

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE  
CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON  
LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%,  
CAJAMARCA 2023”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Bryan Caleb Paredes Lozano

Asesor:

Mg. Ing. Henry Villanueva Bazán  
<https://orcid.org/0000-0001-8814-6079>

Cajamarca - Perú

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1	<b>ERLYN GIORDANY SALAZAR HUAMAN</b>	<b>71106769</b>
Presidente(a)	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	<b>TULIO EDGAR GUILLEN SHEEN</b>	<b>26676774</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	<b>MARIO RENE CARRANZA LIZA</b>	<b>26602358</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## INFORME DE SIMILITUD

LOZANO BRYAN CALEB

INFORME DE ORIGINALIDAD



ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

2%

★ [www.slideshare.net](http://www.slideshare.net)

Fuente de Internet

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

## **DEDICATORIA**

La presente tesis está dedicada especialmente a mi madre **Jesús Victoria Lozano Mendoza** por enseñarme mediante actos el significado del esfuerzo y el compromiso, por sus palabras de motivación a nunca rendirme y culminar esta etapa universitaria.

A mi hermana **Itamar Paredes Lozano** que siempre ha estado junto a mi brindándome su apoyo.

A todas aquellas personas que me apoyaron para culminar con este logro.

## **AGREDECIMIENTO**

A mi asesor el Ing. Henry Villanueva  
Bazán, que me orientó con todos sus  
conocimientos a realizar este trabajo de  
investigación de manera técnica y profesional.

A los docentes de la Facultad de  
Ingeniería de la carrera profesional de  
Ingeniería Civil de la Universidad Privada del  
Norte, por el deseo de transmitir sus  
conocimientos profesionales; como también  
por formar parte importante en mi formación  
profesional.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>JURADO EVALUADOR.....</b>	<b>2</b>
<b>INFORME DE SIMILITUD .....</b>	<b>3</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>4</b>
<b>AGREDECIMIENTO.....</b>	<b>5</b>
<b>TABLA DE CONTENIDO .....</b>	<b>6</b>
<b>INDICE DE TABLAS .....</b>	<b>8</b>
<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>10</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>16</b>
<b>1.1. Realidad problemática .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2. Formulación del problema .....</b>	<b>17</b>
<b>1.3. Objetivos .....</b>	<b>17</b>
<b>a) Objetivo General.....</b>	<b>17</b>
<b>b) Objetivos Específicos .....</b>	<b>17</b>
<b>1.4. Hipótesis.....</b>	<b>18</b>
<b>1.5. Antecedentes Teóricos .....</b>	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....</b>	<b>38</b>
<b>2.1. Tipo de investigación .....</b>	<b>38</b>
<b>2.2. Población y muestra .....</b>	<b>38</b>
<b>2.2.1. Población .....</b>	<b>38</b>
<b>2.2.2. Muestra.....</b>	<b>38</b>
<b>2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos .....</b>	<b>39</b>

a) Técnicas.....	39
b) Instrumentos.....	39
2.4. Flujograma de la investigación.....	50
2.5. Procedimiento.....	50
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS.....</b>	<b>90</b>
3.1.1. Granulometría .....	90
3.1.2. Contenido de humedad .....	90
3.1.3. Peso unitario de agregado fino .....	91
3.1.4. Peso específico de agregado fino .....	91
3.1.5. Límites de plasticidad.....	91
3.2. Diseño de mezcla de concreto celular.....	91
3.3. Unidades de tabiquería.....	94
3.3.1. Variación dimensional.....	94
3.3.2. Alabeo .....	98
3.3.3. Absorción.....	102
3.3.4. Succión.....	106
3.3.5. Resistencia a la compresión .....	110
3.4. Pesos y Pesos Específicos de Unidades de tabiquería .....	114
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>116</b>
4.1. Discusión .....	116
2.5 Matriz de operacionalización de Variables .....	121
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>122</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>124</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Composición y propiedades del concreto celular	29
<b>Tabla 2</b> Resistencia a la compresión y módulo de elasticidad del concreto celular	30
<b>Tabla 3</b> Número total de muestras por cada ensayo	39
<b>Tabla 4</b> Variación dimensional para unidades de tabiquería con 0% de adición de acero	94
<b>Tabla 5</b> Variación dimensional para unidades de tabiquería con 1% de adición de acero	95
<b>Tabla 6</b> Variación dimensional para unidades de tabiquería con 3% de adición de acero	96
<b>Tabla 7</b> Variación dimensional para unidades de tabiquería con 5% de adición de acero	97
<b>Tabla 8</b> Alabeo para unidades de tabiquería con 0% de adición de acero	98
<b>Tabla 9</b> Alabeo para unidades de tabiquería con 1% de adición de acero	99
<b>Tabla 10</b> Alabeo para unidades de tabiquería con 3% de adición de acero	100
<b>Tabla 11</b> Alabeo para unidades de tabiquería con 5% de adición de acero	101
<b>Tabla 12</b> Absorción para unidades de tabiquería con 0% de adición de acero	102
<b>Tabla 13</b> Absorción para unidades de tabiquería con 1% de adición de acero	103
<b>Tabla 14</b> Absorción para unidades de tabiquería con 3% de adición de acero	104
<b>Tabla 15</b> Absorción para unidades de tabiquería con 5% de adición de acero.....	105
<b>Tabla 16</b> Succión para unidades de tabiquería con 0% de adición de acero	106
<b>Tabla 17</b> Succión para unidades de tabiquería con 1% de adición de acero	107
<b>Tabla 18</b> Succión para unidades de tabiquería con 3% de adición de acero	108
<b>Tabla 19</b> Succión para unidades de tabiquería con 5% de adición de acero	109
<b>Tabla 20</b> Resistencia a la compresión para unidades de tabiquería con 0% de adición de hacer	110
<b>Tabla 21</b> Resistencia a la compresión para unidades de tabiquería con 1% de adición de acero .....	111
<b>Tabla 22</b> Resistencia a la compresión para unidades de tabiquería con 3% de adición de acero .....	112
<b>Tabla 23</b> Resistencia a la compresión para unidades de tabiquería con 5% de adición de acero .....	113

**Tabla 24** Disminución de peso al utilizar unidad de tabiquería de concreto celular 114

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Protocolo de laboratorio para obtención de datos de contenido de humedad .....	40
Figura 2 Protocolo de laboratorio para obtención de datos de análisis granulométrico.....	41
Figura 3 Protocolo de laboratorio para obtención de datos de peso unitario de agregado fino .....	42
Figura 4 Protocolo de laboratorio para obtención de datos de peso específico de agregado fino.....	43
Figura 5 Protocolo de laboratorio para obtención de datos de límites de plasticidad .....	44
Figura 6 Protocolo de laboratorio para obtención de datos de variación dimensional de unidades de tabiquería	45
Figura 7 Protocolo de laboratorio para obtención de datos de alabeo de unidades de tabiquería .....	46
Figura 8 Protocolo de laboratorio para obtención de datos de absorción de unidades de tabiquería .....	47
Figura 9 Protocolo de laboratorio para obtención de datos de succión de unidades de tabiquería .....	48
Figura 10 Protocolo de laboratorio para obtención de datos de resistencia a la compresión de unidades de tabiquería	49
Figura 11 Flujograma de la investigación	50
Figura 12 Ubicación de ladrillera donde se extrajo el agregado fino y donde se elaboraron las unidades de tabiquería de concreto celular	51
Figura 13 Determinación de peso de muestra para el ensayo de granulometría de agregado fino seco.....	53
Figura 14 Juego de tamices para el ensayo de granulometría de agregado fino seco	53
Figura 15 Tamizaje de agregado fino en juego de tamices	54
Figura 16 Ensayo de granulometría de agregado fino en seco	54
Figura 17 Muestra para determinar contenido de humedad	56
Figura 18 Incorporación de muestra en estufa	56
Figura 19 Muestra saturada	58

Figura 20 Secado de muestra saturada	58
Figura 21 Extracción de burbujas de aire mediante agitación.....	59
Figura 22 Determinación de masa de fiola de 500ml más agua	59
Figura 23 Determinación de masa de fiola de 500ml más agua más muestra.....	60
Figura 24 Enrasado de agregado fino en cilindro	61
Figura 25 Determinación de masa de agregado fino enrasado en cilindro	62
Figura 26 Muestra en cápsula de porcelana	63
Figura 27 Masa homogénea de muestra .....	64
Figura 28 Muestra en copa casa grande	64
Figura 29 Muestra ranurada	65
Figura 30 Extracción de muestra de casa grande para determinar el contenido de humedad .....	65
Figura 31 Adición de suelo seco para disminuir el contenido de humedad .....	66
Figura 32 Muestra enrollada	67
Figura 33 Formación de cilindros de 3mm.....	67
Figura 34 Ensayo de variación dimensional de unidades de tabiquería	68
Figura 35 Variación dimensional del ancho de la unidad de tabiquería	69
Figura 36 Variación dimensional del largo de la unidad de tabiquería	69
Figura 37 Ensayo de alabeo de unidades de tabiquería	70
Figura 38 Medición de la concavidad o convexidad de unidad de tabiquería.....	71
Figura 39 Secado de unidades de tabiquería para ensayos de absorción y succión .....	72
Figura 40 Determinación de peso de unidad de tabiquería para ensayo de absorción .....	72
Figura 41 Unidades de tabiquería saturadas .....	73
Figura 42 Secado de agua superficial con franela seca .....	73
Figura 43 Determinación de masa de unidades de tabiquería saturadas .....	74
Figura 44 Medición de altura de agua para ensayo de succión .....	75
Figura 45 Ensayo de succión de unidad de tabiquería.....	75
Figura 46 Determinación de masa de unidad mojada .....	76
Figura 47 Unidades de tabiquería ensayadas a succión.....	76

Figura 48 Aplicación de mezcla a base de yeso para uniformizar la carga que recibirá la unidad de tabiquería en el ensayo a compresión ..... 77

Figura 49 Rotura de unidades de tabiquería – Resistencia a la compresión..... 78

Figura 50 Ubicación de factoría donde se obtuvo el acero residual..... 79

Figura 51 Tamizaje de acero residual..... 79

Figura 52 Acero residual tamizado..... 80

Figura 53 Dosificaciones de acero residual para adicionar a concreto celular..... 80

Figura 54 Materiales y equipos que se utilizó para generar espuma ..... 82

Figura 55 80 ml de jabón líquido para la generación de espuma ..... 82

Figura 56 Generación de espuma ..... 82

Figura 57 Espuma generada ..... 83

Figura 58 Dosificación de espuma y de cemento ..... 84

Figura 59 Dosificación de agregado fino ..... 85

Figura 60 Mezcla de concreto celular..... 85

Figura 61 Mezcla lista para elaboración de unidades de tabiquería..... 86

Figura 62 Incorporación de acero residual ..... 86

Figura 63 Moldeado de unidades de tabiquería..... 87

Figura 64 Unidades de tabiquería listas para secar..... 87

Figura 65 Unidades de tabiquería en estado fresco ..... 88

Figura 66 Curado de unidades de tabiquería ..... 88

Figura 67 Extracción de unidades de tabiquería listos para determinar sus propiedades físico mecánicas ..... 89

Figura 68 Curva granulométrica de agregado fino..... 90

Figura 69 Variación Dimensional De Unidades Para Muros De Tabiquería Sin Adición De Acero Residual ..... 95

Figura 70 Variación Dimensional De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 1% De Adición De Acero Residual..... 96

Figura 71 Variación Dimensional De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 3% De Adición De Acero Residual..... 97

Figura 72 Variación Dimensional De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 5% De Adición De Acero Residual..... 98

Figura 73 Alabeo De Unidades Para Muros De Tabiquería Sin Adición De Acero Residual .....	99
Figura 74 Alabeo De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 1% De Adición De Acero Residual .....	100
Figura 75 Alabeo De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 3% De Adición De Acero Residual .....	101
Figura 76 Alabeo De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 5% De Adición De Acero Residual .....	102
Figura 77 Absorción De Unidades Para Muros De Tabiquería Sin Adición De Acero Residual .....	103
Figura 78 Absorción De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 1% De Adición De Acero Residual .....	104
Figura 79 Absorción De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 3% De Adición De Acero Residual .....	105
Figura 80 Absorción De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 5% De Adición De Acero Residual .....	106
Figura 81 Succión De Unidades Para Muros De Tabiquería Sin Adición De Acero Residual .....	107
Figura 82 Succión De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 1% De Adición De Acero Residual .....	108
Figura 83 Succión De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 3% De Adición De Acero Residual .....	108
Figura 84 Succión De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 5% De Adición De Acero Residual .....	109
Figura 85 Resistencia a la Compresión De Unidades Para Muros De Tabiquería Sin Adición De Acero Residual.....	110
Figura 86 Resistencia a la Compresión De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 1% De Adición De Acero Residual.....	111
Figura 87 Resistencia a la Compresión De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 3% De Adición De Acero Residual.....	112

Figura 88 Resistencia a la Compresión De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 5% De Adición De Acero Residual..... 113

## RESUMEN

La presente investigación, trató sobre el diseño y elaboración de unidades para muros de tabiquería elaborados con concreto celular con la adición de acero residual en los porcentajes de 1%, 3% y 5%; y que también cumplan con los requerimientos de las propiedades físico – mecánicas establecidos en la normativa peruana correspondiente, realizándose para ello ensayos de laboratorio del agregado fino para así poder determinar la dosificación óptima de diseño. Se elaboraron 68 especímenes, de los cuales se desprende en que 17 especímenes serán la muestra patrón, y otros 17 para cada adición de acero residual de 1%, 3% y 5%, en los cuales se mantuvo la dosificación de espuma con una densidad de 70 kg/m<sup>3</sup> generada a partir de jabón líquido batido con la ayuda de un taladro y un revolvedor y adicionado acero residual que pasó por el tamiz N°40 en porcentajes de 1%, 3% y 5%. Los resultados experimentales de las unidades de concreto celular para muros de tabiquería dedujeron que los ladrillos de concreto celular resultan ser apropiados para la elaboración de muros de tabiquería y que además son menos pesados que los ladrillos artesanales de concreto.

**Palabras clave:** Concreto celular, muros de tabiquería, adición de acero residual

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Una de las opciones más eficientes e innovadoras en la actualidad para la construcción de edificaciones para reducir el peso de la estructura, es la utilización del concreto celular, ya que los materiales empleados en la elaboración del concreto, están en constante evolución, buscando alternativas innovadoras y aprovechables en la elaboración de la mezcla del concreto, que ofrezca características muy singulares a la hora de su ejecución como ligereza, trabajabilidad y/o propiedades térmicas; con el fin de obtener un buen desenvolvimiento de la estructura ante agentes externos; entre estas alternativas eficientes e innovadoras tenemos al concreto celular adicionado por acero residual, así aprovechando el uso de estos residuos sólidos o desperdicios de acero como material en la producción del concreto celular.

Por otro lado, tenemos que en el interior de las edificaciones construidas con Concreto celular, se mantiene un microclima agradable. Gracias a su característica de aislante térmico se evitan pérdidas de calor en invierno, mientras en verano el ambiente permanece fresco. Además, las paredes de Concreto Celular no son susceptibles a la acción de la humedad exterior y dejan que los vapores, generados dentro de la edificación se ventilen, contribuyendo a un balance de la humedad relativa ambiente. En comparación con el concreto tradicional, la estructura aireada del Concreto Celular constituye una ventaja, ya que lo convierte en un aislante por excelencia, que a diferencia de las fibras minerales o teknopor no se malogra con el tiempo. (ZAMORA, 2015)

El uso de hormigón celular viene destacándose en la edificación, principalmente en viviendas populares de bajo costo, para suplir el déficit habitacional, ya que, con la aplicación del sistema de muros de hormigón celular, se garantiza un mejor confort ambiental en términos de propiedades térmicas y acústicas, además de reducir el tiempo de construcción y generar ahorros en comparación con los sistemas convencionales. (DE OLIVEIRA, 2015)

La elección de utilizar el concreto celular es debido principalmente a un enfoque neto en disminuir el peso específico del insumo que se coloca en los tabiques, garantizando una mínima resistencia requerida; además de contar con la facilidad de conseguir el aditivo necesario para su elaboración y eligiendo un análisis del material en forma de bloques

prefabricados debido a que el proceso de curado es estricto y lo que se busca es la mayor efectividad al momento de la ejecución de obra. (IZQUIERDO & ORTEGA , 2017)

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuál es el análisis de las propiedades físico mecánicas del concreto celular para muros de tabiquería con la adición de acero residual en 1%, 3% y 5%, en la ciudad de Cajamarca?

## **1.3. Objetivos**

### **a) Objetivo General**

Analizar las propiedades físico mecánicas de concreto celular para muros de tabiquería con la adición de acero residual en 1%, 3% y 5%, en la ciudad de Cajamarca

### **b) Objetivos Específicos**

- ✓ Determinar las propiedades físico mecánicas de variabilidad dimensional, alabeo, absorción, succión y resistencia a la compresión de unidades para muros de tabiquería de concreto celular para muros de tabiquería con la adición de acero residual en 1%, 3% y 5%, mediante ensayos de laboratorio.
- ✓ Determinar las propiedades físico mecánicas de variabilidad dimensional, alabeo, absorción, succión y resistencia a la compresión de unidades para muros de tabiquería de concreto celular para muros de tabiquería sin adición de acero residual (muestra patrón), mediante ensayos de laboratorio.
- ✓ Determinar si las propiedades físico mecánicas de concreto celular para muros de tabiquería cumplen con lo requerido por la norma técnica E.070 Albañilería
- ✓ Determinar la disminución de peso de la unidad de tabiquería de concreto celular

## 1.4. Hipótesis

Las unidades de concreto celular con y sin adición de acero residual cumplen con las propiedades físico mecánicas que establece la Norma E.070 para ser utilizadas en muros de tabiquería

## 1.5. Antecedentes Teóricos

En el transcurso del tiempo, se han ido desarrollando investigaciones acerca del concreto celular para muros de tabiquería y la utilización de acero residual como adición; las cuales se muestran a continuación:

Los autores BARCIA & LINDAO (2020), en su tesis “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA APLICACIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO CELULAR A EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL” desarrollada en Guayaquil – Ecuador, donde realiza un estudio de factibilidad del concreto celular aireado para la elaboración de bloques de tabiquería funcionales, que propone el diseño geométrico de un bloque de concreto celular que tenga una densidad de 500 kg/m<sup>3</sup> de igual manera elaborar un presupuesto de mano de obra requerida para colocar bloques de concreto celular con acabados a fin de verificar la factibilidad económica mediante la comparación de costos entre bloque de concreto celular y bloque tradicional; concluyendo que, de los ensayos realizados corrobora que las propiedades se encuentran acorde a los establecido por la normativa ACI, obteniendo densidad de 530 kg/m<sup>3</sup>, absorción de 47.13%, porcentaje de vacíos de 68%, resistencia a la compresión de 26.41 kg/cm<sup>2</sup>, resistencia a la tracción 3.98 kg/cm<sup>2</sup>, módulo de rotura de 1.53 kg/cm<sup>2</sup>, módulo de elasticidad de 7.85 kg/cm<sup>2</sup>, porcentaje de contracción lineal por secado de 0.836%, resistencia al fuego de A1, aislamiento acústico de 0.11 y conductividad térmica de 0.17 W/m – K; por otro lado concluyó que la construcción de una pared simple por m<sup>2</sup> de pared de bloque de concreto celular resulta un 11% más costoso que el bloque convencional, pero no deja de ser competitivo ya que si analizamos la construcción de una pared con acabados, el uso de concreto celular se vuelve más rentable debido a que la diferencia del bloque tradicional posee un acabado que le permite prescindir del enlucido.

