedad, realizamos mediciones de peso en tres estados diferentes: en estado natural, en estado seco y sumergido, y calculamos un promedio de absorción del 14.39%. Según las especificaciones para bloques NP, la absorción no debe exceder

el 15%, lo que significa que se cumple de manera satisfactoria con lo establecido en la normativa NTP 331.017.

En la tabla 17 se presentan los resultados que detallan la absorción de los bloques de concreto celular fabricados con detergente aniónico.

**Tabla 17**

*Resultados detallados del ensayo de absorción en bloques de concreto celular a base de detergente aniónico*

Espécimen N°	Peso			Absorción (%)
	Peso natural (gr)	Peso seco (gr)	Peso saturado 24h (gr)	
M-01	7334	7309	8402	14.95
M-02	7337	7310	8399	14.90
M-03	7336	7305	8027	9.88
M-04	7326	7300	8276	13.37
M-05	7341	7312	8308	13.62
			<b>Promedio</b>	13.35

*Nota:* Los bloques de concreto celular tuvieron una absorción del 13%

**Comparación de la absorción entre bloques de concreto celular a base de detergente aniónico y bloquetas de concreto:** En esta sección, se detallan los resultados obtenidos en el laboratorio, donde evaluamos el grado de absorción de los bloques de concreto celular. Estos resultados son de suma importancia, ya que nos proporcionan información sobre la durabilidad esperada de estos bloques. Para realizar esta evaluación, comparamos nuestros resultados con los datos obtenidos por (Cabrera Huamanñahui & Ramirez Aroni, 2019) en su tesis titulada "Evaluación de la resistencia, permeabilidad y absorción capilar de bloques de concreto elaborados con adición de

emulsión de parafina en la ciudad de Abancay- 2018". Esta comparación tiene como objetivo identificar de manera minuciosa y precisa las diferencias en el porcentaje de absorción entre ambos conjuntos de materiales.

En la tabla 18 se muestran los resultados que detallan el grado de absorción de los bloques de concreto celular fabricados con detergente aniónico, en comparación con las bloquetas producidas en la ciudad de Abancay.

**Tabla 18**

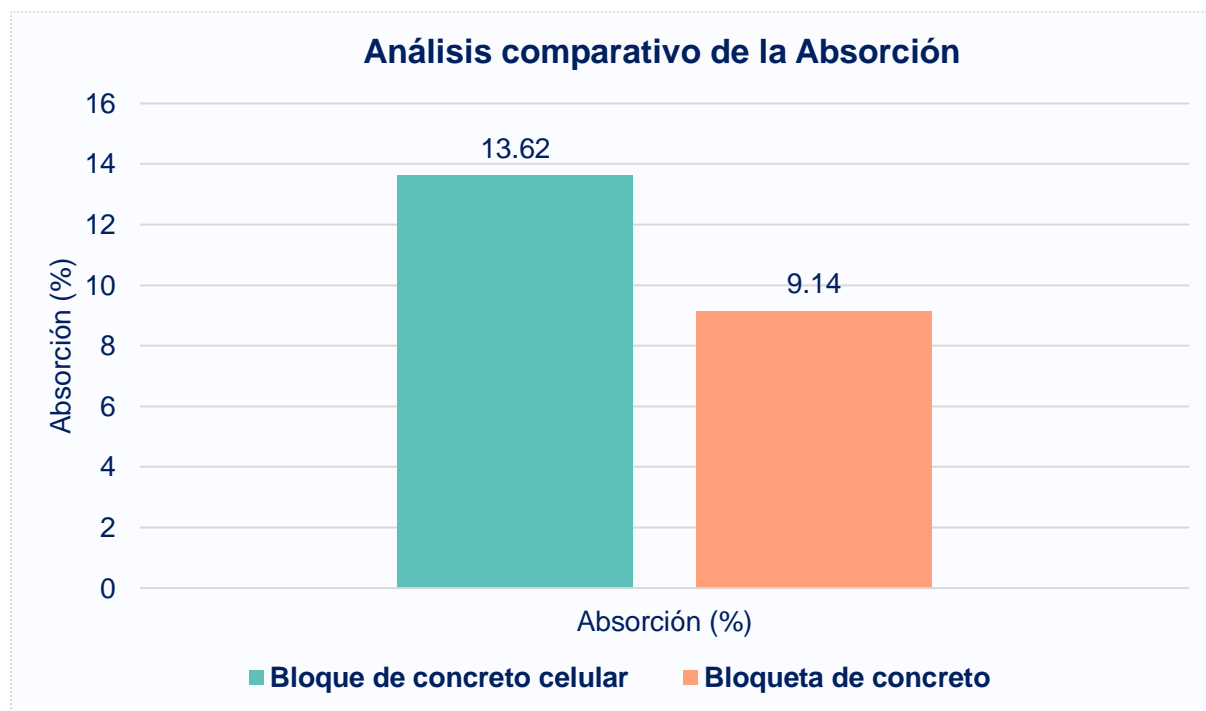
*Ensayo de absorción de concreto celular vs bloquetas de concreto*

Especien N°	Bloques de concreto celular a base de detergente aniónico		Bloquetas de concreto	
	Densidad gr/cm <sup>3</sup>	% de absorción	Densidad gr/cm <sup>3</sup>	% de absorción
M-01	0.8	14.95	2.1	7.99
M-02	0.8	14.90	2.1	9.52
M-03	0.8	9.88	2.0	9.71
M-04	0.8	13.37	2.1	9.44
M-05	0.8	13.62	2.1	9.06
<b>Promedio de densidad</b>	<b>0.8</b>	<b>13.62</b>		
<b>Promedio de absorción</b>			<b>2.1</b>	<b>9.14</b>

*Nota:* los bloques de concreto celular tuvieron una menor densidad, pero una mayor absorción con respecto a las bloquetas de Abancay.

**Figura 17**

*Análisis comparativo de la absorción (bloques de concreto celular vs bloquetas de concreto)*



*Nota:* El porcentaje de absorción de los bloques de concreto celular fue mayor a las bloquetas de concreto.

#### **4.1.3. Respuesta al objetivo específico 2**

“Determinar el comportamiento de las propiedades mecánicas de Bloques de Concreto Celular a base de detergente aniónico para muros no portantes”

En esta sección se muestra una comparación de las propiedades mecánicas adquiridas mediante las respectivas pruebas o procesos. Estas pruebas incluyen la absorción, la resistencia a la compresión diagonal de muros, la resistencia a la compresión axial de pilotes y la resistencia a la compresión de bloques.

#### **4.1.3.1. Resultados de las propiedades mecánicas de los bloques de concreto celular.**

En esta sección, se establecen las propiedades mecánicas de los bloques de concreto celular fabricados con detergente aniónico. La información obtenida a través de los ensayos mecánicos desempeña un papel fundamental para los ingenieros estructurales, ya que les permite realizar cálculos y diseños precisos para las estructuras que incorporarán estos bloques. Los resultados de estos ensayos también influyen en la elección de los materiales y en la capacidad de carga prevista para las estructuras.

**La resistencia a la compresión:** Esta prueba determina la calidad estructural, así como la capacidad del material para resistir los efectos dañinos de la intemperie y otros procesos de deterioro, lo que la convierte en un atributo crucial. La normativa que regula este ensayo es la (NTP 399.604, 2002). En este estudio se trabajó con bloques NP con una designación artesanal.

La carga de rotura máxima en kilogramos se dividió por el área bruta del bloque en centímetros cuadrados para hallar la resistencia a la compresión. Para este experimento se analizaron cinco muestras a los 14, 21 y 28 días de vida. Se tomaron las medidas de longitud y anchura para determinar el área bruta, que es donde se aplicaría la carga, con el fin de obtener resultados precisos. Posteriormente, se estimaron la desviación típica y la resistencia media a la compresión. A continuación, se determinó la resistencia característica de las unidades de mampostería tras calcular el coeficiente de variación. Según los datos, la resistencia característica fue de 14,9 kg/cm<sup>2</sup> el día 14, de 22,32 kg/cm<sup>2</sup> el día 21 y de 24,26 kg/cm<sup>2</sup> el día 28. De acuerdo con la tabla estándar 1.

En este caso, a los 28 días, nuestros bloques cumplen satisfactoriamente con este requisito.

En la tabla 19 se muestra detalladamente los valores de resistencia a los 14, 21 y 28 días de edad.

**Tabla 19**

*Resultados detallados de la resistencia a la compresión de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico*

<b>Espécimen N°</b>	<b>Densidad de diseño kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Área cm<sup>2</sup></b>	<b>Carga máxima</b>	<b>14 días kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>21 días kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>28 días kg/cm<sup>2</sup></b>
B-01	800	480.80	8634.00	17.96	-	-
B-02	800	480.00	7705.00	16.05	-	-
B-03	800	480.52	8367.00	17.41	-	-
B-04	800	480.80	6857.00	14.26	-	-
B-05	800	480.24	7687.00	16.01	-	-
N-01	800	480.12	12802.00	-	26.66	-
N-02	800	480.00	13034.00	-	27.15	-
N-03	800	480.52	12126.00	-	25.24	-
N-04	800	480.80	12086.00	-	25.14	-
N-05	800	480.00	9849.00	-	20.52	-
L-01	800	480.12	13915.22	-	-	28.98
L-02	800	480.00	14167.39	-	-	29.52
L-03	800	480.52	13180.43	-	-	27.43
L-04	800	480.80	13136.96	-	-	27.32
L-05	800	480.00	10705.43	-	-	22.30

*Nota:* Las resistencias promedio registradas a los 9 días alcanzaron los 14.90 kg/cm<sup>2</sup>, a los 21 días se situaron en 22.32 kg/cm<sup>2</sup> y finalmente, a los 28 días, obtuvimos una resistencia de 24.26 kg/cm<sup>2</sup>.