El autor DE OLIVEIRA (2015), en la tesis “ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE HORMIGÓN CELULAR CON FINES ESTRUCTURAL” desarrollada

en Maceió – Brasil, en la cual tiene como objetivo analizar la producción y propiedades de diferentes hormigones celulares con y sin áridos gruesos, con fines estructurales en las construcción de muros utilizando diferentes aditivos y métodos de incorporación de burbujas de aire, así mismo identificar las peculiaridades en el proceso de la producción del hormigón celular elaborado con dos tipos de aditivos que generan burbujas de aire; y concluyó que, el hormigón con dosificación de hormigón celular con espuma preformada con una relación aditivo/agua de 1/60 presentó la mejor resistencia a la compresión alcanzando 66.28 kg/cm<sup>2</sup> y 96.87 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 y 56 días respectivamente pudiendo ser utilizados para fines estructurales en muros de edificios de hasta 2 plantas, ubicados en una región enmarcada en la zona de agresividad 1. Por otro lado el hormigón que se le añadió 0.078% de aditivo con relación a la masa del cemento no puede ser utilizado para fines estructurales en muros de edificaciones por presentar una resistencia a la compresión de 43.85 kg/cm<sup>2</sup> y 49.96 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 y 56 días respectivamente; mientras que el hormigón que se le añadió 0.017% de aditivo con relación a la masa del cemento presentó resistencias a la compresión de 197.82 kg/cm<sup>2</sup> y 202.92 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 y 56 días respectivamente, pudiendo utilizarse con fines estructurales en muros de edificios de mas de 5 plantas.

El autor YOC (2018), en su tesis “FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO CELULAR DE ESPUMA PREFORMADA”, desarrollada en Guatemala, en la cual caracteriza los materiales constituyentes, aglomerantes, agregados y espuma preformada para la realización de mezclas de concreto celular; para la fabricación de unidades de mampostería y al mismo tiempo evaluar las características de la resistencia a la compresión y porcentaje de absorción en unidades de mampostería fabricadas con concreto celular. Donde deduce que, para la obtención de un concreto celular con una densidad de 1240 a 1370 kg/cm<sup>2</sup> y una resistencia máxima en cilindros normalizados de 60.16 kg/cm<sup>2</sup> a los 56 días de edad estando en un 17.85% debajo del requerimiento de la normativa NTG 41054, es necesario contar con arena pómez, pedrín basáltico con una medida nominal de 9.5 mm y espuma preformada; de igual manera el porcentaje de absorción se encontró debajo del límite establecido de un 22% según la normativa ASTM C 1386-98.

Los autores MUÑOZ, GARCÍA, & SALAZAR (2021), en el artículo “USO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO CELULAR: UNA

REVISIÓN”, desarrollada en Chiclayo - Perú, en su investigación uno de los residuos sólidos industriales que incorporan son los residuos de los subproductos de la industria de hierro como son los relaves y escoria de alto horno granulada como componentes de concreto celular para mejorar su resistencia; contribuyendo estos en la mejora de las propiedades mecánicas del concreto celular en un porcentaje óptimo aproximado del 25%.

El autor ARAPA (2016), en su tesis “ANÁLISIS Y DISEÑO COMPARATIVO DE CONCRETO CELULAR USANDO ESPUMA DE POLIESTIRENO Y AGENTE ESPUMANTE”, desarrollada en Juliaca – Perú, donde se plantea como objetivo determinar y comparar las propiedades físico – mecánicas del concreto celular usando espuma de poliestireno, agente espumante y usando ambas; y concluyó que, las propiedades de un concreto celular usando agente espumante cuenta con una densidad promedio de 1468 kg/m<sup>3</sup> en comparación con el concreto celular de espuma de poliestireno con densidad promedio de 1073 kg/m<sup>3</sup>; por otro lado las propiedades de un concreto celular usando espuma de poliestireno y agente espumante se obtuvo que una mejor aislación térmica y resistencia térmica, pero una baja resistencia a la compresión. Así mismo, el concreto celular con espuma de poliestireno puede emplearse como unidad de albañilería sin ninguna dificultad y que también sirve como una alternativa de mitigación ambiental debido a que permite darle un uso a un material plástico que en otras circunstancias contamina el medio ambiente.

Los autores HUAMAN & SANCHEZ (2020), en su tesis “OBTENCIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CELULAR PARA SU APLICACIÓN EN EL ANÁLISIS SÍSMICO DE EDIFICIOS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA”, desarrollada en Arequipa – Perú, en el que plantea como objetivo diseñar una mezcla de concreto celular que cumpla con la resistencia de diseño según la normativa vigente, como también conocer las propiedades del concreto celular como son: módulo de elasticidad, coeficiente poisson, coeficiente de expansión térmica, resistencia a la flexión; del cual obtiene como resultado que, el diseño de mezcla propuesto para un metro cúbico de concreto celular está compuesto por 25.6% de cemento, 11.6% de agua, 62.8% de arena, dando un peso unitario de 1891.88 kg/m<sup>3</sup>, resistencia a la compresión de 198.03 kg/cm<sup>2</sup>, módulo de elasticidad de 171666.16 kg/cm<sup>2</sup>, coeficiente de poisson de 0.2631, coeficiente de expansión térmica de 9.23  $\mu/^{\circ}\text{C}$ , resistencia a la flexión de 31.49 kg/cm<sup>2</sup> siendo el 15.9% de la

resistencia a la compresión logrando realizar un diseño de mezclas de un concreto celular para su uso en edificaciones.

El autor ZAMORA (2015), en su tesis “DISEÑO DE UN BLOQUE DE CONCRETO CELULAR Y SU APLICACIÓN COMO UNIDAD DE ALBAÑILERÍA NO ESTRUCTURAL”, desarrollada en Cajamarca – Perú, tiene como objetivo obtener un bloque de concreto celular cumpliendo con los requerimientos de la norma peruana para ser usado como unidad de albañilería no estructural. Para este tipo de investigación se utilizó una metodología experimental, basándose en la determinación experimental de sus características físicas y mecánicas del concreto celular ensayados a los 7, 14 y 28 días.. Concluyó que la dosificación óptima para que logre las características deseadas del bloque de concreto celular fue: espuma + aditivo plastificante + fibra de polipropileno + cemento + arena, para la densidad aparente de 1400 kg/m<sup>3</sup> con una resistencia a la compresión promedio de 75.32 kg/cm<sup>2</sup> y un porcentaje de absorción de 11.51%.

Por otro lado, los muros no portantes (muros de tabiquería) son los que no reciben carga vertical, los cuales deben diseñarse solo para cargas perpendiculares a su plano, originadas por el viento, sismos u otras cargas de empuje; los muros de tabiquería son construidos de albañilería, ya que cuentan con propiedades térmicas, acústicas e incombustibles; en donde se utiliza mortero de baja calidad y ladrillos no portantes cuya finalidad es aligerar el peso del edificio para así disminuir las fuerzas sísmicas. (SAN BARTOLOME, 1994)

Para la mejor comprensión de la presente investigación es importante conocer los siguientes conceptos:

- CONCRETO LIGERO

Es un concreto que tiene una densidad menor que la del concreto convencional. La densidad puede variar de 300 kg/m<sup>3</sup> a 2000 kg/m<sup>3</sup> en comparación con el concreto normal que tiene una densidad de alrededor de 2300 kg/m<sup>3</sup> a 2400 kg/m<sup>3</sup>. La menor densidad se logra a través del aire incorporado para inducir poros o huecos en las mezclas o mediante el uso de agregado de baja densidad. (ZAMORA, 2015)

MAK et al (2007) sugiere que, no existe un código estándar para la clasificación de concreto ligero. Por lo tanto, la clasificación de concreto ligero se basa actualmente en su

densidad. Esto es porque en la mayoría de los casos la fuerza y la densidad de concreto están directamente relacionados. Conforme al ACI213R-14 se clasifica el concreto ligero de acuerdo a su densidad y aplicaciones como se muestra a continuación:

- ✓ Concreto de baja densidad; Este concreto de peso ligero tiene una densidad comprendida entre 300 kg/m<sup>3</sup> – 1000 kg/m<sup>3</sup>. Se utiliza como parte no portante de un edificio, tales como aislamiento y particiones. La fuerza de este concreto es inferior a 70 kg/cm<sup>2</sup>, y los áridos utilizados más comúnmente son vermiculita (ZAMORA, 2015)
- ✓ Concreto de densidad media; tiene una densidad de alrededor de 1000 kg/m<sup>3</sup> a 1600 kg/m<sup>3</sup>. Los mayores áridos utilizados en este tipo de concreto son la piedra pómez y escoria. Este tipo de concreto es generalmente un producto cementoso que puede ser utilizado como un material de soporte de carga. La resistencia mínima de este tipo de concreto es de alrededor de 175 kg/cm<sup>2</sup>. (ZAMORA, 2015)
- ✓ Concreto de densidad media con un intervalo de densidad entre 1600 kg/m<sup>3</sup> a 2200 kg/m<sup>3</sup>; también puede ser referido como concreto ligero estructural y se utiliza para soporte de carga estructural. Los agregados utilizados en este tipo de concreto son principalmente ceniza volante, escoria expandida y la pizarra. (ZAMORA, 2015)

Las ventajas del concreto ligero en comparación con el concreto tradicional es que el concreto ligero proporciona varios beneficios que pueden ser divididos en tres puntos de vista:

- ✓ Ingeniería  
Reducción de la carga muerta, la masa por unidad de fuerza es menor en concretos ligeros. Esto ofrece ventajas significativas en la reducción del peso propio de las estructuras de concreto tales como edificios de gran altura.  
Sismo / Reacción terremoto; el concreto ligero es mejor en la absorción de ondas de choque en comparación con el concreto convencional. El concreto ligero puede absorber fácilmente el impacto de cargas sin dañarse. (ZAMORA, 2015)
- ✓ Económico

Ahorro de tiempo; el tiempo de construcción se puede reducir componentes de construcción tales como: pisos, paredes, techos y techos con propiedades de peso ligero pueden ser transportados y manipulados mucho más fácilmente.

Ahorro de costo; debido a su ligereza, el concreto ligero puede reducir fácilmente el costo de transporte, mano de obra y la manipulación. (ZAMORA, 2015)

✓ Ambiental

Mientras el concreto ligero fue desarrollado originalmente para reemplazar el concreto convencional, lo que puede también personalizar para reemplazar la madera en la construcción; por lo tanto, la deforestación puede ser reducida en la gran medida. Por otra parte, la composición de los concretos ligeros son principalmente derivados de los residuos industriales, como cenizas volantes, esto ayudará a convertir los residuos en productos más ecológicos, además el hecho de que el concreto de peso ligero es más ligero que el concreto convencional, ayuda ahorrar algunas emisiones de CO<sub>2</sub>, especialmente durante el transporte de los materiales (ZAMORA, 2015)

Existen tres métodos amplios para producir concreto:

✓ Concreto con agregados livianos

Aunque los agregados ligeros pueden ser naturales, los concretos ligeros se basan en agregados fabricados industrialmente, por expansión, en hornos de arcilla o pizarra en general, con lo que se logran unas propiedades definidas y fiables. La fabricación de estos concretos precisa tener en cuenta, en lo que a dosificación respecta, los fenómenos de desecación por absorción de agua durante el mezclado, transporte y vertido, que afectarían la docilidad, aunque un exceso de agua perjudicaría el aislamiento térmico y podría permitir la flotación del agregado grueso, más ligero, debido a la vibración. El bombeo también es un tema para estudiar, ya que la presión introduce agua de la mezcla en el agregado, secándola, con el peligro de que se forme una obstrucción en la tubería. Se necesita un curado más intenso que con el concreto normal, ya que el calentamiento de fraguado es mayor, debido a la menor masa presente y menor conductividad térmica (RAMÍREZ, 1999)

Existe una gran diversidad de agregados livianos con distintas propiedades, características y origen, entre los más representativos se encuentran:

- Piedra pómez
  - Arcilla expandida
  - Poliestireno expandido
  - Perlita expandida
  - Vermiculita
  - Cascote de ladrillo
- ✓ Concreto sin finos

El concreto sin finos contiene poco o nada de agregado fino, debido a que esta caracterizado por poseer vacíos uniformemente distribuidos. El concreto sin finos consiste en agregado grueso y pasta de cemento. Las partículas de agregado se cubren con una pasta delgada de cemento y están en contacto punto a punto, lo cual proporciona la resistencia. La gran interconexión entre los vacíos le proporciona una baja densidad comparada con la del concreto convencional. La estructura del concreto sin finos lo hace un material ideal para su aplicación en capas y pisos en los que se requiere drenado. El agregado grueso debe ser preferentemente un material de un solo tamaño (siendo los más comunes los tamaños nominales de 10 y 20 mm). Sin embargo, se ha encontrado que los agregados combinados (de 10 y 7 mm, y de 20 y 14 mm) se comportan satisfactoriamente. (ZAMORA, 2015)

Generalmente, la relación cemento – agregado por volumen está en el rango de 1:6 a 1:8. Las mezclas más delgadas, las de 1:8 a 1:10 reducen la probabilidad de que los poros sean bloqueados por la pasta de cemento; de esta manera, para capas de drenaje en donde puede tolerarse una menor resistencia, es preferible 1:10. La relación agua/cemento necesita mantenerse baja por ejemplo 0.4 – 0.5, para asegurar que la pasta de cemento cubra una capa de agregados y que tenga lugar la segregación. (IMCYC, 2015)

La resistencia es menor que en el concreto convencional y es una función de la relación agregado/cemento, la relación agua/cemento y el grado de compactación (la densidad), por su parte, las resistencias típicas están en el rango de 50 a 130

kg/cm<sup>2</sup>, una mezcla con la relación del agregado: cemento de 8:1; una relación de agua/cemento de 0.4 y una densidad de 1850 kg/m<sup>3</sup>, tiene una resistencia de aproximadamente de 75 kg/cm<sup>2</sup> (ZAMORA, 2015)

✓ Concreto con inclusión de aire

Un medio de obtener concreto ligero es introducir burbujas de gas dentro de la mezcla fluida de cemento y arena para producir un material de estructura celular, bastante similar al hule espuma, que tenga celdas de tamaños entre 0.1 y 1 mm. La piel de las celdas debe ser capaz de resistir el mezclado y la compactación. Por esta razón, el concreto resultante se conoce como Concreto Celular o aireado. Hablando estrictamente, en este caso el término concreto es inapropiado, ya que la mezcla no suele contener agregado grueso (LUZARDO & ARRAGA, 2004)

Existen dos métodos básicos para generar la aireación:

- ✓ Concreto gasificado. Reacción química de una base alcalina (cal y cemento), con un ácido para liberar gas que se incorporan al mortero fresco permitiendo que la masa se expanda sin dejar que el gas se escape.
- ✓ Concreto con espuma. Se genera a partir de la introducción de burbujas de aire al interior del mortero, por medio de espuma preformada de origen sintético.

Las burbujas permanecen estables y mantienen su forma durante todo el proceso de fijación y se convierten en células de aire discretos en la matriz de cemento. La presencia de burbujas de aire da al concreto aireado su peso ligero propiedad. (ZAMORA, 2015)

- CONCRETO CELULAR GASEOSO

El año 1943, Josef Hebel adquiere la tecnología, la perfecciona y desarrolla el sistema para fabricar bloques livianos, utilizados en mampostería y paneles prefabricados de Concreto Celular, curado en autoclave, llamado "Sistema Hebel"~ muy popular en la actualidad dentro de la industria de la construcción de viviendas, se lo utiliza por sus características aislantes y por su fácil operación.

Este material ha sido usado intensamente en Europa durante los últimos 80 años, en el Medio Oriente desde hace unos 40 años, en E.E.U.U se fabrica industrialmente desde mediados de los años 90 y en Australia y Sudamérica se han instalado plantas para

producir este tipo de unidades livianas de concreto bajo licencia de las casas matrices Hebel, Celcon, Xella, etc. desde hace 20 años.

También conocido como Concreto Celular curado en autoclave y sus siglas en inglés Autoclaved Aerated Concrete (AAC), se producen mediante la adición de una cantidad predeterminada de polvo de aluminio y aditivos a la mezcla de arena de sílice, cemento o cal y agua. Burbujas macroscópicas se forman por reacción química entre el polvo de aluminio y el hidróxido de calcio presente en el agente de cementación durante el escenario líquido o plástico (ZAMORA, 2015)

La cantidad de polvo de aluminio necesaria para elaborar un concreto gaseoso de peso específico determinado depende a igualdad de los demás factores del tamaño de sus granos. En general, dicha cantidad oscila entre 0,25 y 0,50% del peso del cemento. Las experiencias de laboratorio realizadas con este tipo de concretos revelan un mejor comportamiento cuando se utiliza reducida cantidad de polvo fino (que pasa por tamiz de 6400 mallas) (ICA, 2015)

El polvo de aluminio forma aluminatos con los compuestos alcalinos del cemento, liberando hidrógeno. El volumen de gas realmente aprovechable alcanza al 40 a 50% del volumen teóricamente desarrollable. En efecto, la cantidad de polvo de aluminio a agregar para obtener un concreto gaseoso que tenga un determinado volumen de poros (en% del volumen final) y para una determinada relación agua- cemento, puede ser calculada a priori. Si embargo, no todo el gas producido queda retenido en la masa en forma de poros: una parte escapa a través de la pasta y otra reacciona una vez comenzado el endurecimiento del cemento, por lo cual escapa a través de las paredes.

Por otra parte, el grado de fineza del polvo de aluminio que se utiliza influye manifiestamente en la velocidad con que se producirá la reacción química correspondiente. En efecto, utilizando polvo de aluminio de grano grueso la gasificación dura entre 20 y 30 minutos; con polvo de grano mediano, de 1 a 2 horas y con polvo de grano fino, 2 a 2 1/2 horas.

AAC se curan bajo alta presión de vapor a temperaturas alrededor de 180 a 210 °C y que típicamente tienen densidades en el intervalo de 400 - 700 kg/m<sup>3</sup> y la fuerza a compresión de 2-8 MPa. Este método implica un alto costo de producción. Además, los

productos están limitados por el tamaño de las instalaciones de tratamiento en autoclave en la fábrica y sitio de fundición no siempre es posible. (ZAMORA, 2015)

- **CONCRETO CELULAR AIREADO**

Para elaborar el Concreto Celular aireado existen básicamente dos métodos ampliamente utilizados, el primero de ellos consta colocar a la mezcla espuma preformada, densa y de alta estabilidad, esta espuma es previamente elaborada mediante un aparato llamado generador de espuma, como es de suponer este proceso implica que el mortero y la espuma sean preparados por separado. El segundo método consiste en la adición de un aditivo espumante de alto poder de concentración, el cual se adiciona directamente a la mezcla de concreto o mortero celular, el aditivo al mezclarse con los demás materiales atrapa cierto porcentaje de aire, entre más veces gire el mezclador, más aire atrapa.

La espuma orgánica y biodegradable no genera ninguna reacción química, únicamente sirve como material de envoltura para el aire. En consecuencia, el Concreto Celular aireado se comporta como el concreto ordinario, en particular en relación con el curado, endurecimiento y más importante "envejecimiento", aumenta infinitamente su fuerza por la hidratación (formación de cristales en cemento), siempre y cuando este expuesto a la humedad en la atmósfera. (NEOPOR, 2015)

Este tipo de concreto rápidamente ha encontrado un amplio campo de aplicación dentro de la construcción. Inicialmente usado en la fabricación de tabiques divisorios, techos, bloques alivianados, posteriormente, en aplicaciones geotécnicas tales como; rellenos de suelos, taludes y muros de contención. Su difusión y acogida se debe esencialmente a su eficiencia, facilidad de transporte, ligereza, plasticidad, fluidez y otras características más, que lo diferencian del concreto convencional, elaborado con agregados pétreos.

La presencia de burbujas de aire de tamaño uniforme, dan un alto grado de fluidez a la mezcla, trascendente durante los procesos de elaboración, transporte y vertido de la masa de hormigón. La estabilidad de las burbujas de aire es bastante alta, de tal forma, que no solamente resiste el maltrato durante la mezcla, vaciado y relleno de los encofrados, sino que permanece estable hasta el endurecimiento del hormigón

- **CONCRETO CELULAR**

De acuerdo a lo visto hasta este momento, se reconoce como Concreto Celular tanto al concreto gaseoso, como al concreto aireado.

El Concreto Celular fue creado con el objetivo de encontrar un material de construcción que presentara las características positivas de la madera (aislamiento, solidez y trabajabilidad) y dejara de lado sus desventajas (combustión, fragilidad y necesidad de mantenimiento).

Hasta el presente se ha perfeccionado como producto y se ha generalizado su uso a nivel mundial, aunque es un mortero se le conoce como Concreto Celular. Han pasado varias décadas desde que se crearon los concretos ligeros (celulares) para abaratar costos, simplificar o mejorar la calidad de las edificaciones

El Concreto Celular tiene características propias; por un medio espumoso adicionado a la mezcla se ha hecho más ligero que el concreto convencional de cemento, arena y grava, que por tanto tiempo ha sido el material empleado en las construcciones. Esto, sin embargo, es más bien una descripción cualitativa en vez de una definición. Asimismo, se ha sugerido definirlo como un concreto hecho con base en agregados de peso ligero, lo cual se presta a dudas ya que en todos lados se conoce por agregado de peso ligero. (IMCYC, 2015)

En vista de la dificultad para definirlo, el concreto ligero fue conocido durante muchos años como un concreto cuya densidad superficialmente seca no es mayor a 1800 kg/m<sup>3</sup>. Ciertamente, resulta confuso definir con certeza al Concreto Celular debido a que siempre que se encuentra un producto parecido, tanto en la forma de elaboración como en las aplicaciones, existe la tendencia a denominarlo con el nombre genérico de Concreto Celular, lo que sí está claro, es que toda denominación de Concreto Celular lleva en su composición la incorporación de burbujas de aire ya sea de forma química o por acción mecánica. (IMCYC, 2015)

Pese a todas estas confusiones en cuanto a su definición, el ACI aclara en algo estos conceptos, definiendo al Concreto Celular como "Aquel concreto en el cual todo o parte del agregado es sustituido por burbujas de gas o aire". De igual manera ACI define el concreto celular como "Un producto ligero que consiste en cemento portland y/o limo con material fino silíceo, tal como arena, escoria o ceniza volante, mezclado con agua para formar una pasta que tiene una estructura de células vacías homogénea. La estructura celular se alcanza esencialmente por la inclusión de huecos-macroscópicos como

resultado de una reacción química que libera gas o de la mecánica incorporación de aire u otros gases"

Contrario a los concretos tradicionales la característica más sobresaliente del Concreto Celular es su densidad, sin embargo, sus propiedades térmicas, acústicas, su trabajabilidad, etcétera, generan grandes ventajas en la industria' de la construcción: Su factibilidad de diseño permite gran confort a quienes lo utilizan y disfrutan de él.

### PROPIEADES MECÁNICAS

- ✓ Compresión del concreto celular.

ACI menciona que los factores tales como la densidad, contenido de cemento, relación a/c, propiedades y contenido de los agregados y las condiciones de curado afectan a la resistencia a la compresión de Concreto Celular. La densidad es un criterio clave para controlar la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad de Concreto Celular, debido a que la fuerza está relacionada con la densidad en estado fresco (y, por lo tanto, también estado seco). La densidad en estado fresco puede ser determinada durante la colocación del Concreto Celular, para estimar la resistencia a la compresión eventual que se podría obtener, utilizando los resultados presentados en la Tabla 1

**Tabla 1.**

Composición y propiedades del concreto celular

						RESISTENCIA A	
DENSIDAD		ARENA:CEMENTO	AGUA:CEMENTO	FACTOR CEMENTO		COMPRESIÓN	
						ESTIMADA	
lb/ft <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>			lb/yd <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	PSI	Mpa
50	800	0.79	0.6	564	335	250	1.7
50	800	0.55	0.5	658	390	300	2.1
50	800	0.29	0.5	752	446	400	2.8
60	960	1.27	0.6	564	335	350	2.4
60	960	0.96	0.5	658	390	400	2.8
60	960	0.65	0.5	752	446	500	3.5
70	1120	1.75	0.6	564	335	450	3.1

70	1120	1.37	0.5	658	390	500	3.5
70	1120	1.06	0.45	752	446	600	4.1
80	1280	2.22	0.6	564	335	600	4.1
80	1280	1.78	0.5	658	390	650	4.5
80	1280	1.42	0.45	752	446	750	4.8
90	1440	2.85	0.45	564	335	1100	7.6
90	1440	2.19	0.5	658	390	1100	7.6
90	1440	1.78	0.45	752	446	1300	9
100	1600	3.18	0.6	564	335	1250	8.6
100	1600	2.65	0.45	658	390	1700	11.7
100	1600	2.14	0.45	752	446	1800	12.4
110	1760	3.66	0.6	564	335	2000	13.8
110	1760	3.06	0.45	658	390	2600	17.9
110	1760	2.44	0.5	752	446	2500	17.2
120	1920	3.32	0.6	658	390	3320	22.9
120	1920	2.8	0.5	752	446	3520	24.3

Fuente: ACI 523 3R-14

✓ Módulo de elasticidad

Es una medida de la deformación que sufriría el material bajo condiciones de carga de corta duración en el rango elástico. El módulo de elasticidad del concreto Celular está en relación con su densidad y resistencia a la compresión; es bajo con relación al concreto convencional (Ver Tabla N 2).

**Tabla 2**

Resistencia a la compresión y módulo de elasticidad del concreto celular

Densidad lb/ft <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia a la compresión 28 días, PSI (Mpa)	Módulo de Elasticidad, KSI (Gpa)
50 (800)	250 a 400 (1.7 a 2.8)	149 (1.03)
65 (1040)	400 a 550 (2.8 a 3.8)	297 (2.05)
80 (1280)	600 a 750 (4.1 a 5.1)	491 (3.38)

95 (1520)	800 a 1100 (5.5 a 7.6)	772 (5.31)
110 (1760)	1300 a 1600 (9.0 a 11.0)	1191 (8.21)

---

Fuente: ACI 523 3R-14

✓ Resistencia a la tensión y cortante

Por lo regular, la resistencia a la tensión no se toma mucho en cuenta; sin embargo, cuando se requiera mejorarla, es conveniente utilizar fibras, sobre todo en los paneles para utilizar en muros. Las fibras pueden ser de vidrio resistente al álcali, metálico, de resinas o plásticas.

### PROPIEDADES FÍSICAS DEL CONCRETO CELULAR

✓ Trabajabilidad

El Concreto Celular tiene excelente trabajabilidad y es autonivelante. Como tal, se considera autocompactante y por lo tanto no requiere vibración durante la colocación. El alto contenido de aire elimina cualquier tendencia al sangrado. Puede ser bombeado a distancias considerables tanto vertical como horizontalmente.

✓ Densidad

La densidad varía desde los 300 kg/m<sup>3</sup> hasta los 1800 kg/m<sup>3</sup>, lo que hace del Concreto Celular un material sumamente ligero, propiedad muy apreciada en la construcción. Cuando se trata de bloques para mampostería y elementos prefabricados, proporciona economía en el transporte, es posible elaborar piezas de mayor tamaño con densidades bajas, lo que facilita su manipulación y agilizar los procesos constructivos. Por otra parte, los esfuerzos laterales a los que se ven sometidos los edificios en caso de actividad sísmica son proporcionales al peso de la construcción. A menor peso de la estructura, menor será el esfuerzo horizontal que recibirá, por lo que las estructuras de Concreto Celular permiten minimizar las cargas sísmicas (RENGIFO & YUPANGUI, 2013)

✓ Aislamiento acústico

El Concreto Celular exhibe una excelente absorción acústica, debido a su estructura celular, debido a su densidad reducida, el Concreto Celular también mejora la atenuación del sonido. Los bloques de Concreto Celular son muy usados por que ofrecen gran aislación acústica.

✓ Resistencia al fuego

Se ha demostrado en pruebas de laboratorio hechas a paneles de Concreto Celular, que pueden mantenerse a fuego directo las losas durante una hora, y los muros durante cuatro horas, sin perder su condición estructural. En las mismas pruebas, este concreto soportó ser expuesto a temperaturas arriba de 700° C y su punto de difusión es a 1000-2000° C, dependiendo de los materiales básicos. (CERVANTES, 2008)

✓ Aislante térmico

La aislación térmica que proporciona el Concreto Celular se debe principalmente a que el aditivo espumante crea un gran número de alveolos que contienen millones de micro células de aire, no comunicados entre sí, lográndose una vez producido el fragüe una material termoaislante diez veces mayor que el concreto ordinario con mayor confort térmico y teniendo un ahorro energético en la calefacción y aire acondicionado.

✓ Absorción de agua

La absorción de agua del Concreto Celular depende de su densidad y los materiales de la mezcla, generalmente suele ser baja debido a que las células o alveolos que contiene no están conectados. La adición de ceniza volante o humo de sílice puede reducir la porosidad capilar, por lo tanto, la disminución de la absorción de agua.

✓ Resistencia al congelamiento y descongelamiento

El Concreto Celular tiene una excelente resistencia a congelación y descongelación, debido a su alto contenido de cemento y su estructura interna de vacíos.

## PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CONCRETO CELULAR

El Concreto Celular se debe mezclar mecánicamente para producir una distribución uniforme de materiales y la densidad esperada. La mezcla excesiva debe evitarse, ya que puede causar cambios en la densidad y consistencia. Una vez obtenida la dosificación específica a través del diseño, la secuencia de mezcla debe ser la siguiente: el agua y posibles sustancias solubles en agua se añaden primero al mezclador, seguido del agregado(s), el cemento y otros aditivos.

Todos los ingredientes excepto la espuma preformada que se añade último, luego se debe mezclar hasta obtener una consistencia uniforme. Esta secuencia minimiza la destrucción de las células de aire. La variación de la secuencia recomendada es permisible si demuestra ventajosa.

La utilización de Concreto Celular en edificios se está haciendo cada vez más extensa. A continuación, se presentan algunas de las aplicaciones típicas actualmente en uso:

- ✓ Densidades de 300 – 600 kg/m<sup>3</sup>  
Logradas con cemento y espuma solamente. Este material se utiliza en azoteas y pisos como aislante térmico y acústico y se aplica en suelos rígidos (o sea en sí no es un material estructural).
- ✓ Densidades de 600 – 900 kg/m<sup>3</sup>  
Logradas con arena, cemento y espuma. Se emplean para la fabricación de bloques y paneles precolados/premoldeados para paredes de revestimiento o divisorias, losas para cielos rasos (techos falsos), capas de aislamiento térmico y acústico en edificios residenciales y comerciales de varios pisos.
- ✓ Densidades de 900 – 1200 kg/m<sup>3</sup>  
Logradas con arena, cemento y espuma. Este material se utiliza en bloques y paneles de concreto para las capas externas de edificios, así como en paredes divisorias, losas de concreto para techos y pisos.
- ✓ Densidades de 1200 – 1600 kg/m<sup>3</sup>  
Logradas con arena, cemento y espuma. Este material se utiliza en paneles prefabricados de cualquier dimensión para usos comerciales e industriales.
- ✓ Densidades de 1600 – 1800 kg/m<sup>3</sup>  
Logradas con arena, cemento y espuma. Este material se utiliza en losas y en otros elementos portantes, donde se exige una buena resistencia.

#### VENTAJAS CONCRETO CELULAR

El Concreto Celular tiene muchas ventajas y bondades en comparación con concreto convencional, se puede emplear en la fabricación de alivianamientos brindando el máximo aprovechamiento del material con baja producción de escombros, menor costo en materiales,

además es un material ecológico ya que una vez cumplido su ciclo de vida puede ser demolido, triturado y vuelto a reutilizado en la fabricación de los mismos.

- ✓ Resistencia al fuego. Es extremadamente resistente al fuego y es apto para los trabajos con riesgo de incendio. Las pruebas han demostrado que, además de la protección prolongada contra el fuego, la aplicación de un calor intenso, como una llama a alta energía mantenida cercana a la superficie, no provoca ni la rotura ni la explosión, contrariamente al. comportamiento del concreto con densidad normal.
- ✓ Durabilidad. Es Un material de larga duración que no está sometido al efecto del tiempo. No se descompone y es duradero como una roca. Su alta resistencia a la compresión permite que se pueda utilizar un menor peso/volumen en la construcción.
- ✓ Calor. Gracias a la alta variación térmica, las construcciones con Concreto Celular logran acumular calor, lo que permite reducir los gastos de calefacción del 20 al 30%.
- ✓ Microclima. Evita la pérdida de calor en invierno; es resistente a la humedad, permite evitar las temperaturas muy altas en verano y controlar la humedad en el aire absorbiéndola y favorece la creación de un microclima (como una casa de madera).
- ✓ Montaje rápido. La baja densidad y, por tanto, la ligereza del Concreto Celular, junto al mayor tamaño de los bloques respecto a los ladrillos, permite aumentar sensiblemente la velocidad de colocación. El Concreto Celular se puede trabajar y cortar fácilmente para ranurar canales y pasos para cables eléctricos y tubos. La facilidad de montaje es debido a la alta precisión de sus dimensiones, con una tolerancia de  $\pm 1$  mm.
- ✓ Aislamiento acústico. Tiene una absorción acústica alta. Los edificios construidos con Concreto Celular cumplen las normas en materia de aislamiento acústico.
- ✓ Compatibilidad ambiental. Su respeto medioambiental es sólo superado por la madera. El coeficiente de compatibilidad ambiental del concreto poroso es 2; el de la madera 1, el de los ladrillos 10 y el de los bloques de arcilla expandida 20.

- ✓ Versatilidad. Gracias a su facilidad de elaboración, se pueden producir varias formas de ángulos, arcos y pirámides que aumentan el valor estético de los edificios.

#### DESVENTAJAS DEL CONCRETO CELULAR

Así como tiene muchas ventajas y bondades también tiene desventajas y una de ellas es que es más costoso que el concreto convencional y requiero mucho más cuidado para su producción.

- ✓ Económicamente es más costoso.
- ✓ El encofrado necesita más cuidado para el momento en la colocación
- ✓ El Concreto Celular por tener mayor porosidad es más vulnerable a los ataques químicos (agua freática, corrosiva, ambientes contaminados y escurrimiento de líquidos reactivos).
- ✓ Se requiere que el curado del Concreto Celular sea en cámaras herméticas muy resistentes y de elevado precio, especialmente si se trata de fabricar elementos de grandes dimensiones.
- ✓ Es necesario establecer un sistema de producción (dosificación, mezclado y curado) más regularizado, ya que cualquier factor influye en la propiedades físicas y mecánicas del producto final. Por ejemplo, un mal amasado puede influir en la mezcla incompleta entre los elementos pétreos, cemento, agua y espuma, por otro lado, un exceso de amasado influye en la segregación de los componentes del hormigón.
- ✓ Los concretos livianos producen mayores. deformaciones que el concreto convencional, esto se debe a que presentan módulos de elasticidad más bajos.

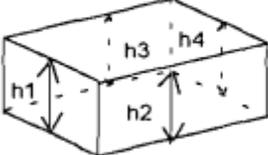
#### PROPIEDADES FÍSICAS MECÁNICAS DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA SEGÚN LA NORMA E.070 DE ALBAÑILERÍA

- ✓ Variación Dimensional

Para realizar esta propiedad de la variación dimensional de las unidades de albañilería se sigue el procedimiento de las normas NTP 399.613 y 399.604.

Las dimensiones de la unidad de albañilería se expresan como largo por ancho por altura (L x A x H), en milímetros; el largo y ancho se refieren a la superficie de asiento.

Este ensayo es necesario efectuarlo para determinar el espesor de las juntas de la albañilería; debe hacerse notar que por cada incremento de 3 mm en el espesor de las juntas horizontales (adicionales al mínimo requerido de 10 mm), la resistencia a compresión de la albañilería disminuye en 15%; como también disminuye la resistencia al corte. (SAN BARTOLOME, 1994)

$$V (\%) = 100 (De - Dp) / De$$


altura de una unidad =  
 $h = (h1 + h2 + h3 + h4) / 4$

✓ Alabeo

Para la determinación del alabeo de las unidades de albañilería se basa en la norma NTP 399.613

El mayor alabeo (concavidad o convexidad) de la unidad de albañilería conduce a un mayor espesor de la junta; de igual manera, puede disminuir la adherencia con el mortero al formarse vacíos en las zonas más alabeadas; o puede producir fallas de tracción por flexión en la unidad de albañilería.

Para la realización de este ensayo se realiza la colocación de la superficie de asiento de la unidad de albañilería sobre una mesa plana, para luego introducir una cuña de madera graduada al milímetro en la zona más alabeada; también debe colocarse una regla que conecte los extremos diagonalmente opuestos de la unidad de albañilería para después introducir la cuña en el punto de mayor deflexión; el resultado promedio se expresa en milímetros. (SAN BARTOLOME, 1994)

✓ Absorción

Los ensayos de absorción se hacen de acuerdo a lo indicado en las normas NTP 399.604 y 399.161.