**Comparación de la resistencia a la compresión entre bloques de concreto celular a base de detergente aniónico y bloquetas de concreto.** En esta sección, presentamos los resultados del ensayo de resistencia a la compresión de los bloques de concreto celular, un aspecto crítico para determinar su durabilidad. Para realizar esta evaluación, comparamos nuestros resultados con los datos obtenidos por (Cabrera Huamanñahui & Ramirez Aroni, 2019) en su tesis titulada "Evaluación de la resistencia, permeabilidad y absorción capilar de bloques de concreto elaborados con adición de emulsión de parafina en la ciudad de Abancay-2018". Esta comparación nos brinda la capacidad de detectar de manera precisa las variaciones en cuanto a la resistencia entre ambos conjuntos de materiales.

Los resultados de la comparación de la resistencia a la compresión de los bloques de hormigón celular fabricados con detergente aniónico con los bloques de hormigón fabricados en la ciudad de Abancay se muestran en la Tabla 20. A pesar de mostrar una mayor resistencia que los bloques de hormigón celular, no alcanzan los 70 kg/cm<sup>2</sup> necesarios para el diseño sugerido. Por el contrario, los resultados de resistencia de los bloques de hormigón celular sí alcanzan los 20 kg/cm<sup>2</sup> sugeridos para el diseño.

**Tabla 20**

*Ensayo de resistencia a la compresión de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico vs bloquetas de concreto*

Descripción	Muestras N°	Densidad de diseño kg/m <sup>3</sup>	Diseño de resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Área bruta (kg)	Carga máxima	28 días kg/cm <sup>2</sup>
<b>Bloques de concreto</b>	M-01	800	20.00	480.80	13915.22	28.98

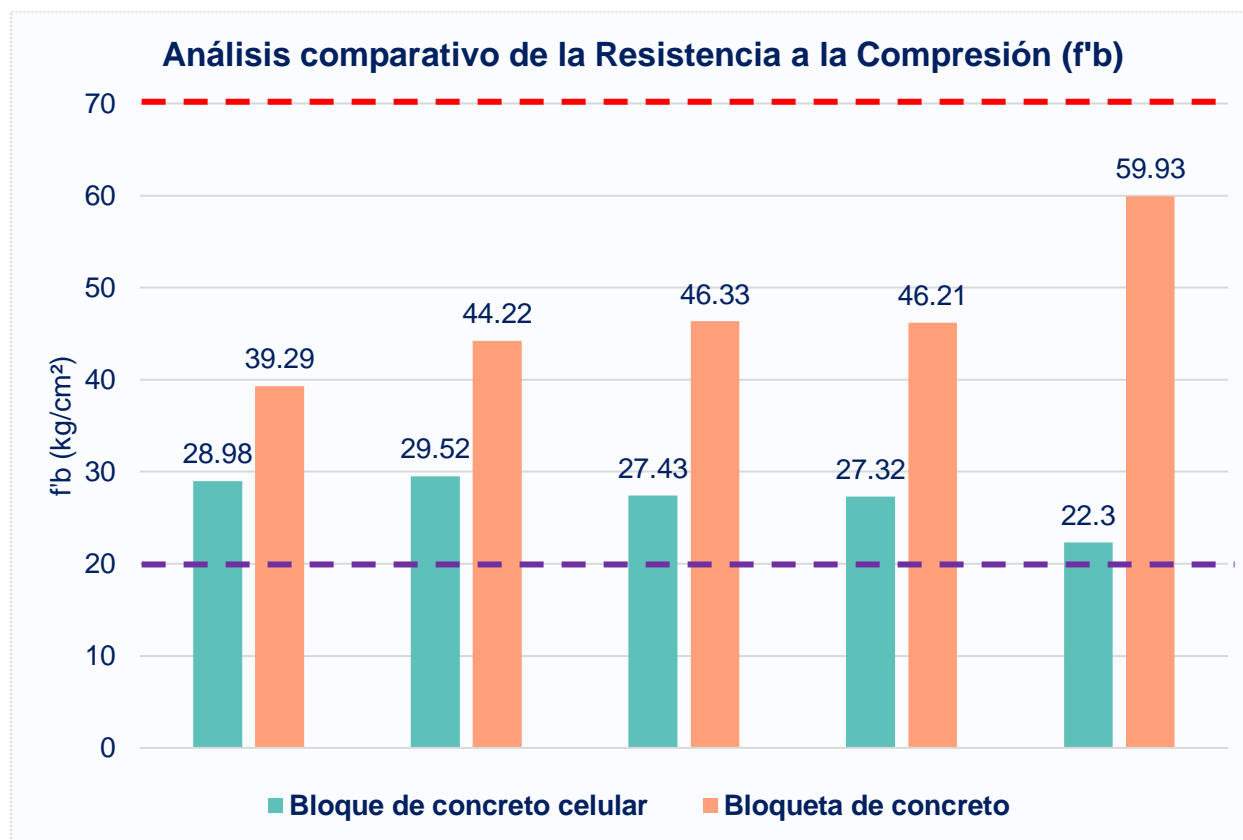
<b>celular a base de detergente aniónico</b>	M-02	800	20.00	480.00	14167.39	29.52
	M-03	800	20.00	480.52	13180.43	27.43
	M-04	800	20.00	480.80	13136.96	27.32
	M-05	800	20.00	480.24	10705.43	22.30
<b>Bloquetas de la ciudad de Abancay</b>	1	-	70.00	162.89	6400.00	39.29
	2	-	70.00	166.89	7380.00	44.22
	3	-	70.00	170.93	7920.00	46.33
	4	-	70.00	166.62	4621.00	46.21
	5	-	70.00	171.71	5993.00	59.93

*Nota:* Los bloques de concreto celular cumplieron con el diseño previsto para muros no portantes, mientras que las bloquetas de concreto, diseñadas para su uso en muros estructurales, también cumplieron con los requisitos mínimos para muros no portantes. Sin embargo, como se puede apreciar en la siguiente figura, no alcanzaron la resistencia mínima requerida, que es de 70 kg/cm<sup>2</sup>.



**Figura 18**

*Análisis comparativo de la resistencia a la compresión (bloques de concreto celular vs bloquetas de concreto)*



*Nota:* En el gráfico se aprecia que tanto los bloques de concreto celular como las bloquetas de concreto cumplen con la resistencia mínima requerida para muros no portantes. Sin embargo, las bloquetas de concreto diseñadas para alcanzar una resistencia mínima en muros estructurales no logran cumplir con dicho estándar.

**Compresión axial en pilas.** Para calcular la resistencia axial se utiliza la fórmula NTP 339.605, que divide la mayor carga de rotura por la sección transversal de los pilotes. Por último, se resta la desviación típica de la media para obtener la resistencia axial característica.

Este estudio se realizó a los 21 días de construidas las pilas y se utilizó un factor de 1.00, se realizaron ensayos en cinco pilas, y para cada una de ellas se registraron las dimensiones de alto, ancho y espesor en centímetros. Estos datos se utilizaron para calcular la relación de esbeltez, que se define como la altura de la pila dividida por el espesor. A partir de la tabla 10 de la norma E.070, se obtuvieron los factores de corrección por esbeltez. Estos factores se aplicaron según la esbeltez de cada pila para finalmente determinar su resistencia. Como resultado, se obtuvo un promedio de resistencia de las pilas de albañilería de 22.99 kg/cm<sup>2</sup>. Posteriormente, se calculó la desviación estándar y, finalmente, se determinó la resistencia característica de las pilas. Según la tabla 9 de la norma E.070 para bloques NP, se establece un valor mínimo de resistencia de 29.6 kg/cm<sup>2</sup>. En este caso, no se logró obtener el valor mínimo sugerido por la norma.

En la tabla 21 se presenta en detalle la resistencia a la compresión axial de cinco pilotes o prismas de mampostería de hormigón celular fabricados con detergente aniónico. La tabla 22 muestra la resistencia característica, que se calcula en 22,99 kg/cm<sup>2</sup>, por debajo del valor mínimo sugerido por la norma E.070 para mampostería.

### **Tabla 21**

*Resultados detallados de la resistencia a la compresión axial en pilas de concreto celular a base de detergente aniónico.*

Pilas N°	Esbeltez (cm)	P <sub>máx</sub> (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Factor de corrección	Resistencia f' m (kg/cm <sup>2</sup> )	Incremento 14 días	Resistencia corregida f' m (kg/cm <sup>2</sup> )
-------------	------------------	--------------------------	-------------------------------	-------------------------	--	-----------------------	---

<b>P-01</b>	5.00	9774.65	462.00	1.00	21.16	1.10	23.27
<b>P-02</b>	5.00	10334.65	462.00	1.00	22.37	1.10	24.61
<b>P-03</b>	5.04	9021.65	462.00	1.08	21.09	1.10	23.20
<b>P-04</b>	5.04	9890.65	462.00	1.08	23.12	1.10	25.43
<b>P-05</b>	5.03	9272.65	462.00	1.06	21.27	1.10	23.40

*Nota:* Resultados detallados del ensayo de resistencia a la compresión axial

## Tabla 22

*Resistencia característica del ensayo de compresión axial*

<i>Resistencia a la compresión de la albañilería (kg/cm<sup>2</sup>)</i>	$f_m =$	23.98
<i>Desviación estándar</i>	$\sigma =$	0.99
<i>Resistencia característica de la albañilería (kg/cm<sup>2</sup>)</i>	$f'_m =$	22.99

*Nota:* La resistencia característica de las pilas elaboradas con bloques de concreto celular fue de 22.99 kg/cm<sup>2</sup>

**Comparación de la resistencia a la compresión axial entre pilas de concreto celular a base de detergente aniónico y pilas de bloquetas de concreto.** En esta sección, presentamos los resultados del ensayo de resistencia a la compresión axial de los bloques de concreto celular, un aspecto crítico para determinar su durabilidad. Para realizar esta evaluación, comparamos nuestros resultados con los datos obtenidos por (Diaz Aymara, 2022) en su la tesis titulada “Estudio de las propiedades mecánicas y físicas de las bloquetas hechas de concreto incorporando vidrio triturado en Abancay, Apurímac, 2022”. Esta comparación nos brinda la capacidad de detectar de manera precisa las variaciones en cuanto a la resistencia entre ambos conjuntos de materiales.

Este ensayo tiene la finalidad de calcular la máxima capacidad de carga que una pila o prisma de albañilería puede resistir antes de experimentar una ruptura. Los resultados de este ensayo revisten una importancia crítica, ya que nos permiten comprender la resistencia estructural de los bloques de concreto celular y su capacidad

para soportar cargas verticales en una construcción. En el marco de esta evaluación, se llevaron a cabo pruebas de resistencia axial en tres pilas que se construyeron y sometieron al ensayo después de 28 días de haber sido elaborados los bloques, con pruebas adicionales realizadas a los 14 días desde la construcción de las pilas.

**Tabla 23**

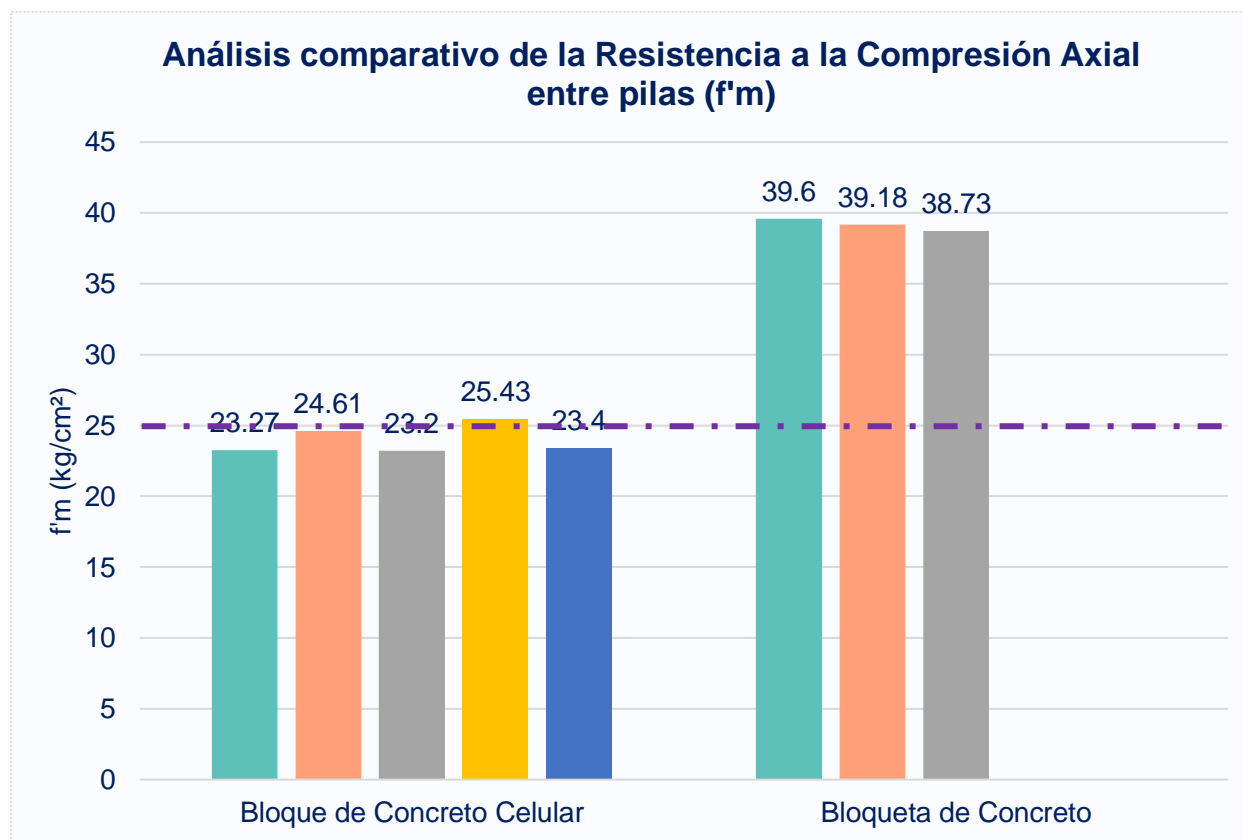
*Ensayo de resistencia a la compresión de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico vs bloquetas de concreto*

Descripción	Muestra N°	Resistencia $f'_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia corregida $f'_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio	Desviación estándar	Resistencia característica
<b>Bloques de concreto celular a base de detergente aniónico</b>	P-01	21.16	23.27	23.98	0.99	22.99
	P-02	22.37	24.61			
	P-03	21.09	23.20			
	P-04	23.12	25.43			
	P-05	21.27	23.40			
<b>Bloquetas de concreto</b>	Pila - 01	40.27	39.60	39.17	0.44	38.73
	Pila - 02	39.84	39.18			
	Pila - 03	38.73	38.73			

Nota: La resistencia característica de las pilas elaboradas con bloques de concreto celular fue de 22.99 kg/cm<sup>2</sup> mientras que la resistencia característica de las bloquetas de concreto es de 38.73 kg/cm<sup>2</sup>

## Figura 19

*Análisis comparativo de la resistencia a la compresión axial (bloques de concreto celular vs bloquetas de concreto)*



*Nota:* En el gráfico se aprecia la resistencia a la compresión axial de los bloques de concreto celular y las bloquetas de concreto.

**Resistencia a la compresión diagonal en muretes.** Para esta prueba se aplica la fórmula NTP 339.621, que divide el esfuerzo cortante sobre el área bruta. Este ensayo se utiliza para medir la resistencia típica al cizallamiento. Si se instrumentan y registran las deformaciones diagonales, puede determinarse el módulo de cizallamiento del muro de bloques de hormigón celular.

Este estudio se realizó a los 21 días de construidas los muretes y se utilizó un factor de 1.05, se realizaron ensayos en tres muretes de 80 cm x 80 cm, y para cada una de ellas se registraron las dimensiones de alto, ancho y espesor en centímetros. Como resultado, se obtuvo un promedio de resistencia de los muretes de 4.3 kg/cm<sup>2</sup>. Posteriormente, se calculó la desviación estándar y finalmente, se determinó la resistencia diagonal característica de los muretes. Según la tabla 9 de la norma E.070 para bloques NP, se establece un valor mínimo de resistencia de 3.44 kg/cm<sup>2</sup>. En este caso, se logró obtener un valor de 4.3 kg/cm<sup>2</sup>, lo que se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la normativa.

**Resistencia la compresión diagonal o corte en muros de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico:** El propósito principal del ensayo de compresión diagonal o corte es evaluar la capacidad de resistencia de los muros o paredes de una estructura cuando se les aplican fuerzas cortantes en un ángulo diagonal. Este ensayo desempeña un papel esencial en la verificación del cumplimiento de los requisitos de seguridad estructural por parte del muro, es decir, su capacidad para resistir fuerzas laterales, como las generadas por el viento, sismos u otras cargas laterales. Se sometieron a ensayo tres muros con dimensiones de 81.5 cm x 77.5 cm como parte de este estudio. Como observación final los muros presentaron fallas dúctiles, local y de corte.

En la tabla 24 se detalla los resultados obtenidos en el ensayo de corte diagonal en muros

**Tabla 24***Resistencia a la compresión diagonal o corte*

Muros N°	Dimensiones (cm)			Espesor de mortero	Área cm <sup>2</sup>	Carga máxima kg	Resistencia al corte (kg/cm <sup>2</sup> )
	Largo	anch	alto				
M-01	77.5	11.8	81.5	0.5	934.13	5781	4.38
M-02	77.5	12.0	81.5	0.5	949.43	5819	4.33
M-03	77.6	12.0	81.5	0.5	950.03	5761	4.29

*Nota:* La resistencia característica obtenida en el ensayo de compresión diagonal o corte en muros es de 4.33 kg/cm<sup>2</sup>.

#### **4.1.4. Respuesta al objetivo específico 3**

“Establecer un diseño de mezcla óptimo para un bloque de concreto celular a base de detergente aniónico de una densidad de 800 kg/m<sup>3</sup>”.

Como primer paso fundamental en el proceso de dosificación de la mezcla, es esencial evaluar la calidad de la arena fina y asegurarse de que el generador de espuma produzca una espuma con una densidad adecuada. Esto es crucial para la fabricación de bloques de concreto celular de alta calidad.