En este ensayo se mide la absorción de la unidad seca sumergida en agua fría durante 24 horas; para efectuar el ensayo, las unidades de albañilería se someten al tratamiento antes dicho, y luego se vuelven a pesar. (GALLEGOS & CASABONNE, 2005)

✓ **Succión**

De acuerdo a lo indicado en las normas NTP 399.604 y 399.161, la succión debe destacarse por la mejor adherencia ladrillo – mortero, se logra cuando el núcleo del ladrillo está saturado y su superficie se encuentra relativamente seca. Esto hace de un curado natural del mortero evitando su agrietamiento al retardarse el fraguado (o endurecimiento) con el agua existente en el núcleo del ladrillo; y además una adecuada succión del cementante del mortero. Se debe indicar que todas las unidades de albañilería son ávidas de agua, por lo que se recomienda reducir la succión natural regándolas por lo menos durante 25 minutos un día antes de usarlas, de modo que la succión al asentarlas se encuentre comprendida entre 10 a 20 gr/200 cm<sup>2</sup>-min. (SAN BARTOLOME, 1994)

✓ **Resistencia a la compresión ( $f'_b$ )**

Para determinar la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería se realiza en función a las normas NTP 399.613 y 399.604.

Los especímenes son unidades de albañilería secas, sobre cuyas superficies de asiento se coloca un capping de yeso (si la unidad tiene mucho alabeo, se utilizará capping de cemento). Luego se aplica la carga vertical controlando la velocidad de carga de manera que se llegue a la rotura del espécimen.

Este ensayo se expresa como el valor de la carga de rotura dividida entre el área bruta para el caso de unidades sólidas o área neta para el caso de unidades huecas; el resultado promedio de los ensayos menos la desviación estándar debe ser mayor al límite inferior especificado en la norma. (SAN BARTOLOME, 1994)

## **CAPÍTULO II: METODOLOGÍA**

### **2.1. Tipo de investigación**

#### **2.1.1. Enfoque**

El enfoque considerado para la investigación es cuantitativo, porque se basa en la medición de las propiedades físico mecánicas de unidades de tabiquería con adición de acero residual.

#### **2.1.2. Tipo**

La presente investigación se enmarca dentro del tipo correlacional, ya que se utiliza 2 variables que se relacionan entre sí.

#### **2.1.3. Diseño de la investigación**

En el caso de la presenta investigación, se ha determinado que la investigación es de tipo experimental, debido a que esta se basa en la determinación experimental de las propiedades físico mecánicas de concreto celular adicionado con acero residual mediante ensayos experimentales de laboratorio

### **2.2. Población y muestra**

#### **2.2.1. Población**

La población del estudio viene a ser las unidades de tabiquería de concreto celular adicionado con acero residual elaborados para determinar las propiedades físico mecánicas

#### **2.2.2. Muestra**

Con respecto a la muestra, se tomará 68 unidades de tabiquería de concreto celular con adición de acero residual, los mismos que se desprenden: 17 unidades de tabiquería de concreto celular sin adición de acero residual (muestra patrón), 17 unidades de tabiquería de concreto celular con adición de acero residual en 1%, 17 unidades de tabiquería de concreto celular con adición de acero residual en 3% y 17 unidades de tabiquería de concreto celular con adición de acero residual en 5% para un tiempo de curado de 7 días.

**Tabla 3**

Número total de muestras por cada ensayo

UNIDAD DE TABIQUERÍA DE CONCRETO CELULAR				
Ensayos	Muestra patrón	1% de adición		
		de residuo de acero	3% de adición de residuo de acero	5% de adición de residuo de acero
Variación dimensional	3	3	3	3
Alabeo	3	3	3	3
Absorción	3	3	3	3
Succión	3	3	3	3
Resistencia a la compresión	5	5	5	5
	17	17	17	17
Total			68	

### 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

#### a) Técnicas

La técnica de recolección de datos en este caso se opta por la técnica de observación directa, la cual consiste en observar atentamente el fenómeno, hecho o caso estudiado, tomar la información y registrarla para su posterior análisis, para el cual el investigador se apoya en sus sentidos, para estar al pendiente de los sucesos y analizar los eventos ocurrientes en una visión global, en todo un contexto natural. (ZAMORA, 2015)

Tal es el caso de esta investigación puesto que nuestras variables que vienen a ser las propiedades físico mecánicas de unidades de tabiquería con adición de acero residual se medirán de manera visual y el instrumento en el cual se toman los datos son los protocolos

#### b) Instrumentos

Se utilizaron protocolos que se detallan a continuación para la recolección y análisis de datos que fueron obtenidos en el laboratorio de concreto de la Universidad Privada del Norte.

Figura 1

Protocolo de laboratorio para obtención de datos de contenido de humedad

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE					
<b>PROTOCOLO</b>					
<b>ENSAYO:</b>		CONTENIDO DE HUMEDAD			
<b>NORMA:</b>		MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127			
<b>TESIS:</b>		ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023			
CANTERA:		MUESTRA:		TIPO DE MATERIAL:	
UBICACIÓN:				COLOR DE:	
FECHA DE MUESTREO:				RESPONSABLE:	
FECHA DE ENSAYO:				REVISADO POR:	
<u>Temperatura de Secado</u>			<u>Método</u>		
110 °C			Horno 110 ± 5 °C		
<b>CONTENI</b>					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara	-			
B	Peso del Recipiente	gr			
C	Recipiente + Material Natural	gr			
D	Recipiente + Material Seco	gr			
E	Peso del material húmedo <b>(W<sub>mh</sub>) = C - B</b>	gr			
F	Peso del material Seco <b>(W<sub>s</sub>) = D - B</b>	gr			
<b>W<sub>z</sub></b>	Porcentaje de humedad <b>(E - F / F) * 100</b>	%			
G	Promedio Porcentaje Humedad	%			
Nota: Materia hace mención tanto al suelo como a los agregados tanto grueso como fino.					
<b>OBSERVACIONES:</b>					
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>		<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>		<b>ASESOR</b>	
NOMBRE:		NOMBRE:		NOMBRE:	
FECHA:		FECHA:		FECHA:	

Figura 2

Protocolo de laboratorio para obtención de datos de análisis granulométrico

LABORATORIO DE CONCRETO - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE									
PROTOCOLO									
ENSAYO		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS				CÓDIGO DEL DOCUMENTO: AGGF-LC-UPNC: .....			
NORMA		MTC E204 - ASTM C136 - NTP 400.012							
TESIS		ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3%							
CANTERA:						TM:			
UBICACIÓN:						TMN:			
FECHA DE MUESTRA:						M.F:			
FECHA DE ENSAYO:						HUSO A UTILIZAR:			
RESPONSABLE:						REVISADO POR:			
AGREGADO FINO									
		<i>Mínimo:</i>		1000	gr				
N	TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	%	RETENIDO	%	RETENIDO ACUMULADO	%	Horn Granulométrica (Según norma ASTM C33)	
								Límite Inferior	Límite Superior
1	N° 4	4.75						95	100
2	N° 8	2.36						80	100
4	N° 16	1.18						50	85
5	N° 30	0.6						25	60
6	N° 50	0.3						10	30
7	N° 100	0.15						2	10
8	N° 200	0.075						0	3
9	Bandeja	0							
<p>Nota: Para calcular la granulometría, utilizar todas las mallas, para el caso del módulo de finura no utilizar la malla N° 10 y N° 200. Con la siguiente fórmula podemos determinar</p> $M.F = \frac{\sum \% \text{ Retenido acumulado en las mallas N°4, 8, 16, 30, 50 y 100}}{100}$									
<b>OBSERVACIONES:</b>									
RESPONSABLE DEL ENSAYO			COORDINADOR DEL LABORATORIO				ASESOR		
NOMBRE:			NOMBRE:				NOMBRE:		
FECHA:			FECHA:				FECHA:		

Figura 3

Protocolo de laboratorio para obtención de datos de peso unitario de agregado fino

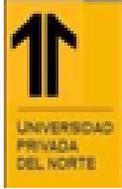
LABORATORIO DE SUELOS - UNIYERSIDAD PRIVADA DEL NORTE					
	PROTOCOLO				
	ENSAYO:	PESO UNITARIO DE AGREGADO FINO			
	NORMA:	MTC E 203 / ASTM C29 / NTP 400.017			
	TESIS:	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023			
CANTERA:		MUESTR		TIPO DE MATERIAL:	
UBICACIÓN:				COLOR DE	
FECHA DE MUESTREO:				RESPONSABLE:	
FECHA DE ENSAYO:				REVISADO POR:	
PESO UNITARIO DE AGREGADO FINO					
ID	DESCRIPCI	UND	1	VOLUMEN MOLDE	
<b>A</b>	Peso del molde + AF compactado	kg		Diámetro (m)	
<b>B</b>	Peso del	kg		Altura (m)	
<b>C</b>	Peso del AF compactado C=A-B	kg			
<b>D</b>	PESO UNITARIO COMPACTADO D=C/Vol. Molde	kg/m <sup>3</sup>			
<b>E</b>	Peso del molde + AF	kg			
<b>F</b>	Peso del AF suelto F=E-B	kg			
<b>F</b>	PESO UNITARIO SUELTO G=F/Vol. Molde	kg/m <sup>3</sup>			
<b>OBSERVACIONES:</b>					
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>		<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>		<b>ASESOR</b>	
NOMBRE:		NOMBRE:		NOMBRE:	
FECHA:		FECHA:		FECHA:	

Figura 4

Protocolo de laboratorio para obtención de datos de peso específico de agregado fino

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
<b>ENSAYO:</b>		PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE SÓLIDOS	
<b>NORMA:</b>		MTC E 113 / ASTM D854 / NTP 339.131	
<b>TESIS:</b>		ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023	
CANTERA:		MUESTRA:	
UBICACIÓN:		TIPO DE MATERIAL:	
FECHA DE MUESTREO:		COLOR DE MATERIAL:	
FECHA DE ENSAYO:		RESPONSABLE:	
		REVISADO POR:	
PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL FINO			
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1
A	Identificación de la muestra	-	
B	Peso de la muestra seca	gr	
C	Peso de la fiola + agua (500 ml)	cm3	
D	Peso de la fiola + agua (500 ml) - Aire	cm3	
E	Peso específico ( $Y_s = ((B/B+C+D))$ )	gr/cm3	
F	Promedio del peso específico "Ys"	gr/cm3	
OBSERVACIONES:			
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>		<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>	<b>ASESOR</b>
NOMBRE:		NOMBRE:	NOMBRE:
FECHA:		FECHA:	FECHA:

Figura 5

Protocolo de laboratorio para obtención de datos de límites de plasticidad

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA					
	PROTOCOLO				
	ENSAYO:	LÍMITES DE PLASTICIDAD			
	NORMA:	MTC E 111 / ASTM D4318 / NTP E 339.130			
TESIS:	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023				
CANTERA:		MUESTR		TIPO DE MATERIAL:	
UBICACIÓN:				COLOR DE	
FECHA DE MUESTREO:				RESPONSABLE:	
FECHA DE ENSAYO:				REVISADO POR:	
DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO (LL)					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de recipiente	N'			
B	Suelo húmedo + recipiente	qr			
C	Suelo seco + recipiente	qr			
D	Peso de recipiente	qr			
E	Peso del agua (B-C)	qr			
F	Peso suelo seco (C-D)	qr			
G	Número de golpes	N			
H	Contenido de Humedad (E/F)*100	%			
DETERMINACIÓN DE LÍMITE PLÁSTICO (LP)					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de recipiente	N'			
B	Suelo húmedo + tara	qr			
C	Suelo seco + tara	qr			
D	Peso de la tara	qr			
E	Peso del agua (B-C)	qr			
F	Peso suelo seco (C-D)	qr			
G	Contenido de Humedad (E/F)*100	%			
H	Promedio de límite plástico				
<b>OBSERVACIONES:</b>					
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>			<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>		<b>ASESOR</b>
NOMBRE:			NOMBRE:		NOMBRE:
FECHA:			FECHA:		FECHA:

Figura 6

Protocolo de laboratorio para obtención de datos de variación dimensional de unidades de tabiquería

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE				
PROTOCOLO				
<b>ENSAYO:</b>		VARIACIÓN DIMENSIONAL DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA		
<b>NORMA:</b>		NTP 331.017, NTP 331.018, NTP 331.019 Y NTP 399.604		
<b>TESIS:</b>		ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023		
CANTERA:		MUESTRA:		TIPO DE MATERIAL:
UBICACIÓN:				COLOR DE MATERIAL:
FECHA DE MUESTREO:				RESPONSABLE:
FECHA DE ENSAYO:				REVISADO POR:
	<b>MUESTRA</b>	<b>L (cm)</b>	<b>H (cm)</b>	<b>A (cm)</b>
	PROMEDIO			
	<b>MUESTRA</b>	<b>L (cm)</b>	<b>H (cm)</b>	<b>A (cm)</b>
	PROMEDIO			
<b>OBSERVACIONES:</b>				
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>		<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>		<b>ASESOR</b>
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO		NOMBRE:		NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN
FECHA: 03/07/2023		FECHA: 03/07/2023		FECHA: 03/07/2023



Figura 8

Protocolo de laboratorio para obtención de datos de absorción de unidades de tabiquería

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE											
						PROCOLO					
						ENSAYO:			ABSORCIÓN DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA		
						NORMA:			NTP 399.604 - 399.613		
						TESIS:			ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023		
CANTERA:		MUESTRA:		TIPO DE MATERIAL:							
UBICACIÓN:				COLOR DE MATERIAL:							
FECHA DE MUESTREO:				RESPONSABLE:							
FECHA DE ENSAYO:				REVISADO POR:							
<b>MUESTRA N°</b>											
<b>W seco (gr)</b>		<b>PROMED</b>		<b>W húmedo (gr)</b>		<b>PROMEDIO</b>					
<b>MUESTRA N°</b>											
<b>W seco (gr)</b>		<b>PROMED</b>		<b>W húmedo (gr)</b>		<b>PROMEDIO</b>					
<b>OBSERVACIONES:</b>											
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>				<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>		<b>ASESOR</b>					
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO				NOMBRE:		NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN					
FECHA: 03/07/2023				FECHA: 03/07/2023		FECHA: 03/07/2023					

Figura 9

Protocolo de laboratorio para obtención de datos de succión de unidades de tabiquería

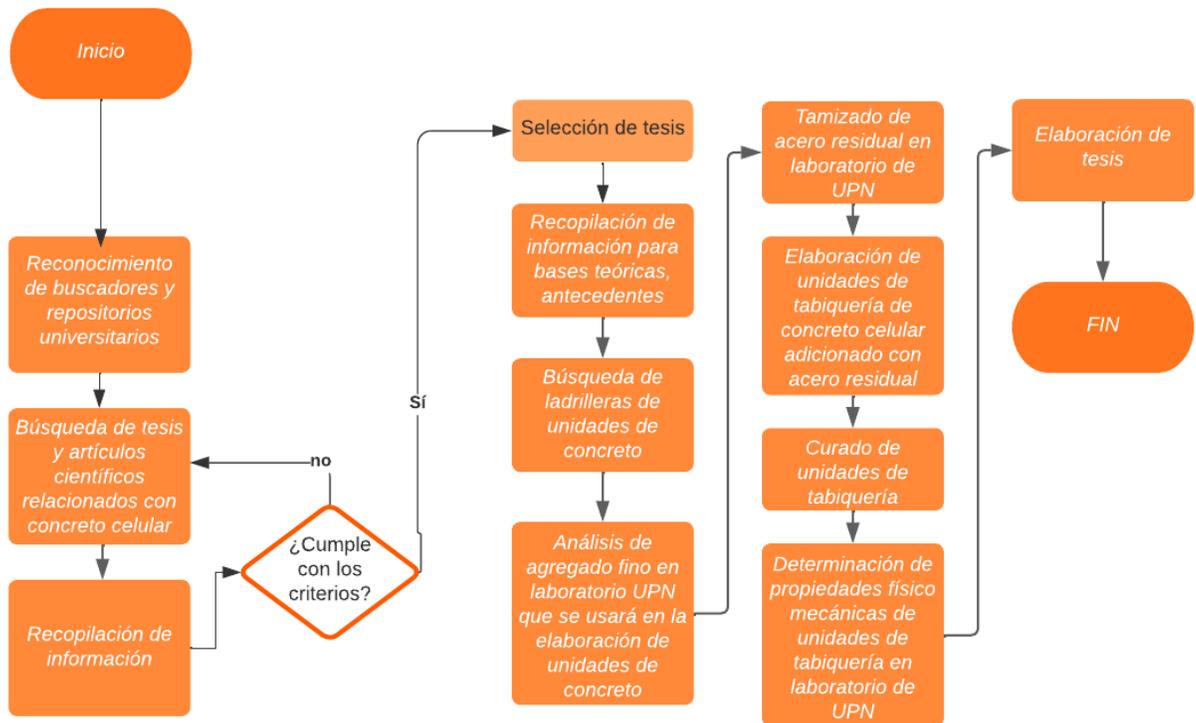
LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE					
	PROTOCOLO				
	ENSAYO:	SUCCIÓN DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA			
	NORMA:	NTP 331.017, NTP 331.018, NTP 331.019 Y NTP 399.604			
	TESIS:	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023			
CANTERA:		MUESTRA:		TIPO DE MATERIAL:	
UBICACIÓN:				COLOR DE MATERIAL:	
FECHA DE MUESTREO:				RESPONSABLE:	
FECHA DE ENSAYO:				REVISADO POR:	
<b>MUESTRA N°</b>					
	<b>LARGO (cm)</b>	<b>ANCHO (cm)</b>	<b>W seco (gr)</b>	<b>W húmedo (gr)</b>	
<b>MUESTRA N°</b>					
	<b>LARGO (cm)</b>	<b>ANCHO (cm)</b>	<b>W seco (gr)</b>	<b>W húmedo (gr)</b>	
<b>OBSERVACIONES:</b>					
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>		<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>		<b>ASESOR</b>	
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO		NOMBRE:		NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN	
FECHA: 03/07/2023		FECHA: 03/07/2023		FECHA: 03/07/2023	