##### **4.1.4.1. Ensayo a los agregados pétreos**

**Agregado fino (arena):** Para seleccionar adecuadamente un agregado, en este caso, la arena fina de la zona de Pachachaca en nuestra localidad, se consideraron las recomendaciones de los investigadores Ferrel Sinte & Moreano Huacana (2019). Estos expertos llevaron a cabo estudios de calidad en siete canteras ubicadas en el área de Pachachaca. Sus investigaciones concluyeron que estos agregados se encuentran en la

misma área geológica, lo que sugiere que los valores o resultados obtenidos de cualquier cantera en el sector de Pachachaca no deberían diferir significativamente.

En la tabla 25 se mostrará los resultados del análisis granulométrico del agregado fino y en la gráfica 20 se muestra la curva granulométrica del mismo material

**Tabla 25**

*Análisis granulométrico de arena fina, cantera Quispe*

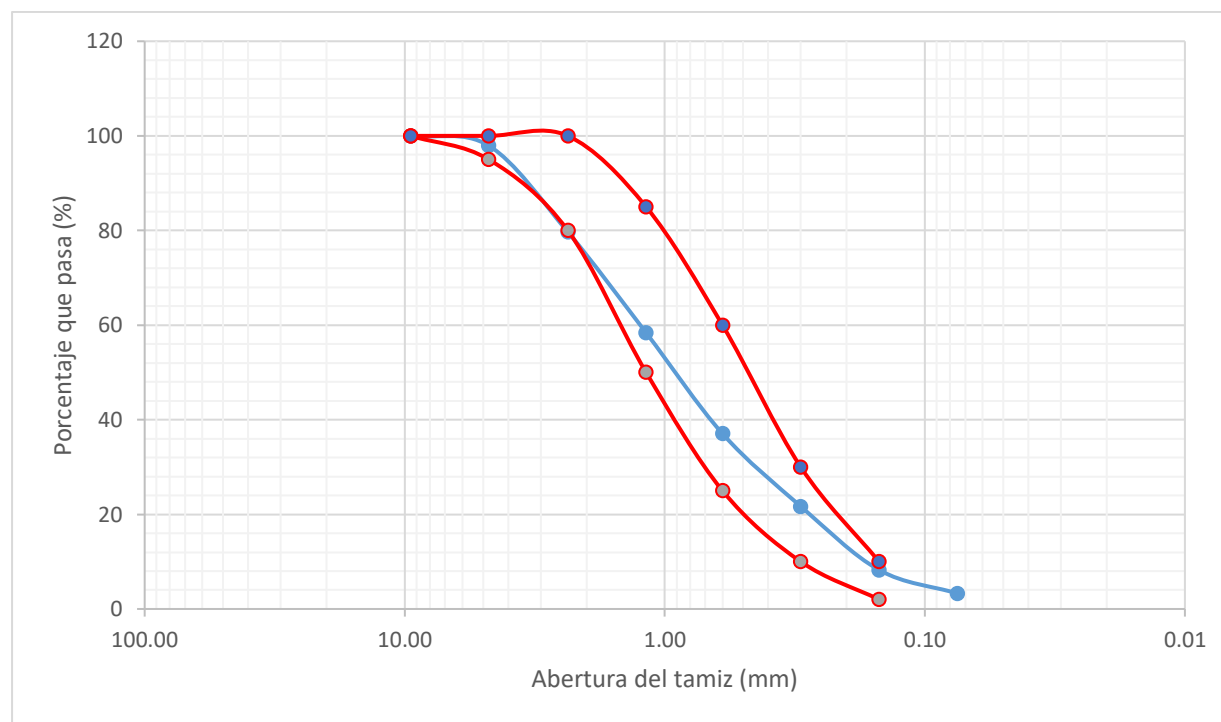
Agregado fino		Peso de muestra seca (g)			331.08		
Tamiz		Peso retenido	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa		
(pulg)	(mm)	(g)	(%)	(%)	Arena	Especificaciones	
3/8"	9.50	0	0.00%	0.00%	100.00%	100	100
N° 4	4.75	6.9	2.08%	2.08%	97.92%	95	100
N° 8	2.36	60.39	18.24%	20.32%	79.68%	80	100
N° 16	1.18	70.5	21.29%	41.62%	58.38%	50	85
N° 30	0.60	70.6	21.32%	62.94%	37.06%	25	60
N° 50	0.30	50.89	15.37%	78.31%	21.69%	10	30
N° 100	0.15	44.5	13.44%	91.75%	8.25%	2	10
N° 200	0.08	16.4	4.95%	96.71%	3.29%	0	3
Fondo		10.9	3.29%	100.00%	0.00%		
<b>Total</b>		<b>331.08</b>	<b>100%</b>				

*Nota:* El módulo de finura se calcula sumando el peso de los materiales retenidos en el tamiz número 100 y luego dividiendo ese resultado entre 100. En este caso, el cálculo arroja un valor de 2.97, el cual cumple con los requerimientos establecidos por la norma NTP 400.012 (2001).



**Figura 20**

*Curva granulométrica arena fina cantera Quispe*



*Nota:* La curva granulométrica se representa en color rojo y se ha generado mediante la representación en el eje “X” de las aberturas de los tamices en milímetros, mientras que en el eje “Y” se muestran los porcentajes de partículas que pasan a través de ellos. La grafica se realizó en una escala logarítmica para la obtención de la curva granulométrica. Al analizarla, observamos que nuestra curva se sitúa dentro del rango de uso granulométrico inferior y superior, a excepción del tamiz N°8

#### **4.1.4.2. Densidad del detergente aniónico**

El detergente aniónico usado en este proyecto fue dosificado a base de recomendaciones de la ASTM C494 (2012). Mantener una densidad constante del agente espumante es esencial para lograr bloques de concreto celular con características

uniformes y coherentes. Esto evita variaciones no deseadas en la densidad y otras propiedades del producto final, lo que podría llevar a problemas de calidad y rendimiento.

La densidad del concreto celular afecta directamente la resistencia y la capacidad de carga de los bloques. Un cálculo preciso del agente espumante permite controlar la densidad final del concreto celular y, por lo tanto, garantizar que los bloques cumplan con los requisitos de resistencia y seguridad estructural. En la tabla 26 se muestra el resultado promedio de la densidad del espumante.

**Tabla 26**

*Obtención de resultados del detergente aniónico*

<b>Descripción</b>	<b>und</b>	<b>Muestra 01</b>	<b>Muestra 02</b>	<b>Muestra 03</b>	<b>Promedio</b>
Peso de recipiente	kg	0.105	0.105	0.105	
Peso de recipiente + detergente aniónico	Kg	0.135	0.139	0.141	0.137
Volumen del recipiente	m <sup>3</sup>	0.23	0.23	0.23	
Factor para el recipiente	l/m <sup>3</sup>	0.1	0.1	0.1	
Densidad de la espuma	Kg/m <sup>3</sup>	787	798	800	797

*Nota:* Se realizaron tres ensayos para obtener un resultado promedio más preciso de la densidad del detergente aniónico.

#### **4.1.4.3. Dosificación de mezcla para una densidad de 800 kg/m<sup>3</sup>**

En esta sección, hemos definido una dosificación óptima para la producción de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico con una densidad de 800 kg/m<sup>3</sup>. Hoy en día, no se dispone de un diseño de mezcla estandarizado para el concreto

celular, pero podemos basarnos en la guía proporcionada por el ACI 523 3R-14. Esta guía nos ofrece una serie de fórmulas que nos permiten obtener una dosificación adecuada para la fabricación de bloques de concreto celular.

En la tabla 27 damos a conocer los resultados obtenidos para una buena dosificación de concreto celular para un metro cubico.

**Tabla 27**

*Dosificación de mezcla para un m<sup>3</sup> de concreto celular a base de detergente aniónico*

<b>Descripcion</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Cemento	4.08	Kg
Agua	1.52	Lt
Arena	3.91	Kg
Espuma	0.6	Lt
Aditivo	0.3	lt

*Nota:* los valores obtenidos en esta tabla fueron usados para la fabricacion de los bloques de concreto celular a base de detergente anionico.

#### **4.2. Discusión de resultados**

Los resultados obtenidos revelan un comportamiento destacado en las propiedades físicas y mecánicas de los bloques de concreto celular elaborados con detergente aniónico, especialmente diseñados para aplicaciones en muros no portantes. En comparación con las bloquetas tradicionales utilizadas en la ciudad de Abancay, se evidencian mejoras significativas en varios parámetros.

Durante el ensayo de variación dimensional, se constató que el bloque de concreto celular a base de detergente aniónico cumplía con los estándares establecidos en la

norma E.070 albañilería, principalmente por la apariencia y por destacar con una buena geometría. Los resultados revelaron una variación dimensional de 0.43 % en largo, 0.06 % en ancho y 0.05 % en altura. En contraste, al comparar estos resultados con las bloquetas tradicionales utilizadas en la ciudad de Abancay, se observó que los bloques de concreto celular presentaban una variación dimensional del 0.1%, mientras que las bloquetas locales exhibían una variación dimensional del 1.0%.

Estos hallazgos indican que, al emplear bloques de concreto celular en la construcción de tabiquería, se requerirá un menor uso de mortero en el proceso de asentado debido a la reducida variación dimensional de estos bloques. Esto, a su vez, permitirá un desempeño más eficaz del comportamiento del muro. Abanto Castillo (2007) destaca “la importancia de la variación dimensional de los bloques, ya que esto influyen en el espesor del mortero, así mismo posibilita la obtención de muros caravista que demandan poco revestimiento, e incluso solo requieran solaqueado o pintura” (pág. 45).

Por otro lado, en el ensayo de alabeo, se confirmó que el bloque de concreto celular a base de detergente aniónico cumplía con los estándares establecidos en la norma E.070 albañilería. Muy aparte de cumplir con lo normado la apariencia del bloque mostró superficies sumamente lisas lo cual nos permitirá usarlos como muros cara vista. Los resultados de alabeo mostraron una concavidad y convexidad de 0.23 mm. En contraste, al comparar estos resultados con las bloquetas tradicionales utilizadas en la ciudad de Abancay, se observó que los bloques de concreto celular presentaban un alabeo característico del 0.2%, mientras que las bloquetas locales mostraron un alabeo característico del 3.29%. Estos resultados, al igual que la variación dimensional, indican

que se necesitará menos mortero al asentar los bloques de concreto celular, lo que a su vez mejorará la apariencia y la trabajabilidad de la tabiquería.

A continuación, en el ensayo de absorción, se pudo verificar que los bloques de concreto celular a base de detergente aniónico cumplen con los parámetros establecidos en la norma E.070 para albañilería. Los resultados mostraron una tasa de absorción del 13.62%, la cual está por debajo del límite mínimo del 15% establecido para bloques NP. Al comparar estos resultados con las bloquetas tradicionales utilizadas en la ciudad de Abancay, se observó que los bloques de concreto celular presentaron una mayor tasa de absorción del 13.62%, mientras que las bloquetas tradicionales tuvieron una tasa de absorción del 9.14%. Estos resultados indican que los bloques de concreto celular a base de detergente aniónico tienen un porcentaje de absorción superior en comparación con los bloques convencionales, pero aún cumplen con los requisitos de la norma E.070 para albañilería. Es importante destacar que el ensayo de absorción nos proporciona información crucial sobre la durabilidad que puede esperarse de la unidad de albañilería. Como señala Bartolomé Ramos (1994), "la absorción de una unidad de albañilería está estrechamente relacionada con su durabilidad" (pág. 111).

En relación con el comportamiento de los bloques de concreto celular sometidos al ensayo de compresión, se obtuvieron resultados de 14.90 kg/cm<sup>2</sup> a los 9 días de edad, 22.32 kg/cm<sup>2</sup> a los 21 días y 24.26 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, cumpliendo satisfactoriamente con los requisitos de resistencia mínima para bloques NP según la norma E.070 albañilería, como se puede observar los resultados de compresión en las distintas edades fue gradual. Estos resultados también indican que la capacidad de la unidad de albañilería será resistente a fuerzas de compresión aplicadas perpendicularmente a su superficie. Y

de esta manera se asegura que las unidades cumplan con los requisitos de resistencia necesaria para garantizar la seguridad y la durabilidad de la construcción donde se utilizará.

Por otro lado, autores como gallegos & Casabonne (2005) enfatizan que “la resistencia a la compresión es una propiedad fundamental de la unidad de albañilería, y un valor alto denota calidad y durabilidad, mientras que un valor bajo sugiere que la albañilería será menos resistente y duradera” (pág. 111). Al igual, Bartolomé Ramos (1994) sostiene “que el ensayo de resistencia a la compresión en unidades está estrechamente vinculado a la durabilidad que se espera de la unidad” (pág. 112)

En el ensayo de compresión axial realizado en pilas o prismas construidos con bloques de concreto celular a base de detergente aniónico, se obtuvo una resistencia característica de 22.99 kg/cm<sup>2</sup> después de 14 días de construcción de los prismas. Este resultado no alcanzó los valores mínimos establecidos por la norma E.070 para la construcción de muros armados. Sin embargo, el propósito principal de este ensayo era observar el comportamiento de los prismas ante esfuerzos verticales.

Se pudo notar que las fallas que experimentó el prisma al ser sometido a esfuerzo fueron de tipo dúctil, lo que significa que se deformó, pero no se destruyó por completo. Esto se debe a la presencia de burbujas en el bloque de concreto celular, que actúan como esponjas absorbiendo la fuerza aplicada.

Así mismo el ensayo de compresión diagonal o corte en muros construidos con bloques de concreto celular demostró un comportamiento dúctil, similar al observado en las pilas, a diferencia de lo que ocurre en los muros tradicionales que, cuando se someten

a fuerzas, muestran un comportamiento más explosivo. La ventaja de los bloques de concreto celular radica en su capacidad de resistir fuerzas de manera más gradual, lo cual es beneficioso para los ocupantes de edificaciones que utilizan estos bloques. En caso de un sismo, por ejemplo, los muros de concreto celular colapsarían de manera más controlada, en contraste con los bloques tradicionales que podrían experimentar fallas explosivas. Es por ello importante destacar que la resistencia característica obtenida en este ensayo fue de  $4.33 \text{ kg/cm}^2$ , aunque no alcanzó el valor promedio establecido por la norma E.070 para albañilería, que es de  $8.6 \text{ kg/cm}^2$ . Demostró una buena apariencia física y un buen comportamiento ante esfuerzos laterales y verticales.

En esta investigación, se ha empleado la guía ACI 523 3R-14 para lograr una dosificación óptima de la mezcla de concreto celular. Esto se debe a que los métodos tradicionales de diseño de mezcla no son aplicables al concreto celular, dado que sus componentes son distintos de los de otros tipos de bloques. La resistencia de los bloques de concreto celular está directamente relacionada con su densidad, siguiendo un principio ampliamente reconocido en el diseño y la construcción de estructuras de este tipo. Para la fabricación de los bloques de concreto celular a base de detergente aniónico en esta investigación, se optó por una densidad de  $800 \text{ kg/m}^3$ . Esta elección se basa en las recomendaciones de fabricantes líderes, como las empresas HEBEL y YTONG, que sugieren esta densidad para muros no portantes.

Por último, nuestros hallazgos corroboran las afirmaciones de Zamora Terrones (2015), quien sostiene que los bloques de concreto celular con densidades de  $1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $1200 \text{ kg/m}^3$  y  $1400 \text{ kg/m}^3$  son adecuados para muros no estructurales, ya que cumplen con los requisitos de propiedades físicas y mecánicas. Este autor también

sugiere que una densidad de 1400 kg/m<sup>3</sup> funciona de manera óptima para muros no estructurales, y para mejorar estas propiedades, recomienda la incorporación de fibras de polipropileno y un aditivo plastificante. Estos hallazgos son congruentes con los resultados presentados en este estudio.

Sin embargo, el estudio difiere del autor citado en cuanto a la clasificación y aplicación del concreto celular. El autor se refiere a bloques no estructurales con densidades de 1000 kg/m<sup>3</sup> a 1400 kg/m<sup>3</sup>. En este estudio, se examinan muros no estructurales utilizando bloques diseñados para aplicaciones estructurales, lo que hace que los resultados no se relacionen con el título original del autor.

Por otro lado, en términos económicos, los bloques de concreto celular a base de detergente aniónico ofrecen una reducción significativa de costos en comparación con los bloques de concreto utilizados en nuestra localidad. Esta reducción se calcula en aproximadamente un 10% en lo que respecta a los gastos relacionados con materiales y mano de obra.

Esta ventaja económica se debe en gran medida a la geometría casi perfecta de los bloques de concreto celular. Su precisión dimensional minimiza la cantidad de mortero requerido para el asentado de muros, lo que se traduce en un ahorro considerable en materiales y también en mano de obra. Además, estos bloques permiten la creación de muros de apariencia estética, conocidos como "muros cara vista", que requieren únicamente una capa delgada de solaqueado en su acabado. En muchos casos, incluso es posible prescindir del solaqueado y simplemente pintar el muro, lo que reduce aún más los costos y agiliza el proceso de construcción.



### 4.3. Prueba de hipótesis

Los resultados obtenidos, tanto de las propiedades físicas como mecánicas han cumplido con los estándares para muros no portantes establecidos por la normativa peruana. Como consecuencia de esto, la investigación se orienta hacia una comparación con otro material de construcción que desempeñe funciones similares. En este sentido, se establece una comparativa con las bloquetas de concreto, las cuales son ampliamente empleadas y fabricadas en la ciudad de Abancay. Para ello se ha considerado los datos de los resultados de la investigación titulada “*Evaluación de la resistencia, permeabilidad y absorción capilar de bloques de concreto elaborados con adición de emulsión de parafina en la ciudad de Abancay- 2018*” de los investigadores Huamanñahui & Aroni. y “*Estudio de las propiedades mecánicas y físicas de las bloquetas hechas de concreto incorporando vidrio triturado en Abancay, Apurímac, 2022*” del investigador (Diaz Aymara, 2022). Estas investigaciones brindan datos de características físicas y mecánicas de bloquetas de concreto elaboradas en la ciudad de Abancay.

Por otro lado, la prueba para cada hipótesis de la presente investigación se dio a través del software estadístico JAMOVİ y se empleó la prueba T de Student para muestras independientes, como ya se había mencionado anteriormente, el cual respalda datos que tienen una distribución normal, como también sirve para muestras pequeñas.

Bajo esta premisa, los siguientes apartados presentan el proceso y los resultados de la prueba de hipótesis.