## 2.4. Flujograma de la investigación

Figura 11

Flujograma de la investigación



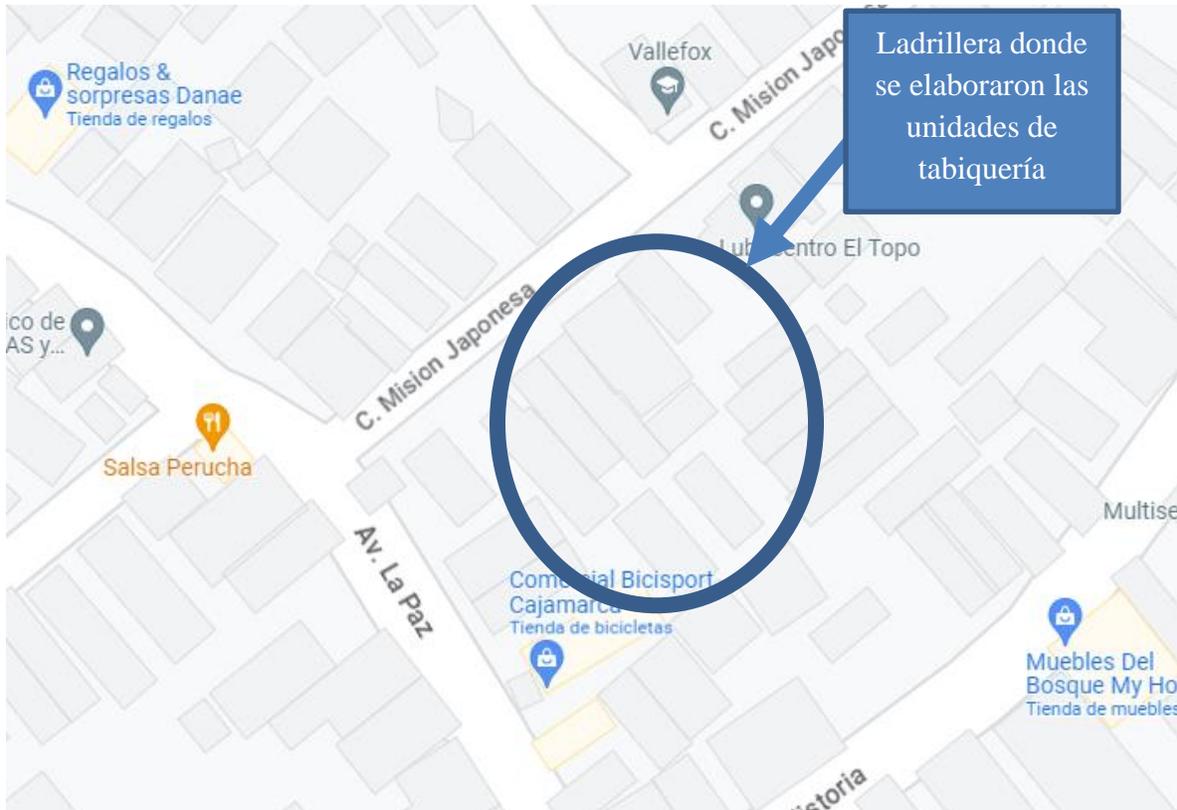
## 2.5. Procedimiento

### 2.5.1. Procedimiento de recolección de datos de agregado fino

**Paso 1.** Se obtuvo el agregado fino en la ladrillera ubicada en el Jr. Misión Japonesa y Av. La paz.

Figura 12

Ubicación de ladrillera donde se extrajo el agregado fino y donde se elaboraron las unidades de tabiquería de concreto celular



#### 2.5.1.1. Análisis granulométrico de agregado fino (ASTM C136)

##### Materiales

- Balanza con aproximación y exactitud de 0.1 g o 0.1%
- Juego de tamices que cumplan con la NTP 350.001
- Muestra seca

##### Procedimiento

- **Paso 1.** Se secó la muestra a peso constante a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm \text{C}$ , (se secó al ambiente)
- **Paso 2.** Se pasó la muestra seca de 1000 gramos por el juego de tamices, agitando de forma manual

- **Paso 3.** Se seleccionaron los tamices adecuados para granulometría de agregado fino en seco, según la NTP E.070: N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200 y cazoleta. Los tamices se encajaron en orden de abertura decreciente desde la tapa hasta el fondo y se colocó la muestra sobre el tamiz superior.
- **Paso 4.** Se procedió agitar los tamices manualmente
- **Paso 5.** Se determinó la masa de cada incremento de medida sobre la balanza conforme a los requerimientos aproximado al 0.1% más cercano de la masa total original de la muestra seca. La masa total de material luego del tamizado fue verificada con la masa de la muestra colocada sobre cada tamiz. Si la cantidad difiere en más de 0.3%, sobre la masa seca original de la muestra, el resultado no deberá utilizarse para propósitos de aceptación.
- **Paso 6.** Luego se procedió al pesado de la cantidad que se retuvo en cada tamiz, para verificar que la curva se encuentre entre los husos granulométricos requeridos por la norma E.070 que se detallan a continuación:

GRANULOMETRÍA DE ARENA	
MALLA ASTM	% QUE PASA
N°4 (4.75 mm)	100
N°8 (2.36 mm)	95 a 100
N°16 (1.18mm)	70 a 100
N° 30 (0.6mm)	40 a 75
N° 50 (0.30mm)	10 a 35
N° 100 (0.15mm)	2 a 15
N° 200 (0.075mm)	Menos de 2

- Paso 7. El módulo de finura se calculó de acuerdo a la siguiente expresión:

$$MF = \frac{\sum \text{Retenido acumulado en las mallas } N^{\circ}4,8,16,30,50 \text{ y } 100}{100}$$

Dónde:

M.F. : Módulo de finura

*Figura 13*

Determinación de peso de muestra para el ensayo de granulometría de agregado fino seco



*Figura 14*

Juego de tamices para el ensayo de granulometría de agregado fino seco



*Figura 15*

Tamizaje de agregado fino en juego de tamices



*Figura 16*

Ensayo de granulometría de agregado fino en seco



### 2.5.1.2. Contenido de humedad

#### **Materiales**

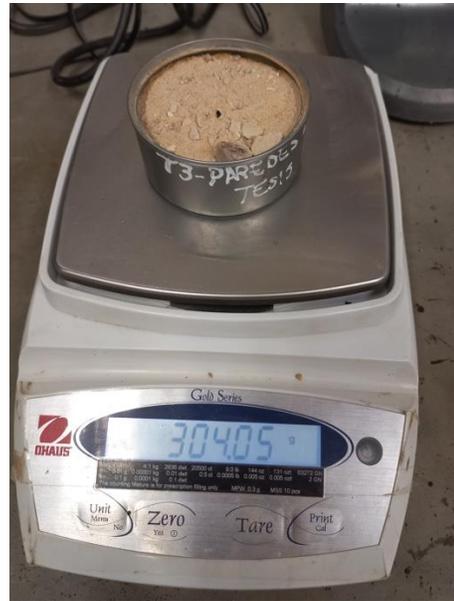
- Material con humedad natural de la ladrillera
- 3 taras
- 1 horno
- Balanza con aproximación y exactitud de 0.1 g o 0.1%

#### **Procedimiento**

- **Paso 1.** Se obtuvo una porción de material inalterado y se lo pesó en estado natural.
- **Paso 2.** Se pesaron las taras identificadas
- **Paso 3.** A continuación, se colocó el material en el horno a una temperatura de  $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas
- **Paso 4.** Luego de haber transcurrido 24 horas se retira el material del horno y se dejó reposar media hora y se determinó el peso en estado seco.
- **Paso 5.** El contenido de humedad se determinó de acuerdo a la siguiente formula:

*Figura 17*

Muestra para determinar contenido de humedad



*Figura 18*

Incorporación de muestra en estufa



### 2.5.1.3. Peso específico

#### Materiales

- Balanza con aproximación y exactitud de 0.1 g o 0.1%

- Frasco volumétrico de 500 cm<sup>3</sup> de capacidad
- Molde cónico
- Barra compactadora
- Horno
- Muestra

#### Procedimiento

- **Paso 1.** Se colocó el material en un recipiente y se cubrió por agua por el tiempo de 24 horas
- **Paso 2.** Después de las 24 horas transcurridas, se procedió a secar a una temperatura de ambiente, hasta que las partículas se encuentren en estado saturado superficialmente seco.
- **Paso 3.** Luego se colocó el material en el molde cónico y se golpeó la superficie 25 veces con la barra compactadora.
- **Paso 4.** En el frasco volumétrico de 500 cm<sup>3</sup> se agregó el agregado fino en estado saturado superficialmente seco
- **Paso 5.** Se procedió a llenar con agua el frasco volumétrico hasta aproximadamente la marca de 500 cm<sup>3</sup> y se movió cuidadosamente el frasco con el agua y arena con el fin de que los materiales se homogenicen y así se eliminó las burbujas de aire.
- **Paso 6.** Luego de que se eliminó las burbujas de aire agitándolo se pesa.
- **Paso 7.** Se eliminó el agua a excepción del agregado fino y se secó en el horno con una temperatura constante durante el tiempo de 24 horas y se determinó el contenido de humedad.

*Figura 19*

Muestra saturada



*Figura 20*

Secado de muestra saturada



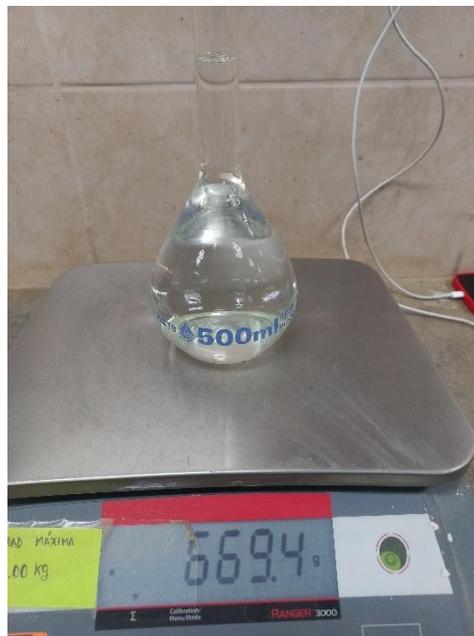
*Figura 21*

Extracción de burbujas de aire mediante agitación



*Figura 22*

Determinación de masa de fiola de 500ml más agua



*Figura 23*

Determinación de masa de fiola de 500ml más agua más muestra



#### 2.5.1.4. **Peso unitario seco suelto y compactado (ASTM C29)**

##### **Peso unitario seco suelto**

##### **Materiales**

- Balanza con aproximación y exactitud de 0.1 g o 0.1%
- Cilindro con asas
- Pala o cucharón
- Muestra seca (20 kg)

##### **Procedimiento**

- **Paso 1.** Se halló el volumen y peso del cilindro con asas que se usó
- **Paso 2.** Se llenó el cilindro usando la pala o cucharón hasta que rebose el cilindro
- **Paso 3.** Se enrazó y se eliminó el material sobrante
- **Paso 4.** Se determinó el peso del recipiente con la muestra enrazada.

- **Paso 5.** Se determinó el peso unitario suelto del agregado fino mediante la siguiente expresión:

$$PUSS = \frac{Peso_{cilindro+muestra} - Peso_{cilindro}}{Volumen_{cilindro}}$$

### **Peso unitario seco compactado**

#### **Materiales**

- Balanza con aproximación y exactitud de 0.1 g o 0.1%
- Varilla de apisonado
- Cilindro con asas
- Pala o cucharón
- Muestra seca (20 kg)

#### **Procedimiento**

- **Paso 1.** Se halló el volumen y peso del cilindro
- **Paso 2.** Se llenó la tercera parte del cilindro con la muestra seca, y se emparejó la superficie con los dedos.
- **Paso 3.** Se apisonó la capa con la barra compactadora con 25 golpes distribuidos uniformemente.
- **Paso 4.** Luego de apisonar la primera capa, se llenó y apisonó las otras terceras partes seguidas de 25 golpes de apisonado con la barra compactadora de igual manera distribuidos uniformemente.
- **Paso 5.** Después de haber llenado y apisonado la última tercera parte del cilindro se enrazó la superficie con la barra compactadora y se determinó su peso.
- **Paso 6.** Para obtener el peso unitario seco compactado del agregado fino se utilizó la expresión matemática del peso unitario suelto de agregado fino.

### Enrasado de agregado fino en cilindro



*Figura 25*

### Determinación de masa de agregado fino enrasado en cilindro



#### **2.5.1.5. Límite líquido**

## **Peso unitario seco suelto**

### **Materiales**

- Malla N°40
- Ranurador o acanalador
- Horno
- Espátula
- Probeta de 100ml
- Cápsula de porcelana
- Taras identificadas
- Muestra seca pasada por la malla N°40
- Agua
- Balanza con aproximación y exactitud de 0.1 g o 0.1%
- Copa Casagrande
- Mortero y mango

### **Procedimiento**

- **Paso 1.** Se pasó la muestra seca por la malla N°40
- **Paso 2.** Se pesó 100 g
- **Paso 3.** Se colocó los 100 g en el mortero y se mezcló con agua
- **Paso 4.** Se mezcló el agua con la muestra hasta obtener una masa homogénea
- **Paso 5.** Se colocó un poco de muestra en la copa Casagrande hasta obtener un espesor de masa de 1 cm aproximadamente
- **Paso 6.** En el centro se hizo una ranura con el acanalador, obteniendo así a la masa dividida en 2 partes.
- **Paso 7** Se golpeó hasta que el suelo dividido en 2 partes se ponga en contacto
- **Paso 8** Se extrajo una porción de suelo y se colocó en una tara para determinar el contenido de humedad.

Muestra en cápsula de porcelana



*Figura 27*

Masa homogénea de muestra



*Figura 28*

Muestra en copa casa grande



*Figura 29*

Muestra ranurada



*Figura 30*

Extracción de muestra de casa grande para determinar el contenido de humedad



#### 2.5.1.6. Límite plástico

##### **Peso unitario seco suelto**

##### **Materiales**

- Una porción de la mezcla preparada que se utilizó en el límite líquido
- Balanza con aproximación y exactitud de 0.1 g o 0.1%
- Estufa
- Cápsula de porcelana
- Placa de vidrio taras identificadas

##### **Procedimiento**

- **Paso 1** A la porción de mezcla preparada para el límite líquido se agregó suelo seco con el fin de bajar su contenido de humedad.
- **Paso 2** Se enrolló la muestra con la mano sobre la placa de vidrio hasta obtener cilindros de 3 mm de diámetro.
- **Paso 3** Se pesó los cilindros de 3 mm de espesor y se puso a la estufa durante 24 horas.
- **Paso 4** Después de haber transcurrido las 24 horas se extrajo la muestra de la estufa y se determinó la masa para determinar el contenido de humedad.

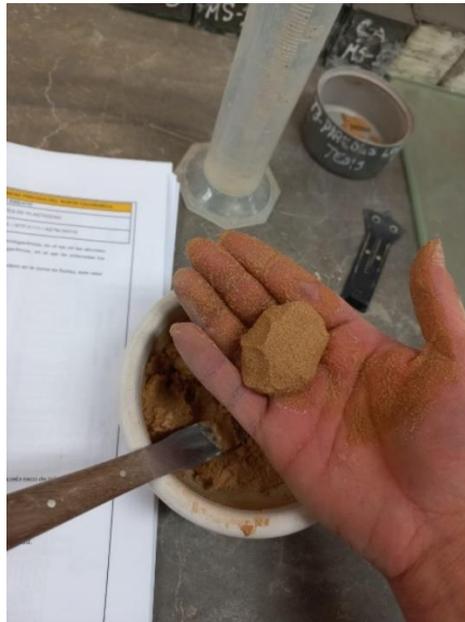
*Figura 31*

Adición de suelo seco para disminuir el contenido de humedad



*Figura 32*

Muestra enrollada



*Figura 33*

## Formación de cilindros de 3mm



### 2.5.2. Procedimiento de recolección de datos de unidades de tabiquería

#### 2.5.2.1. Variación dimensional de la unidad de tabiquería (NTP 399.613)

##### Materiales

- Un vernier
- Unidades de tabiquería

##### Procedimiento

- **Paso 1** Se midió en cada lado de la unidad de tabiquería el largo, ancho y alto con la precisión de 0.01 mm
- **Paso 2** Cada medida se obtuvo como promedio de las cuatro lecturas que se realizó por cada lado.
- **Paso 3** Se calculó la variación utilizando la siguiente expresión:

$$Var = \frac{Long\ fábrica - Prom\ (long\ Efect)}{Long\ fábrica} * 100$$

Figura 34

### Ensayo de variación dimensional de unidades de tabiquería



*Figura 35*

### Variación dimensional del ancho de la unidad de tabiquería



*Figura 36*

### Variación dimensional del largo de la unidad de tabiquería



#### 2.5.2.2. Alabeo de unidad de tabiquería (NTP 399.613)

##### **Materiales**

- Una cuña
- Regla milimétrica
- Unidad de tabiquería

##### **Procedimiento**

- **Paso 1** Se colocó el borde recto de la regla longitudinalmente o sobre la diagonal de las caras mayores de la unidad en estudio.
- **Paso 2** Se introdujo la cuña en el punto correspondiente a la flecha máxima.
- **Paso 3** se realiza la lectura con precisión de 1 mm y se registró el valor obtenido.

*Figura 37*

## Ensayo de alabeo de unidades de tabiquería



*Figura 38*

## Medición de la concavidad o convexidad de unidad de tabiquería



### 2.5.2.3. Absorción de unidad de tabiquería (NTP 399.613)

#### **Materiales**

- Balanza con aproximación y exactitud de 0.1 g o 0.1%
- Unidad de tabiquería seca

#### **Procedimiento**

- **Paso 1** Se secó la muestra.
- **Paso 2** Se pesó la unidad seca y se registró su peso

- **Paso 3** Se introdujo la unidad en agua durante un lapso de 24 horas
- **Paso 4** Se secó el agua retirando el agua superficial y se pesó el peso de la unidad saturada.
- **Paso 5** La absorción se determinó utilizando la siguiente expresión:

$$A = \frac{(P_{sat} - P_{seco})}{P_{seco}} * 100$$

*Figura 39*

Secado de unidades de tabiquería para ensayos de absorción y succión



*Figura 40*

Determinación de peso de unidad de tabiquería para ensayo de absorción



*Figura 41*

Unidades de tabiquería saturadas



*Figura 42*

Secado de agua superficial con franela seca



*Figura 43*

Determinación de masa de unidades de tabiquería saturadas



#### 2.5.2.4. Succión de unidad de tabiquería (NTP 399.613)

##### **Materiales**

- Balanza con aproximación y exactitud de 0.1 g o 0.1%
- Unidad de tabiquería seca
- Bandeja nivelada

##### **Procedimiento**

- **Paso 1** Se secó el espécimen
- **Paso 2** Se colocó en una bandeja nivelada, luego se agregó agua hasta que el nivel de esta sea de 3mm
- **Paso 3** Se dejó reposar por un periodo de 1 minuto, pasado el tiempo se retiró y se secó el agua superficial y se pesó con una aproximación de 0.5 g

*Figura 44*

Medición de altura de agua para ensayo de succión



*Figura 45*

Ensayo de succión de unidad de tabiquería



*Figura 46*

Determinación de masa de unidad mojada



*Figura 47*

### Unidades de tabiquería ensayadas a succión



#### 2.5.2.5. Resistencia a la compresión de unidad de tabiquería (NTP 399.613)

##### Materiales

- Un vernier
- Muestra a romper

##### Procedimiento

- **Paso 1** Se midió el ancho y largo de la cara del espécimen, en donde se aplicó la carga, y también se midió la altura
- **Paso 2** Se colocó en la máquina para ser sometido a cargas
- **Paso 3** Se aplicó cargas constantes hasta que llegue al punto de ruptura, anotando las deformaciones para las diferentes cargas aplicadas.