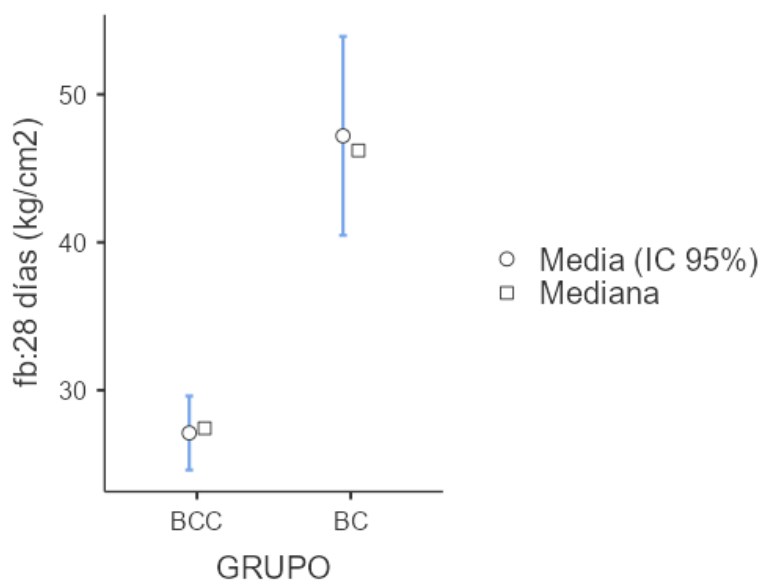
### 4.3.1. Hipótesis General

**Variable: Resistencia a la Compresión.** Para este caso se realizó la prueba T de Student para muestra independientes, dado que los datos presentan una distribución normal, por ello se utilizó un método paramétrico.

En la siguiente figura se distingue la gráfica descriptiva de la media y mediana para ambos grupos, respecto a la variable Resistencia a la Compresión.

**Figura 21**

*Gráfica descriptiva de la media y mediana de la hipótesis general (resistencia a la compresion)*



*Nota:* BCC. Bloques de Concreto Celular, BC. Bloquetas de concreto

Para la prueba de hipótesis se consideró un nivel de significancia de 5%, siendo  $\alpha = 0.05$ , dicho esto, en la Tabla 28 se detalla el planteamiento de la hipótesis nula y alterna, como también los datos numéricos de la prueba estadística.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la prueba de hipótesis para una confiabilidad del 95%.

**Tabla 28**

*Resultados de la hipótesis general (resistencia a la compresión)*

<b>Planteamiento de la hipótesis</b>						
<i>H<sub>0</sub></i> : [ $\mu_1 = \mu_2$ ]: La resistencia a la compresión de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico no varía significativamente de las bloquetas de concreto de la ciudad de Abancay.						
<i>H<sub>a</sub></i> : [ $\mu_1 \neq \mu_2$ ]: La resistencia a la compresión de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico varía significativamente de las bloquetas de concreto de la ciudad de Abancay.						
<b>Prueba de normalidad (Shapiro-Wik)</b>						
	W		p		P > 0.05	
	0.892		0.18		Los datos presentan una distribución normal	
<b>Prueba T de Student para muestras independientes</b>						
	Estadístico	Grados de Libertad	P	Tamaño del efecto	Intervalo de confianza al 95%	
					Inferior	Superior
Alabeo (mm)	4.21	8	0.001	-3.47	-6.06	-0.829
<b>Decisión</b>						
. Dado que $p < 0.05$ se rechaza la <i>H<sub>0</sub></i> y se acepta la <i>H<sub>a</sub></i> = La resistencia a la compresión de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico varía significativamente de las bloquetas de concreto de la ciudad de Abancay.						

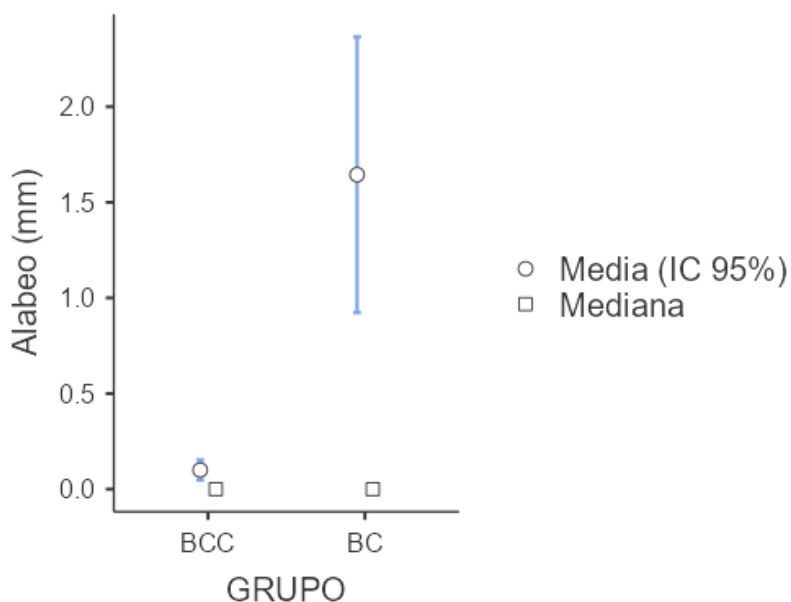
### 4.3.2. Hipótesis específica 01

**Variable Alabeo.** Para esta variable se realizó la prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes, dado que los datos no presentan una distribución normal por ello se utilizó un método no paramétrico.

En la siguiente figura se distingue la gráfica descriptiva de la media y mediana para ambos grupos, respecto a la variable Alabeo.

#### Figura 22

*Gráfica descriptiva de la media y mediana de la hipótesis específica 1 (alabeo)*



*Nota:* BCC. Bloques de Concreto Celular, BC. Bloquetas de concreto

Para la prueba de hipótesis se consideró un nivel de significancia de 5%, siendo  $\alpha = 0.05$ , dicho esto, en la Tabla 29 se detalla el planteamiento de la hipótesis nula y alterna, como también los datos numéricos de la prueba estadística.

En la siguiente tabla 29 se muestran los resultados de la prueba de hipótesis para una confiabilidad del 95%.

**Tabla 29**

*Resultados de la hipótesis específica 1 (alabeo)*

<b>Planteamiento de la hipótesis</b>					
<i>H<sub>0</sub></i> : [ $\mu_1 = \mu_2$ ]: El alabeo de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico no varía significativamente de las bloquetas de concreto de la ciudad de Abancay.					
<i>H<sub>a</sub></i> : [ $\mu_1 \neq \mu_2$ ]: El alabeo de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico varía significativamente de las bloquetas de concreto de la ciudad de Abancay.					
<b>Prueba de normalidad (Shapiro-Wik)</b>					
	W		p	P < 0.05	
	0.776		0.001	Los datos no presentan una distribución normal	
<b>Prueba U de Mann-Whitney</b>					
	Estadísticos	p	Diferencia de medias	Intervalo de confianza al 95%	
				Inferior	Superior
Alabeo (mm)	572	0.014	Correlación biseriada de rangos	-1.20	-4.67e-5
<b>Decisión</b>					
Dado que $p < 0.05$ se rechaza la <i>H<sub>0</sub></i> y se acepta la <i>H<sub>a</sub></i> = El alabeo de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico varía significativamente de las bloquetas de concreto de la ciudad de Abancay.					

#### **4.3.3. Hipótesis específica 02**

Para establecer la hipótesis general, se tomó en consideración la siguiente variable: Variación dimensional. Esta variable es representativa para el estudio, en las

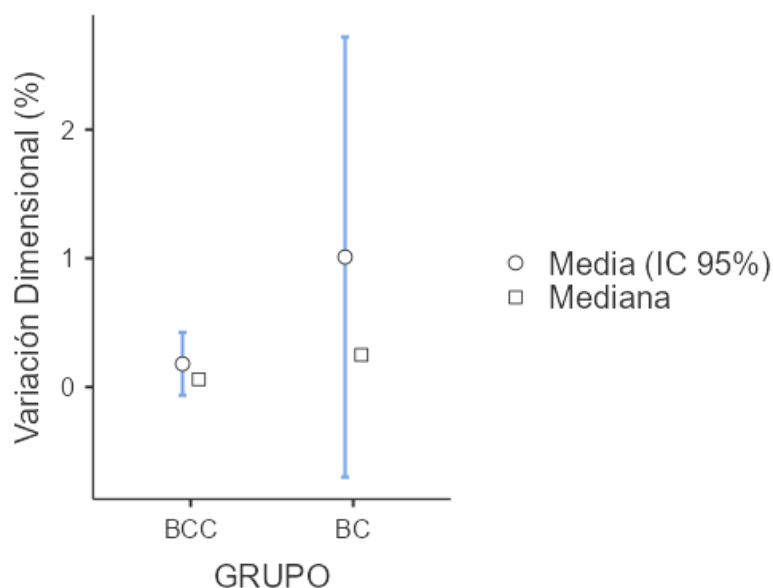
propiedades físicas. En ese sentido, en el apartado posterior se plasma los resultados de la prueba de hipótesis.

**Variable: Variación Dimensional.** Para este indicador se realizó la prueba T de Student para muestras independientes, un grupo compuesto por datos recolectados del bloque de concreto celular y el otro por bloquetas de concreto.

En la siguiente figura se distingue la gráfica descriptiva de la media y mediana para ambos grupos, respecto a la variable Variación Dimensional.

### Figura 23

*Gráfica descriptiva de la media y mediana de la hipótesis específica 2*



*Nota:* BCC. Bloques de Concreto Celular, BC. Bloquetas de concreto

Para la prueba de hipótesis se consideró un nivel de significancia de 5%, siendo  $\alpha = 0.05$ , dicho esto, en la Tabla 30 se detalla el planteamiento de la hipótesis nula y alterna, como también los datos numéricos de la prueba estadística.

A continuación, se muestra los resultados de la prueba estadística para una confiabilidad del 95%.