*Figura 48*

Aplicación de mezcla a base de yeso para uniformizar la carga que recibirá la unidad de tabiquería en el ensayo a compresión



*Figura 49*

Rotura de unidades de tabiquería – Resistencia a la compresión



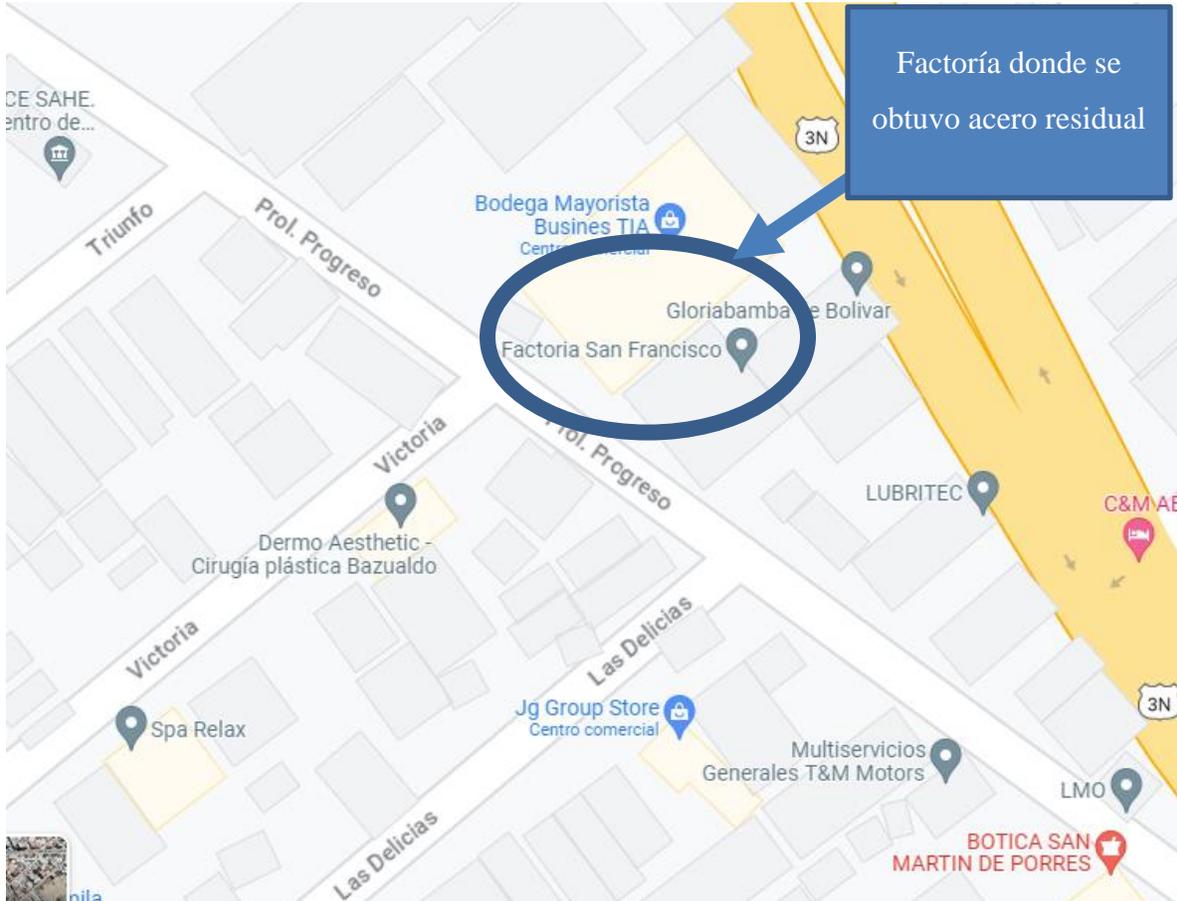
### **2.5.3. Procedimiento de recolección de datos de residuos de acero**

#### **2.5.3.1. Obtención de residuos de acero**

Se obtuvo los residuos de acero de la factoría y rectificaciones San Francisco que se detalla en el siguiente croquis

Figura 50

Ubicación de factoría donde se obtuvo el acero residual



- Para esta investigación se consideró acero residual que pasa por el tamiz N°40, obteniendo los porcentajes de adición que corresponden a 1%, 3% y 5% para concreto celular.

Figura 51

### Tamizaje de acero residual



*Figura 52*

### Acero residual tamizado



*Figura 53*

## Dosificaciones de acero residual para adicionar a concreto celular



### **2.5.4. Procedimiento de elaboración de unidades de tabiquería de concreto celular con adición de acero residual en 1%, 3% y 5%.**

#### **Materiales**

- Molde para unidad de ladrillo artesanal
- Mesa vibradora
- Carretilla
- Mezcladora de concreto tipo trompo
- Agregado fino
- Residuos de acero que pasa por el tamiz N°40
- Cemento Pacasmayo para prefabricados
- Jabón líquido
- Taladro
- Balde de 20 litros
- Probeta de 100ml
- Revolvedor de pintura

#### **Procedimiento**

- **Paso 1** En la probeta se midió 80 ml de jabón líquido y se vació en el balde en el cual se generará la espuma.
- **Paso 2** Se Incorporó 1 litro de agua al balde y se comenzó a batir con la ayuda del taladro y el revolvedor de pintura. Se batió hasta llenar el balde de espuma.

*Figura 54*

Materiales y equipos que se utilizó para generar espuma



*Figura 55*

80 ml de jabón líquido para la generación de espuma



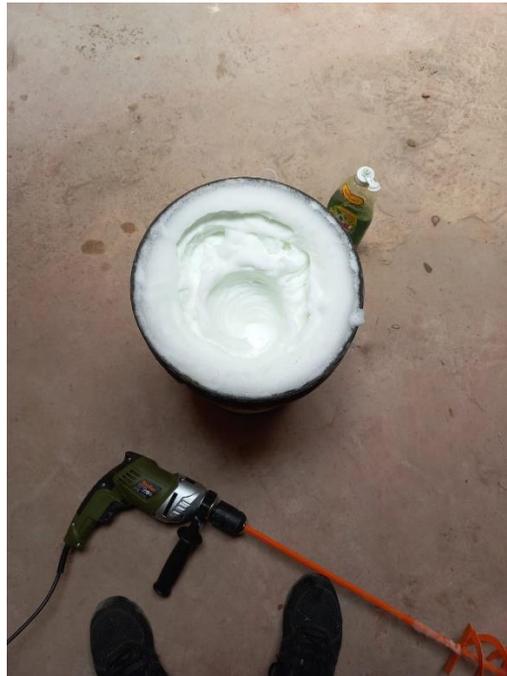
*Figura 56*

### Generación de espuma



*Figura 57*

### Espuma generada



- **Paso 3** En la mezcladora se mezcló la proporción indicada en el diseño de mezcla de agua, cemento, agregado fino y espuma; para esta investigación se realizó mezcla patrón que viene a estar conformada por agua, cemento, agregado fino y espuma (concreto celular); mientras que las otras mezclas se adicionarán acero residual en los porcentajes de 1%, 3% y 5%

*Figura 58*

Dosificación de espuma y de cemento



*Figura 59*

Dosificación de agregado fino



*Figura 60*

Mezcla de concreto celular



*Figura 61*

Mezcla lista para elaboración de unidades de tabiquería



*Figura 62*

Incorporación de acero residual



- **Paso 4** Luego se transportó la mezcla a lado de la mesa vibratoria para empezar a moldear las unidades de tabiquería con la ayuda del molde, compactando y enrasando.

*Figura 63*

Moldeado de unidades de tabiquería



- **Paso 5** Se procedió a dejar los ladrillos en una superficie limpia y nivelada para su respectivo secado

*Figura 64*

Unidades de tabiquería listas para secar



- **Paso 6** De la misma manera se procedió a elaborar las unidades de tabiquería con la adición de acero residual.

*Figura 65*

Unidades de tabiquería en estado fresco



*Figura 66*

Curado de unidades de tabiquería



*Figura 67*

Extracción de unidades de tabiquería listos para determinar sus propiedades físico mecánicas



#### **2.5.5. Aspectos éticos**

Los aspectos éticos que se tomó en cuenta para la presente investigación fueron los siguientes: El autor respetó la política anti plagio de la Universidad Privada del Norte, la información que se utilizó de otros autores fue citada mediante el formato APA séptima edición, al mismo tiempo cierta información utilizada no fue alterada.

## CAPÍTULO III: RESULTADOS

Se presenta el estudio del agregado fino que se utilizó para la elaboración de las unidades de tabiquería, los cuales se detallan a continuación:

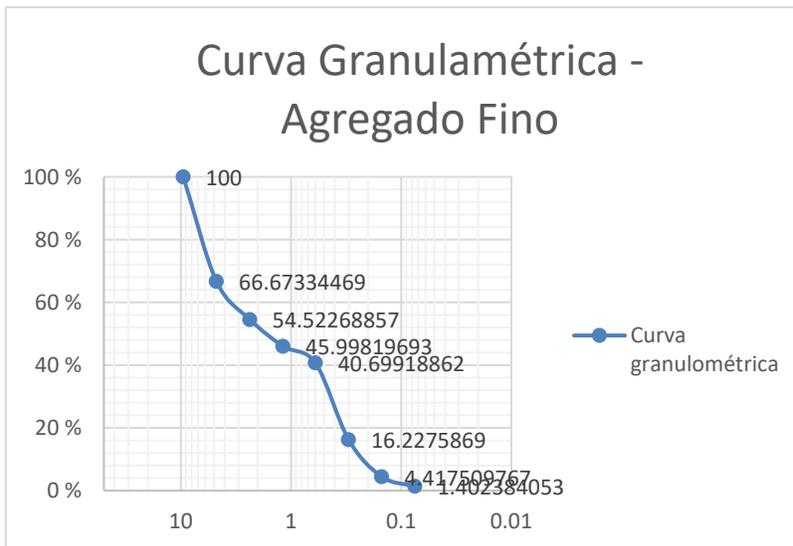
### 3.1. Agregado fino

#### 3.1.1. Granulometría

Se presenta la curva granulométrica del agregado fino que se generó los datos obtenidos en el ensayo de granulometría.

Figura 68

Curva granulométrica de agregado fino



#### 3.1.2. Contenido de humedad

---

Promedio de contenido de humedad (%)	0.749
--------------------------------------	-------

---

**3.1.3. Peso unitario de agregado fino**

Descripción	Unidad	Dimensión
Peso unitario compactado	Kg/m <sup>3</sup>	2912.94
Peso unitario suelto	Kg/m <sup>3</sup>	2738.90

**3.1.4. Peso específico de agregado fino**

Descripción	Unidad	Dimensión
Promedio de peso específico	Gr/cm <sup>3</sup>	2.591
Absorción	%	1.24

**3.1.5. Límites de plasticidad**

Descripción	Unidad	Dimensión
Límite líquido	%	19.32
Límite plástico	%	13.34

**3.2. Diseño de mezcla de concreto celular**

Para el diseño de mezcla de concreto celular se diseñó cumpliendo con lo establecido en la norma ACI 523.3R-93 – Guía para concretos celulares por encima de 50 pfc.

SE DESEA ELABORAR UN M3 DE CONCRETO CELULAR QUE CUENTE CON  
UN PESO UNITARIO EN ESTADO FRESCO DE 1120 KG/M3 PARA OBTENER UN  
PESO UNITARIO ENDURECIDO DE 1000 KG/M3

PESO UNITARIO EN ESTADO FRESCO	KG/M3	1120
PESO UNITARIO EN ESTADO ENDURECIDO	KG/M3	1000
RENDIMIENTO DE ESPUMA		0.91
DENSIDAD DE LA ESPUMA	KG/M3	70
PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO	GR/CM3	3.12
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA ARENA	GR/CM3	2.59
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA ARENA	%	0.749
ABSORCIÓN DE LA ARENA	%	1.24
DENSIDAD DEL AGUA	KG/M3	999.7

1. CALCULAMOS FUERZA A COMPRESIÓN DESEADA

e	2.718282	
F'c	3.068505	Mpa
F'c	31.29016	Kg/cm2

$$f'c = 0.34e^{0.0022\gamma_s}$$

2. ASUMIMOS LA RELACIÓN a/c=0.5 ESTANDO DENTRO DEL RANGO DE 0.45-  
0.60, SEGÚN ACI 523 3R

a/c	0.5
-----	-----

3. CALCULAMOS LA RELACIÓN ar/c (ARENA CEMENTO) USANDO:

ar/c	1.295652
------	----------

$$\frac{ar}{c} = \frac{\gamma_f - 673}{345}$$

4. CALCULAMOS EL PESO UNITARIO EN ESTADO ENDURECIDO DEL  
CONCRETO CELULAR

$$\gamma_s = \gamma_f - 122$$

Ys 998 kg/m<sup>3</sup>

5. CALCULAMOS EL CONTENIDO DE CEMENTO

C 400.6221 kg  $C = \frac{\gamma_f}{1 + a/c + s/c}$

6. CALCULAMOS LA CANTIDAD DE ARENA

Ar 519.0669 kg/m<sup>3</sup>  $\frac{Ar}{C} = 1.30$

7. CALCULAMOS LA CANTIDAD DE AGUA DE DISEÑO

A 200.311 kg/m<sup>3</sup>  $\frac{A}{C} = 0.5$

8. CALCULAMOS EL VOLÚMEN ABSOLUTO DE LOS SÓLIDOS  
 (CEMENTO, ARENA Y AGUA)

VA 0.529188 m<sup>3</sup>  $V_A = \frac{C}{G_c \times \gamma_w} + \frac{A}{\gamma_w} + \frac{Ar}{OD \times \gamma_w}$

9. CALCULAMOS VOLUMEN DE AIRE REQUERIDO POR UNIDAD DE  
 VOLUMEN

Av 0.470812 m<sup>3</sup>

10. CALCULAMOS VOLUMEN DE ESPUMA REQUERIDA

VF 0.517376 m<sup>3</sup>  $V_F = \frac{A_v}{R}$

11. CALCULAMOS EL PESO DE LA ESPUMA REQUERIDA

F 36.21634 kg/m<sup>3</sup>  $F = V_F \times \gamma_e$

12. AJUSTAMOS LA CANTIDAD DE AGUA DE DISEÑO DEBIDO AL AGUA EN  
 LA ESPUMA Y AGUA EN LA ARENA

Agua en la espuma

Ae 36.21634 kg/m<sup>3</sup>

Agua en la arena

$$Aa = Ar * \left( \frac{W - A}{100} \right)$$

Aa	-2.54862	kg/m <sup>3</sup>
Agua final de la mezcla	$A_m = A - A_e - A_a$	
Am	166.6433	kg/m <sup>3</sup>

13. CANTIDAD CORRECTA DE ARENA  $S_c = S + A_e$

Sc	516.5183	kg/m <sup>3</sup>
----	----------	-------------------

14. LAS PROPORCIONES DE LA MEZCLA POR METRO CÚBICO AJUSTADAS SON

Cemento	400.6221	kg/m <sup>3</sup>
Agua	166.6433	kg/m <sup>3</sup>
Arena	516.5183	kg/m <sup>3</sup>
Espuma	36.21634	kg/m <sup>3</sup>

### 3.3. Unidades de tabiquería

#### 3.3.1. Variación dimensional

**Tabla 4**

Variación dimensional para unidades de tabiquería (muestra patrón) de acero residual

Dimensiones de fábrica	Largo: 230 mm	Ancho: 120 mm	Alto: 95 mm
------------------------	---------------	---------------	-------------

UND	Longitud Efectiva (mm)					Ancho Efectiva (mm)					Altura Efectiva (mm)				
	L1	L2	L3	L4	Lo	A1	A2	A3	A4	Ao	H1	H2	H3	H4	Ho
VD-01	229.72	230.36	229.40	228.78	229.57	120.90	121.08	120.24	120.50	120.68	97.20	99.22	94.20	93.44	96.02
VD-02	228.04	225.48	226.14	227.12	226.70	119.12	118.76	119.96	119.88	119.43	94.40	95.48	95.60	94.48	94.99
VD-03	228.44	228.42	228.38	228.98	228.56	119.22	119.24	120.98	119.88	119.83	95.72	95.08	95.36	95.38	95.39

V% LONGITUD	VD-01	0.189	V% ANCHO	VD-01	0.567	V% ALTURA	VD-01	1.068
	VD-02	1.437		VD-02	0.475		VD-02	0.011
	VD-03	0.628		VD-03	0.142		VD-03	0.405
V% PROMEDIO	0.75		V% PROMEDIO	0.39		V% PROMEDIO	0.49	





Figura 71

Variación Dimensional De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 3% De Adición De Acero Residual

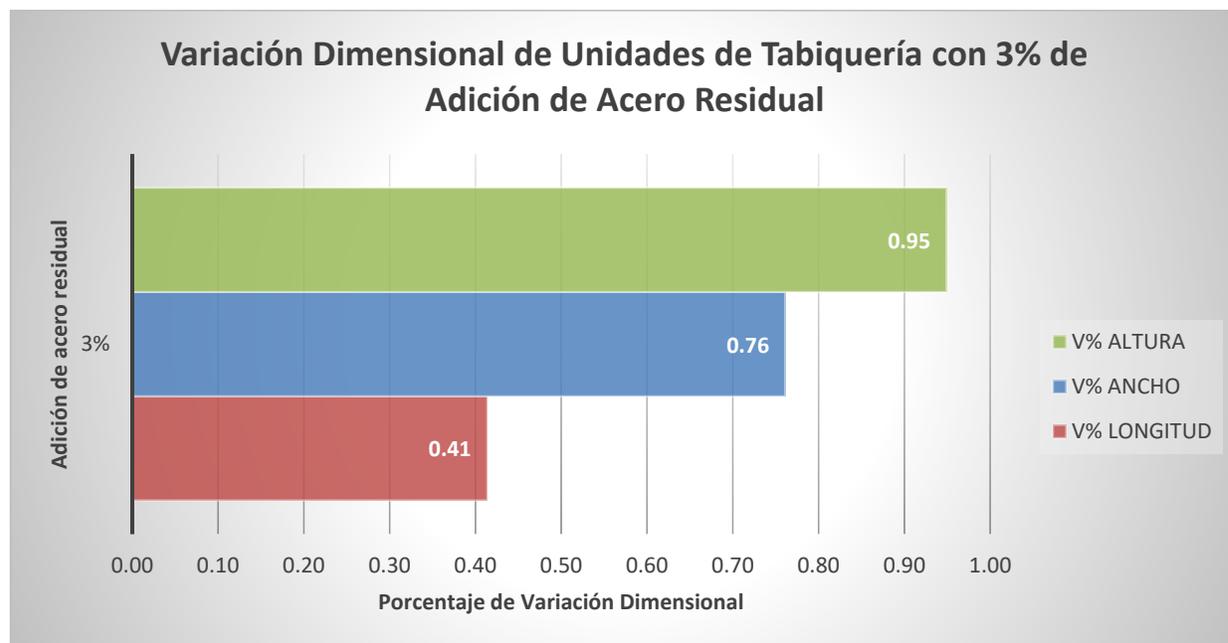


Tabla 7

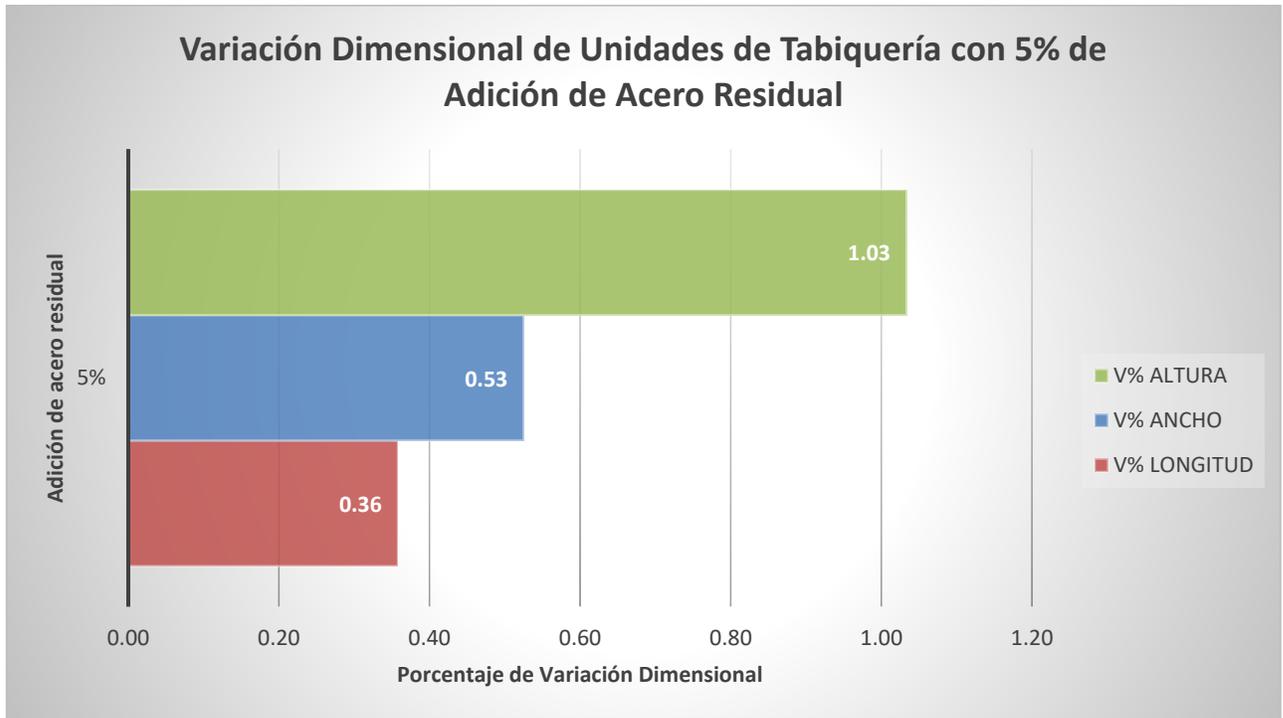
Variación dimensional para unidades de tabiquería con 5% de adición de acero

Dimensiones de fábrica Largo: 230 mm Ancho 120 mm Alto 95 mm

UND	Longitud Efectiva (mm)					Ancho Efectiva (mm)					Altura Efectiva (mm)				
	L1	L2	L3	L4	Lo	A1	A2	A3	A4	Ao	H1	H2	H3	H4	Ho
VD-01	229.38	229.98	230.02	230.60	230.00	120.86	121.68	121.58	121.28	121.35	94.58	96.88	96.60	95.28	95.84
VD-02	228.68	228.62	228.82	229.02	228.79	119.40	120.04	119.48	119.52	119.61	94.44	94.06	92.68	90.88	93.02
VD-03	229.28	228.98	228.32	228.42	228.75	119.98	120.28	120.48	119.86	120.15	96.78	95.58	94.12	94.02	95.13
				V% LONGITUD	VD-01 0.002					VD-01 1.125				V% ANCHO	VD-01 0.879
					VD-02 0.528					VD-02 0.325					VD-02 2.089
					VD-03 0.543					VD-03 0.125					VD-03 0.132
				V% PROMEDIO	0.358					V% PROMEDIO 0.525					V% PROMEDIO 1.033

Figura 72

Variación Dimensional De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 5% De Adición De Acero Residual



### 3.3.2. Alabeo

Tabla 8

Alabeo para unidades de tabiquería sin adición de acero residual

Especimen	CARA 1		CARA 2	
	Cóncavo mm	Convexo mm	Cóncavo mm	Convexo mm
Alabeo 01	1	1.5	1	3.5
Alabeo 02	0.5	1	0.5	2
Alabeo 03	0.5	0.5	1.5	2
Promedio	Cóncavo	0.83		
	Convexo	1.75		

Figura 73

Alabeo De Unidades Para Muros De Tabiquería (muestra patrón) De Acero Residual

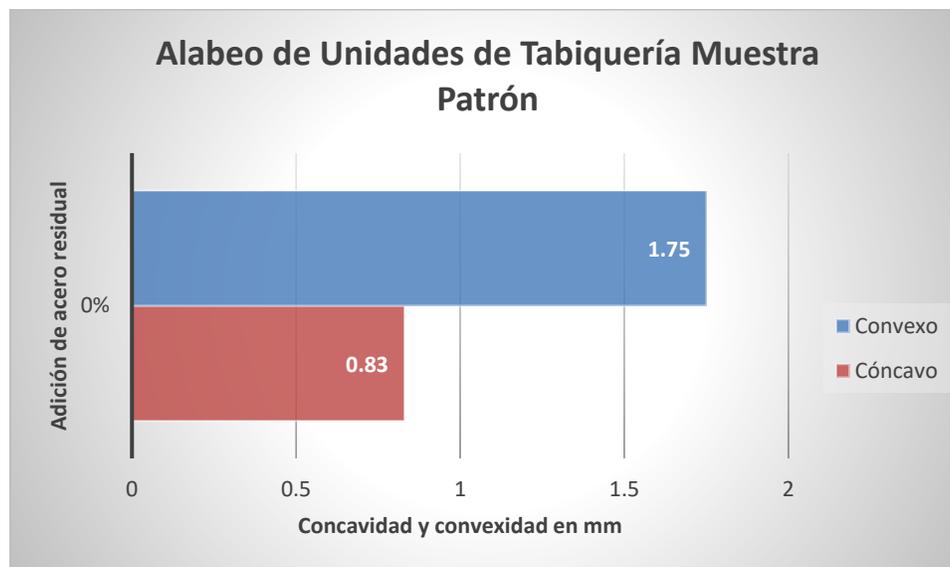


Tabla 9

Alabeo para unidades de tabiquería con 1% de adición de acero

Especímen	CARA 1		CARA 2	
	Cóncavo mm	Convexo mm	Cóncavo mm	Convexo mm
Alabeo 01	0.5	1	1	1
Alabeo 02	1	1	0.5	2.5
Alabeo 03	0.5	0.5	0.5	1.5
Promedio	Cóncavo	0.67		
	Convexo	1.25		

Figura 74

Alabeo De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 1% De Adición De Acero Residual

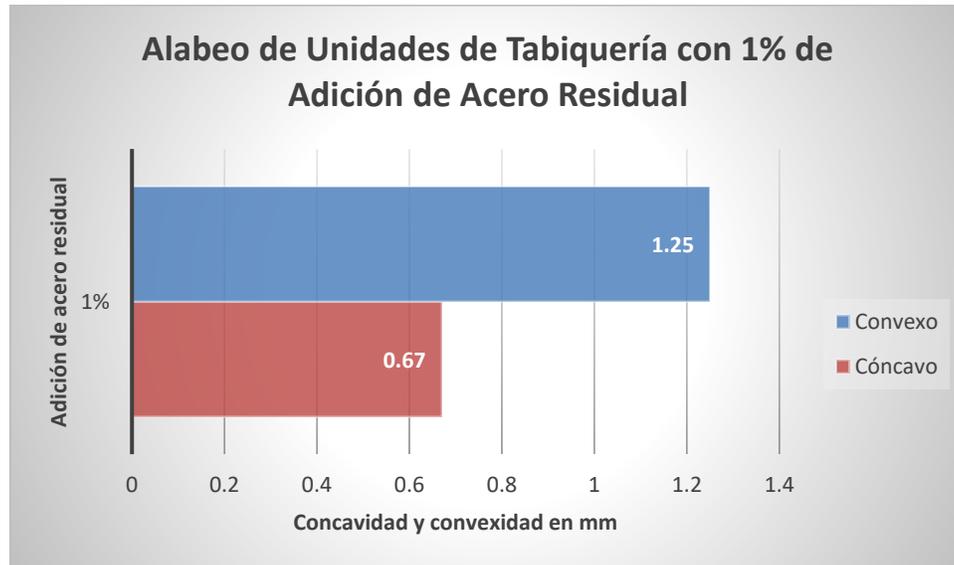


Tabla 10

Alabeo para unidades de tabiquería con 3% de adición de acero

Especímen	CARA 1		CARA 2	
	Cóncavo mm	Convexo mm	Cóncavo mm	Convexo mm
Alabeo 01	1	1.5	1.5	2
Alabeo 02	1.5	1	0.5	2
Alabeo 03	0.5	1	1	1.5
Promedio	Cóncavo	1		
	Convexo	1.5		

Figura 75

Alabeo De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 3% De Adición De Acero Residual

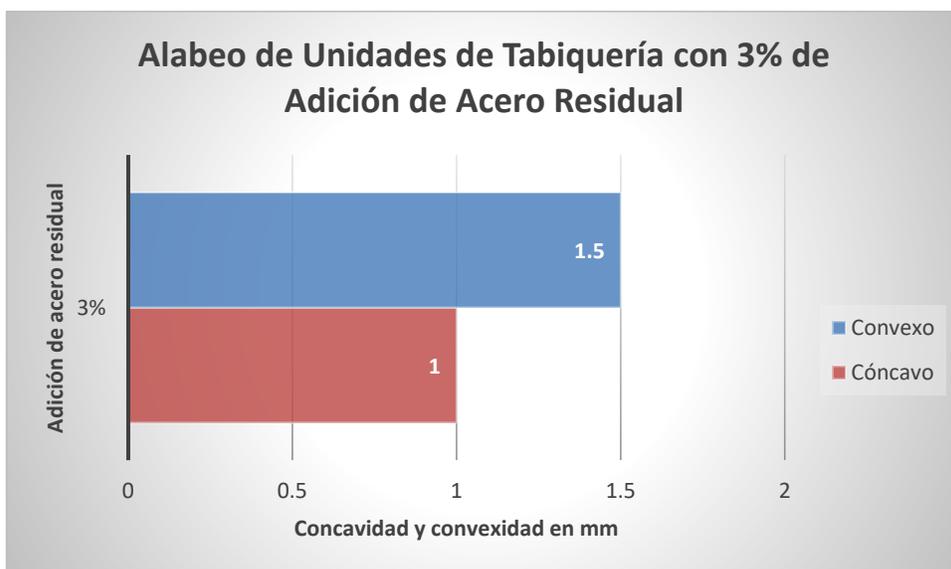


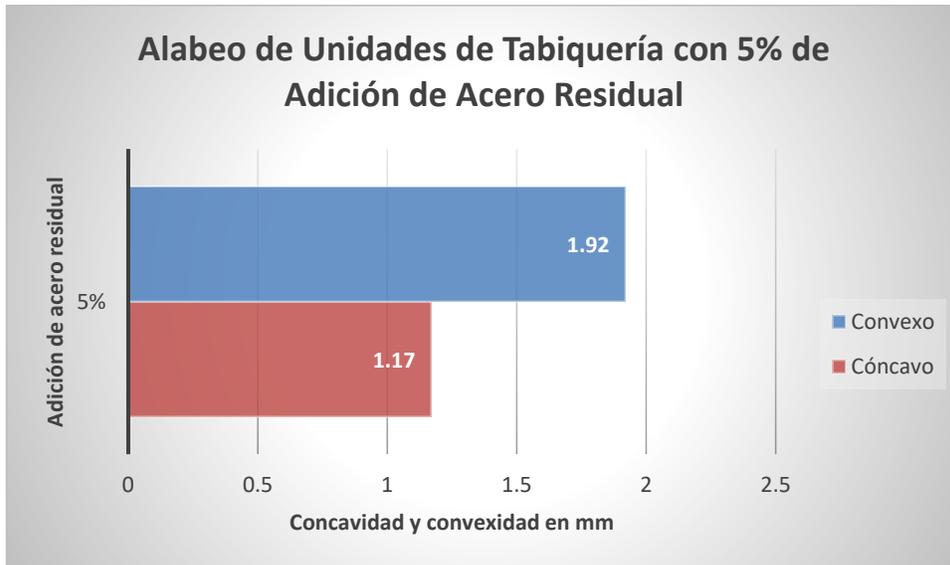
Tabla 11

Alabeo para unidades de tabiquería con 5% de adición de acero

Especímen	CARA 1		CARA 2	
	Cóncavo mm	Convexo mm	Cóncavo mm	Convexo mm
Alabeo 01	1.5	1	1	3
Alabeo 02	0.5	1	1.5	2.5
Alabeo 03	0.5	0.5	2	3.5
Promedio	Cóncavo	1.17		
	Convexo	1.92		

Figura 76

Alabeo De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 5% De Adición De Acero Residual



### 3.3.3. Absorción

Tabla 12

Absorción para unidades de tabiquería sin adición de acero residual

UNIDAD	W (kg)	Wd (kg)	Absorción (%)
Abs 01	5.438	5.4	0.7
Abs 02	5.441	5.4	0.76
Abs 03	5.4289	5.38	0.91
Absorción promedio (%)			0.79

Figura 77

Absorción De Unidades Para Muros De Tabiquería (muestra patrón) De Acero Residual

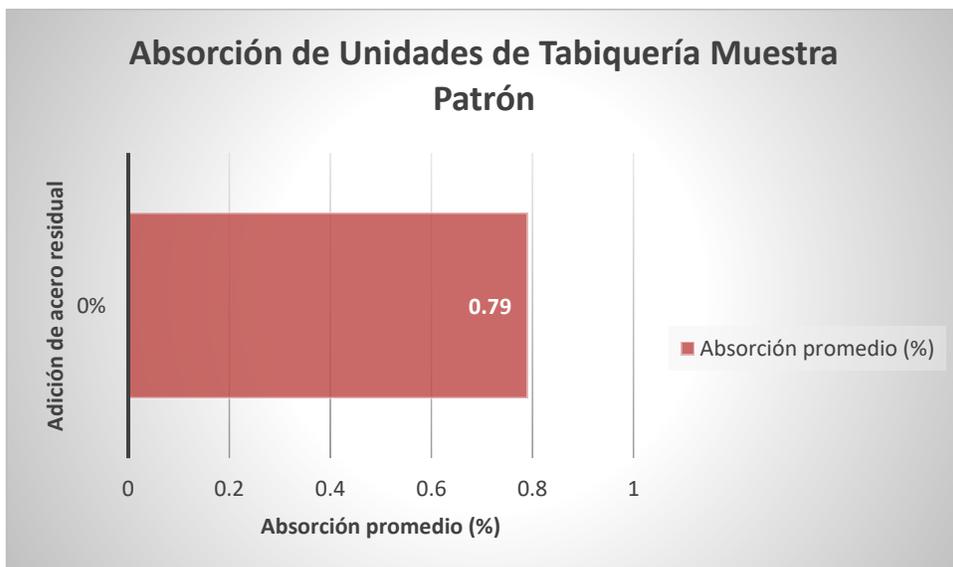


Tabla 13

Absorción para unidades de tabiquería con 1% de adición de acero

UNIDAD	W (kg)	Wd (kg)	Absorción (%)
Abs 01	5.473	5.44	0.61
Abs 02	5.3926	5.36	0.61
Abs 03	5.4161	5.38	0.67
Absorción promedio (%)			0.63

Figura 78

Absorción De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 1% De Adición De Acero Residual

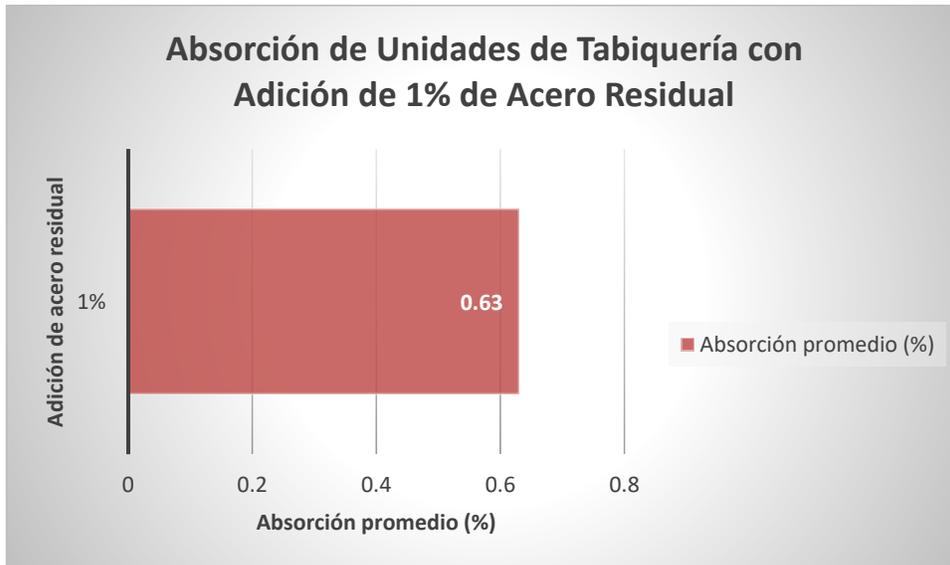


Tabla 14

Absorción para unidades de tabiquería con 3% de adición de acero

UNIDAD	W (kg)	Wd (kg)	Absorción (%)
Abs 01	5.5973	5.54	1.03
Abs 02	5.5176	5.48	0.69
Abs 03	5.5377	5.5	0.69
Absorción promedio (%)			0.80

Figura 79

Absorción De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 3% De Adición De Acero Residual

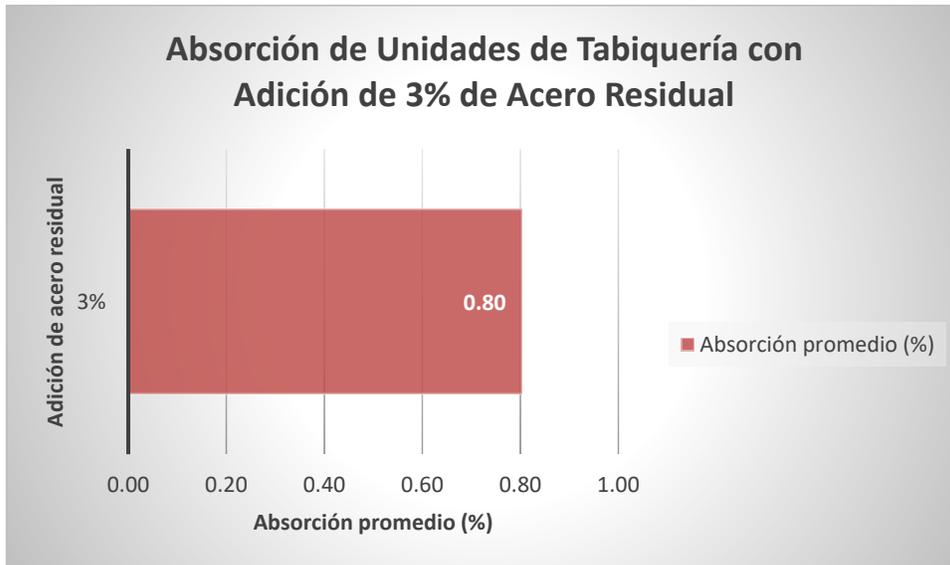


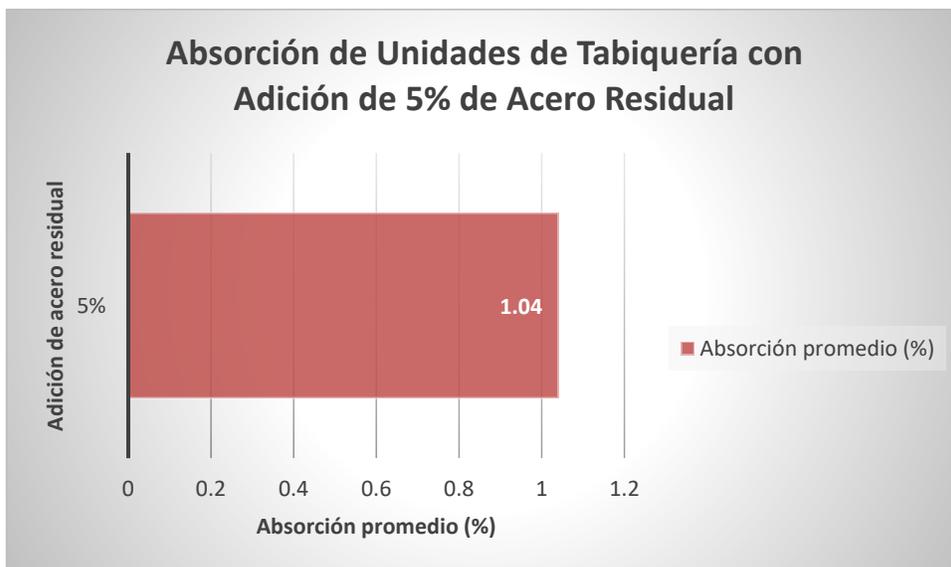
Tabla 15

Absorción para unidades de tabiquería con 5% de adición de acero

UNIDAD	W (kg)	Wd (kg)	Absorción (%)
Abs 01	5.7201	5.66	1.06
Abs 02	5.663	5.6	1.13
Abs 03	5.6321	5.58	0.93
Absorción promedio (%)			1.04