**Tabla 30**

*Resultados de la hipótesis específica 2 (variación dimensional)*

<b>Planteamiento de la hipótesis</b>							
<i>H<sub>0</sub></i> : [ $\mu_1 = \mu_2$ ]: La variación dimensional de bloques de concreto celular a base de detergente no varía significativamente de las bloquetas de concreto de la ciudad de Abancay.							
<i>H<sub>a</sub></i> : [ $\mu_1 \neq \mu_2$ ]: La variación dimensional de bloques de concreto celular a base de detergente varía significativamente de las bloquetas de concreto de la ciudad de Abancay.							
<b>Prueba de normalidad (Shapiro-Wik)</b>							
	W		p			P > 0.05	
	0.887		0.304			Los datos presentan una distribución normal	
<b>Prueba T para una muestra</b>							
	Estadísticos	Grados de Libertad	P	Diferencia de medias	EE de la diferencia	Intervalo de confianza al 95%	
						Inferior	Superior
Variación dimensional (CC)	-0.942	4.00	0.400	-0.83	0.881	-3.28	1.62
<b>Decisión</b>							
Dado que $p > 0.05$ se rechaza la <i>H<sub>a</sub></i> y se acepta la <i>H<sub>0</sub></i> = La variación dimensional de bloques de concreto celular a base de detergente no varía significativamente de las bloquetas de concreto de la ciudad de Abancay.							

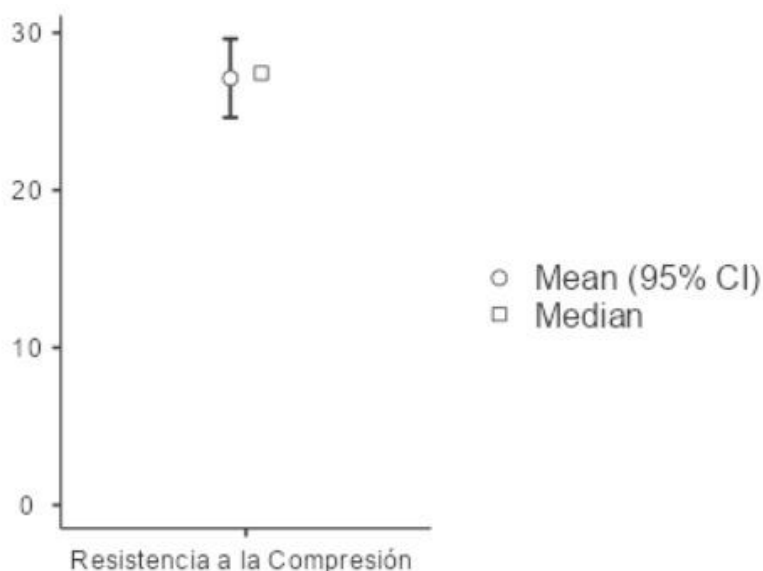
#### 4.3.4. Hipótesis específica 03

**Variable: Resistencia a la compresión.** Para este indicador se realizó la prueba T de Student para una muestra independiente, dado que que los datos recolectados presentan una distribución normal. Además, se consideró el valor de prueba la resistencia de diseño según la guía del ACI de concreto celular, este valor es de 22.99 kg/cm<sup>2</sup>.

En la siguiente figura se distingue la gráfica descriptiva de la media y mediana para ambos grupos, respecto a la variable Resistencia a la Compresión.

#### Figura 24

*Gráfica descriptiva de la media y mediana de la hipótesis específica 3*



*Nota:* BCC. Bloques de Concreto Celular, BC. Bloquetas de concreto

Para la prueba de hipótesis se consideró un nivel de significancia de 5%, siendo  $\alpha = 0.05$ , dicho esto, en la Tabla 31 se detalla el planteamiento de la hipótesis nula y alterna, como también los datos numéricos de la prueba estadística.



A continuación, se muestra los resultados de la prueba estadística para una confiabilidad del 95%.

**Tabla 31**

*Resultados de la hipótesis específica 3*

<b>Planteamiento de la hipótesis</b>							
<i>H<sub>0</sub></i> : [ $\mu_1 = \mu_2$ ]: La resistencia a compresión de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico no varía significativamente de la resistencia de diseño según la dosificación de mezcla de la guía ACI 523.3 R-14.							
<i>H<sub>a</sub></i> : [ $\mu_1 \neq \mu_2$ ]: La resistencia a compresión de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico varía significativamente de la resistencia de diseño según la dosificación de mezcla de la guía ACI 523.3 R-14.							
<b>Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk)</b>							
W		p		P > 0.05			
0.830		0.138		Los datos presentan una distribución normal			
<b>Prueba T para una muestra</b>							
	Estadísticos	Grados de Libertad	P	Diferencia de medias	EE de la diferencia	Intervalo de confianza al 95%	
						Inferior	Superior
Resistencia a compresión	3.23	4.00	0.032	4.12	0.881	0.576	7.66
<b>Decisión</b>							
Dado que $p < 0.05$ se rechaza la <i>H<sub>0</sub></i> y se acepta la <i>H<sub>a</sub></i> = La resistencia a compresión de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico varía significativamente de la resistencia de diseño según la dosificación de mezcla de la guía ACI 523.3 R-14.							

## CONCLUSIONES

- 1. Del objetivo general.** Se analizó el comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico para su aplicación en muros no portantes. Se encontró que las propiedades mecánicas y físicas de los bloques de concreto celular cumplen con los estándares establecidos por la normativa pertinente. Además, al comparar estos bloques con las bloquetas de concreto, comúnmente utilizadas en la ciudad de Abancay, se observó que el bloque de concreto celular presenta ventajas significativas en términos de alabeo y variación dimensional, lo que sugiere una mayor estabilidad y uniformidad en su aplicación estructural. Sin embargo, se identificó que las características mecánicas, especialmente en lo que respecta a la resistencia, son inferiores en el bloque de concreto celular en comparación con las bloquetas de concreto convencionales siempre en cuando sean con fines estructurales, pero como lo planteado es para muros no portantes estaría cumpliendo satisfactoriamente. A pesar de esta diferencia, la mejora en la estabilidad dimensional del bloque de concreto celular ofrece una alternativa atractiva para aplicaciones donde se requiere una mayor precisión y uniformidad en la construcción.
- 2. Del objetivo específico 1.** Tras determinar el comportamiento de las propiedades físicas de bloques de concreto celular a base de detergente aniónico para muros no portantes, se concluye que los bloques desarrollados cumplen con los estándares de variación dimensional y alabeo establecidos por la norma E.070 albañilería. Estos resultados respaldan la idoneidad de los bloques de concreto celular a base de detergente aniónico como una alternativa viable y eficaz para la construcción de muros no portantes. Además

de su viabilidad técnica, la adopción de esta tecnología puede conducir a un impacto positivo en términos de sostenibilidad y eficiencia en la industria de la construcción.

3. **Del objetivo específico 2.** Se determinó el comportamiento de las propiedades mecánicas de los bloques de concreto celular a base de detergente aniónico para muros no portantes, donde se ha demostrado que dichos bloques cumplen de manera satisfactoria con los requisitos de resistencia a la compresión establecidos en la norma E.070 albañilería, para muros no portantes. Este resultado confirma la viabilidad y la idoneidad de los bloques de concreto celular a base de detergente aniónico como una opción técnica adecuada y segura para la construcción de muros no portantes. Además, esta innovación podría tener un impacto significativo en la eficiencia y la sostenibilidad de la industria de la construcción al ofrecer una alternativa prometedora.
  
4. **Del objetivo específico 3.** Se estableció una dosificación de mezcla óptima para un bloque de concreto celular a base de detergente aniónico de una densidad de  $800 \text{ kg/m}^3$ , tras esto se determinó que la dosificación de mezclas de la guía del ACI 523 3R-14 puede utilizarse para el diseño de concreto celular a base de detergente aniónico. Este logro demuestra la eficacia y la aplicabilidad práctica de implementar los lineamientos de la guía ACI 523 3R-14 para la formulación de concretos celulares específicos, lo que resulta en bloques con propiedades mecánicas y físicas óptimas. Este avance representa un hito importante en la búsqueda de soluciones sostenibles y eficientes en la industria de la construcción, y destaca la versatilidad de la guía ACI 523 3R-14 en la creación de concretos celulares especializados, como aquellos basados en detergentes aniónicos.

## RECOMENDACIONES

1. En relación con el objetivo general, se sugiere llevar a cabo una evaluación exhaustiva de las propiedades físicas y mecánicas mediante la realización de ensayos con diversas dosificaciones. Esto implica experimentar con diferentes cantidades de cemento, arena, agua y espuma con el propósito de lograr la fabricación de bloques más económicos y eficientes. Para alcanzar el objetivo de obtener un bloque de concreto celular óptimo, se aconseja investigar y comparar varias fórmulas de mezcla. Esto permitirá identificar la combinación de materiales que resulte en un bloque de alta calidad a un costo reducido.
2. En relación con el objetivo específico 1. Se sugiere realizar ensayos para evaluar las propiedades físicas en unidades de concreto celular con dimensiones superiores. Dado que este material se caracteriza por su ligereza, existe la posibilidad de fabricar bloques con dimensiones considerablemente mayores que las convencionales. La ampliación de las dimensiones permitirá una mayor versatilidad en aplicaciones de construcción y podría ser especialmente útil en proyectos que requieran reducir tiempos de ejecución. Es recomendable investigar la relación entre las dimensiones de los bloques de concreto celular y su comportamiento como aislante térmico y acústico. Al considerar unidades más grandes, se puede obtener información valiosa sobre su capacidad para proporcionar un mejor aislamiento en aplicaciones arquitectónicas, lo que puede contribuir a la eficiencia energética de edificaciones.
3. En relación con el objetivo específico 2. Se sugiere llevar a cabo ensayos de resistencia a situaciones de carga y esfuerzo para evaluar la idoneidad de los bloques de concreto

celular en aplicaciones estructurales y en zonas sísmicas. Esto proporcionaría una comprensión más completa de su desempeño en condiciones reales de construcción. Y para mejorar aún más la eficiencia de los bloques de concreto celular, se aconseja explorar diferentes aditivos que puedan potenciar sus propiedades. Esto podría incluir la investigación de nuevos materiales espumantes, agentes de refuerzo o aditivos que mejoren la resistencia al fuego, todo con el fin de diversificar las aplicaciones de estos bloques.

4. En relación con el tercer objetivo específico, se recomienda seguir las directrices establecidas en la guía ACI 523 3R-14 para lograr una dosificación que cumpla con los estándares de la normativa E070 de albañilería. Además, se sugiere explorar diferentes densidades para su aplicación en muros estructurales. Por otro lado, se aconseja llevar a cabo investigaciones para identificar posibles aplicaciones en el contexto de la construcción sostenible y la reducción de la huella de carbono, ya que el concreto celular podría desempeñar un papel importante en la mejora de la eficiencia energética y la adopción de materiales más respetuosos con el medio ambiente.

## BIBLIOGRAFÍA

- ABC Modular. (s. f.). Qué es una construcción modular: Qué es y cuáles son sus ventajas. *ABC Modular*. Recuperado 3 de octubre de 2023, de <https://abcmodular.com/construccion-modular>
- ABC Modular. (2023, octubre 3). Qué es una construcción modular: Qué es y cuáles son sus ventajas. *ABC Modular*. <https://abcmodular.com/construccion-modular>
- ACI, 523 3R-14. (2014). *ACI 523 3R-14*.
- Arapa Cruz, J. E. (2016). *Análisis y diseño comparativo de concreto celular usando espuma de poliestileno y agente espumante*. UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ.
- Arbito Contreras, G. V. (2016). *Concreto celular para uso estructural*. UNIVERSIDAD DE CUENCA.
- ASTM C494. (2012). *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*.
- ASTM C796. (2012). *Standard Test Method for Foaming Agents for Use in Producing Cellular Concrete Using Preformed Foam*.
- ASTMS C140-08. (2009). *ASTMS C 140-08. Métodos de Ensayo Estándar para Muestreo y Ensayo de Unidades de Albañilería de Hormigón y Unidades Relacionadas*. ASTMS C 140-08.
- BLOQUES PERÚ. (s. f.). BLOQUES PERÚ. *Bloques Perú*. Recuperado 29 de octubre de 2023, de <https://bloques.pe/bloques-de-hormigon-celular-multimedia/>
- Cabrera Huamanñahui, B. M., & Ramirez Aroni, C. (2019). *EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA, PERMEABILIDAD Y ABSORCIÓN CAPILAR DE BLOQUES DE CONCRETO ELABORADOS CON ADICIÓN DE EMULSIÓN DE PARAFINA EN*

*LA CIUDAD DE ABANCAY- 2018.* UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES.

De Olivera Silva, C. A. (2015). *ESTUDO DE DOSAGEM E AVALIAÇÃO DE CONCRETO CELULAR COM FINS ESTRUTURAIS* [UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS]. *estu.*

*Determinación de la resistencia a la compresión diagonal y de la rigidez a cortante de muretes de mampostería de barro y de concreto.* (s. f.).

Diaz Aymara, A. (2022). *Evaluación de las propiedades Físicas y Mecánicas de las bloquetas de concreto incorporando vidrio molido en Abancay—Apurímac—2022.* Universidad Cesar Vallejo.

ECOFOAM. (s. f.). ECOFOAM-AIR®—Agente Espumante para Concreto Celular. *ECOPORE.* Recuperado 29 de octubre de 2023, de [https://www.ecopore.com.br/produtos/ecofoam\\_aditivo-espumante-para-concreto-celular/](https://www.ecopore.com.br/produtos/ecofoam_aditivo-espumante-para-concreto-celular/)

Flores Florez, J. P., & Ochoa Teran, R. J. (2019). *UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL* [108]. <https://docplayer.es/217650097-Universidad-andina-del-cusco-facultad-de-ingenieria-y-arquitectura-escuela-profesional-de-ingenieria-civil-tesis.html>

Gallegos, H., & Casabonne, C. (2005). *Albañilería estructural* (Tercera edición).

*Guide to Lightweight Cellular Concrete for Geotechnical Applications.* (2021).

Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta edición). McGraw-Hill.

- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (Primera edición). MCGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C. V.
- Huaman Quispe, C. A., & Villanueva Ore, D. D. (2020). *Análisis de las propiedades mecánicas de un bloque de albañilería para muros portantes con concreto celular en Lima 2020* [Tesis de Pregrado]. Universidad Cesar Vallejo.
- Izquierdo Cardenas, M. I., & Ortega Rivera, O. E. (2017). *Desarrollo y aplicación del concreto celular a base de aditivo espumante para la elaboración de bloques macizos destinados a tabiquerías no portantes en edificaciones*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Lazo Arraya, J. (2017). *Diseño de concreto celular para diferentes densidades, analisis de sus propiedades y sus aplicaciones*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Narayanan, N., & Ramamurthy, K. (2000). Structure and properties of aerated concrete: A review. *Cement and Concrete Composites*, 22(5), 321-329.  
[https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00016-0](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00016-0)
- Nel Quesada, L. (2010). *Metodología de la Investigación*.
- Norma E.070 Albañilería*. (2019). Ministerio de Viviendas, Construcción y Saneamiento.
- NTP 399.600. (2017). *NTP 399.600. UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Bloque de concreto para uso no estructural. Requisitos*. INACAL.
- NTP 399.604. (2002). *NTP 399.604. UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto*. INDECOPI.
- NTP 399.605. (2013). *NTP 399.605 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería*.



- NTP 399.613. (2005). *NTP 399.613. Unidades de Albañilería: Método de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en la albañilería*. INDECOPI.
- NTP 399.621. (2004). *NTP 399.621. UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería*. INDECOPI.
- NTP 400.012. (2001). *NTP 400.012. Agregados: Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*. INDECOPI.
- Ñaupas Paitán, H., Mejía Mejía, E., Novoa Ramírez, E., & Villagomez Páucar, A. (2014). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis* (Cuarta edición). Ediciones de la U.
- Pérez Buenfil, D. S. (2019). *Análisis de las propiedades mecánicas del concreto celular en autoclave*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN.
- Ricalde Jiménez, J. L. (2017). *Flexión en muros confinados de concreto celular de autoclave: Efecto de la craja axial*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN.
- SILVA, O. J. (2022, junio 8). PROPIEDADES Y APLICACIONES DEL CONCRETO CELULAR. 360 EN CONCRETO.  
<https://360enconcreto.com/blog/detalle/propiedades-y-aplicaciones-del-concreto-celular-1/>
- Sivestre Miraya, I., & Huamán Nahula, C. (2019). *Pasos para elaborar la investigación y la redacción de la tesis universitaria* (Primera edición). Editorial San Marcos E.I.R.L.
- Torres, L. (2021). *Las 10 reglas principales para construir un edificio sostenible*.  
[revistas.eleconomista.es.](https://revistas.eleconomista.es/)  
<https://revistas.eleconomista.es/inmobiliaria/2021/abril/las-10-reglas-principales-para-construir-un-edificio-sostenible-DY7133335>

Vásquez Ramírez, A. A., Guanuchi Orellana, L. M., Cahuana Tapia, R., Vera Teves, R., & Holgado Tisoc, J. (2023). *Métodos de investigación científica* (1.ª ed.). Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú.

<https://doi.org/10.35622/inudi.b.094>

Yoc Chamalé, J. A. (2018). *Fabricación y evaluación experimental de unidades de mampostería de concreto celular de espuma preformada*. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Zamora Terrones, L. P. (2015). *Diseño de un bloque de concreto celular y sus aplicaciones como unidad de albañilería no estructural*. Universidad Nacional de Cajamarca.

## ANEXOS

**Anexo 1** Matriz de consistencia.

**Anexo 2** *Validación de instrumentos por juicio de expertos*

**Anexo 3** *Tablas de evaluación de expertos*

**Anexo 4** *Ficha de recolección datos para determinar la variación dimensional*

**Anexo 5** *Ficha de recolección datos para determinar el alabeo*

**Anexo 6** *Ficha de recolección datos para determinar la absorción*

**Anexo 7** *Ficha de recolección datos para determinar la resistencia a la compresión*

**Anexo 8** *Ficha de recolección datos para determinar la resistencia a la compresión axial*

**Anexo 9** *Ficha de recolección datos para determinar la resistencia a la compresión diagonal*

**Anexo 10** *Ficha de recolección datos para determinar la dosificación de mezcla*

**Anexo 11** *Panel fotográfico*

**Anexo 12** *Resultados de laboratorio*

**Anexo 13** *Certificados de calibración de equipos*

**Anexo 14** *dosificación de mezcla*

**Anexo 15** *Ficha técnica del cemento*

*Los anexos, panel fotográfico y otros documentos se encuentran resguardados en la oficina de repositorio en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes*