Figura 80

Absorción De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 5% De Adición De Acero Residual



### 3.3.4. Succión

Tabla 16

Succión para unidades de tabiquería sin adición de acero residual

UNIDAD	P seco (g)	P mojado (g)	A (cm)	L (cm)	SUCCIÓN
Succión 01	5257.7	5265.3	12.048	22.668	5.57
Succión 02	5226.8	5230.5	11.982	22.706	2.72
Succión 03	5304.1	5307.9	12.058	22.752	2.77
Succión promedio (g/min/200cm <sup>2</sup> )					3.69

Figura 81

Succión De Unidades Para Muros De Tabiquería (muestra patrón) De Acero Residual

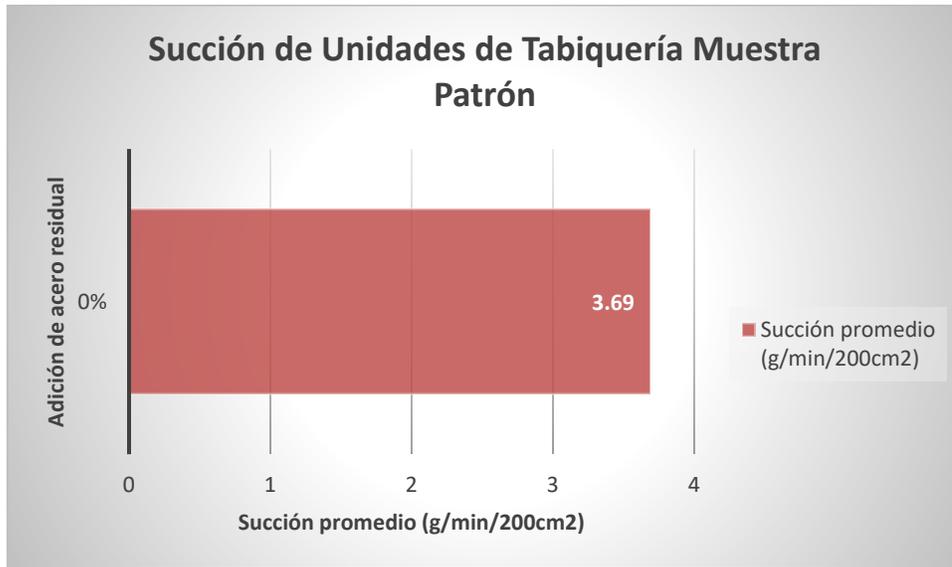


Tabla 17

Succión para unidades de tabiquería con 1% de adición de acero

UNIDAD	P seco (g)	P mojado (g)	A (cm)	L (cm)	SUCCIÓN
Succión 01	5356.5	5359.9	12.266	22.968	2.41
Succión 02	5393.2	5395.8	12.146	22.912	1.87
Succión 03	5333.1	5335.5	11.912	22.812	1.77
Succión promedio (g/min/200cm <sup>2</sup> )					2.02

Figura 82

Succión De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 1% De Adición De Acero Residual

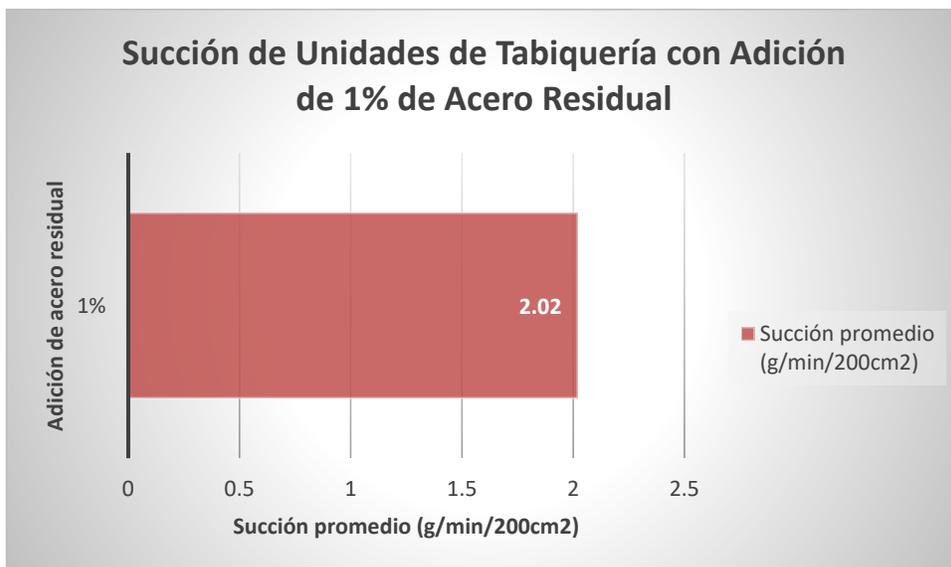


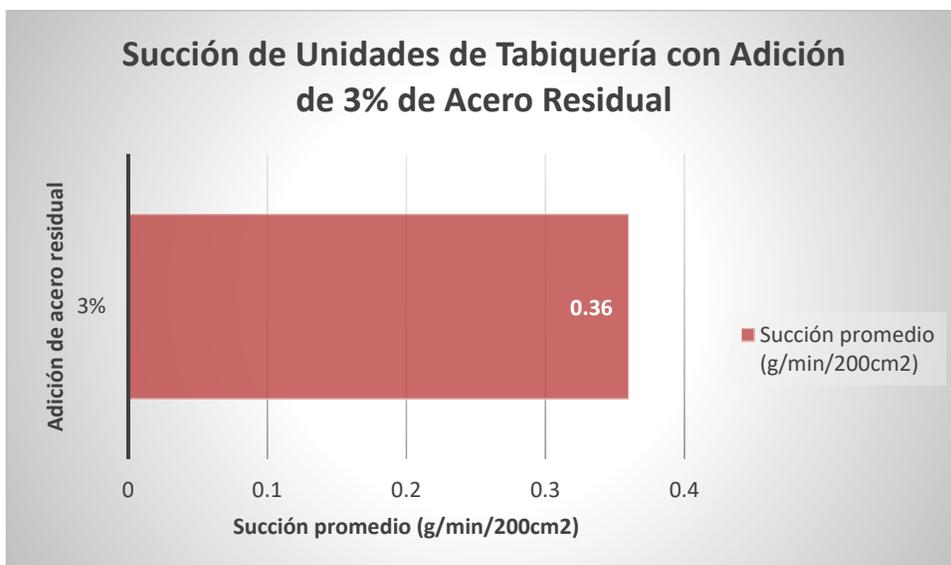
Tabla 18

Succión para unidades de tabiquería con 3% de adición de acero

UNIDAD	P seco (g)	P mojado (g)	A (cm)	L (cm)	SUCCIÓN
Succión 01	5407.4	5407.8	12.148	22.892	0.29
Succión 02	5470.5	5470.7	12.216	22.92	0.14
Succión 03	5528.3	5529.2	12.226	22.908	0.64
Succión promedio (g/min/200cm <sup>2</sup> )					0.36

Figura 83

Succión De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 3% De Adición De Acero Residual



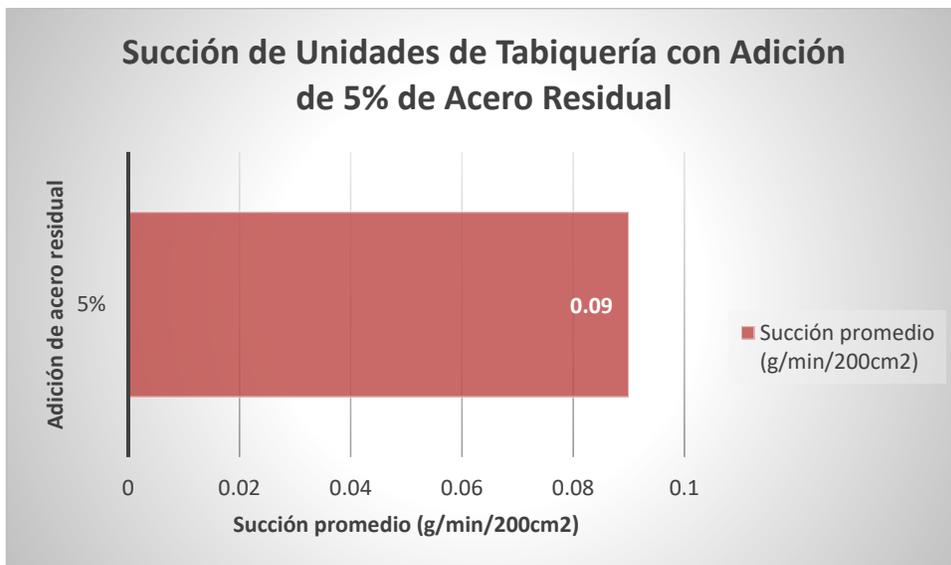
**Tabla 19**

Succión para unidades de tabiquería con 5% de adición de acero

UNIDAD	P seco (g)	P mojado (g)	A (cm)	L (cm)	SUCCIÓN
Succión 01	5663.9	5664.1	12.256	23.034	0.14
Succión 02	5550.4	5550.5	12.078	22.988	0.07
Succión 03	5639.7	5639.8	12.194	23.082	0.07
Succión promedio (g/min/200cm <sup>2</sup> )					0.09

*Figura 84*

Succión De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 5% De Adición De Acero Residual



### 3.3.5. Resistencia a la compresión

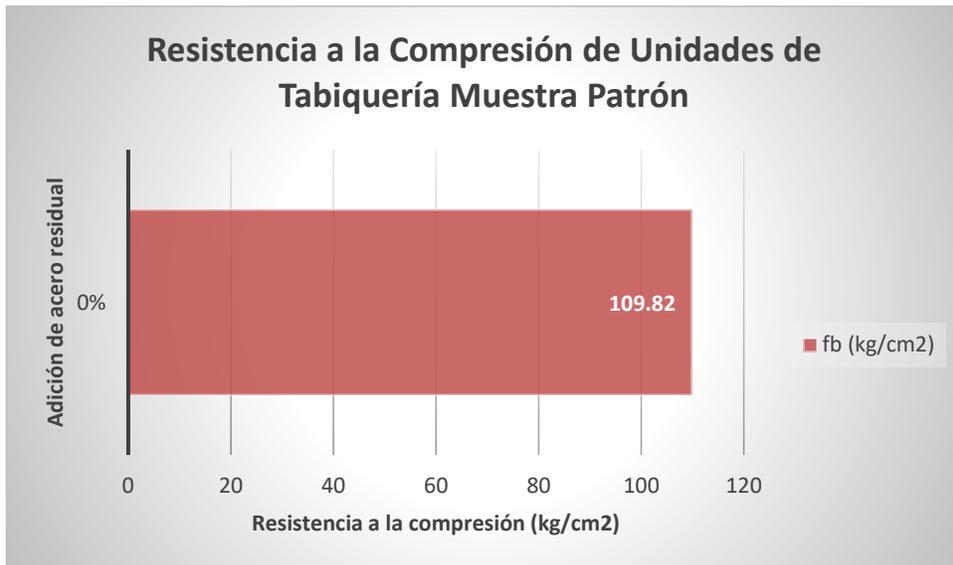
Tabla 20

Resistencia a la compresión para unidades de tabiquería sin adición de acero residual

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA UNIDAD DE TABIQUERÍA						
ESPÉCIMEN	Lo (mm)	Ao (mm)	Ho (mm)	Carga Máx(kg)	Ab (cm <sup>2</sup> )	fb (kg/cm <sup>2</sup> )
RC 01	22.802	11.982	9.164	47080	273.21	172.32
RC 02	22.962	12.096	9.324	44665	277.75	160.81
RC 03	22.912	11.998	9.758	37329	274.9	135.79
RC 04	22.982	12.052	9.528	30572	276.98	110.38
RC 05	22.868	12.03	9.646	30550	275.1	111.05
fb promedio						138.07
Desviación estándar						28.25
Coeficiente de variación						25.72
fb (kg/cm <sup>2</sup> )						109.82

Figura 85

Resistencia a la Compresión De Unidades Para Muros De Tabiquería (muestra patrón) De Acero Residual



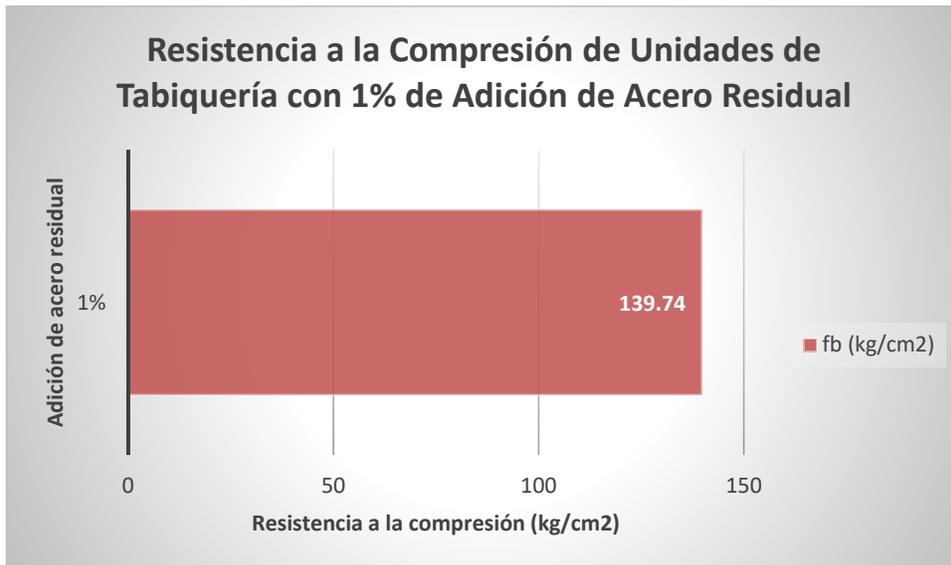
**Tabla 21**

Resistencia a la compresión para unidades de tabiquería con 1% de adición de acero

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA UNIDAD DE TABIQUERÍA						
ESPÉCIMEN	Lo (mm)	Ao (mm)	Ho (mm)	Carga Máx(kg)	Ab (cm2)	fb (kg/cm2)
RC 01	23.054	12.128	9.486	40585	279.6	145.15
RC 02	23.01	12.078	9.344	63989	277.91	230.25
RC 03	23.046	12.108	9.204	51269	279.04	183.73
RC 04	23.038	12.088	9.696	38997	278.48	140.04
RC 05	23.008	12.108	9.212	50443	278.58	181.07
fb promedio						176.05
Desviación estándar						36.31
Coeficiente de variación						25.98
fb (kg/cm2)						139.74

*Figura 86*

Resistencia a la Compresión De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 1% De Adición De Acero Residual



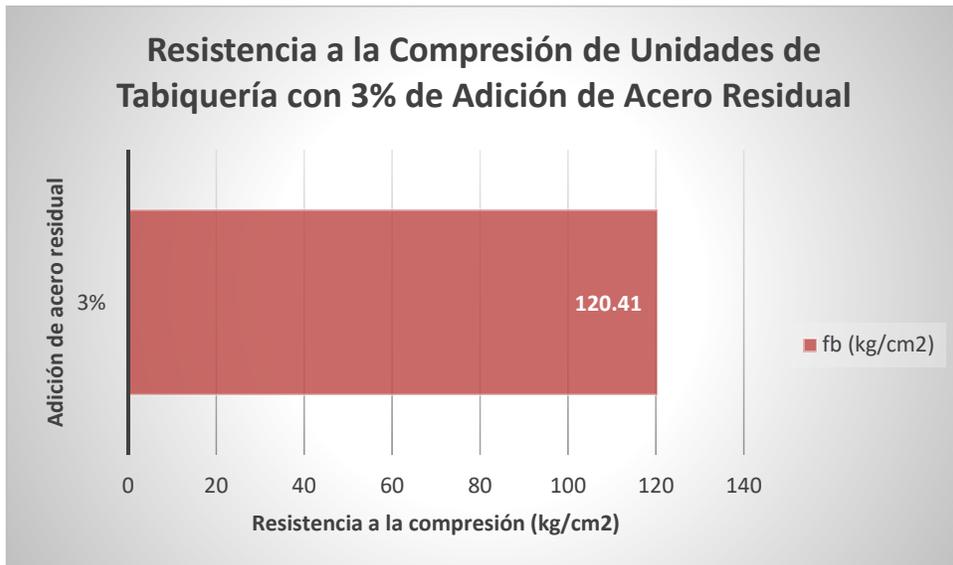
**Tabla 22**

Resistencia a la compresión para unidades de tabiquería con 3% de adición de acero

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA UNIDAD DE TABIQUERÍA						
ESPÉCIMEN	Lo (mm)	Ao (mm)	Ho (mm)	Carga Máx(kg)	Ab (cm <sup>2</sup> )	fb (kg/cm <sup>2</sup> )
RC 01	23.044	12.144	9.058	30324	279.85	108.36
RC 02	23.02	12.128	9.526	39169	279.19	140.3
RC 03	23.276	12.128	9.176	40247	282.29	142.57
RC 04	23.22	12.086	9.568	43066	280.64	153.46
RC 05	23.028	12.028	9.006	39509	276.98	142.64
fb promedio						137.47
Desviación estándar						17.06
Coeficiente de variación						14.17
fb (kg/cm <sup>2</sup> )						120.41

*Figura 87*

Resistencia a la Compresión De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 3% De Adición De Acero Residual



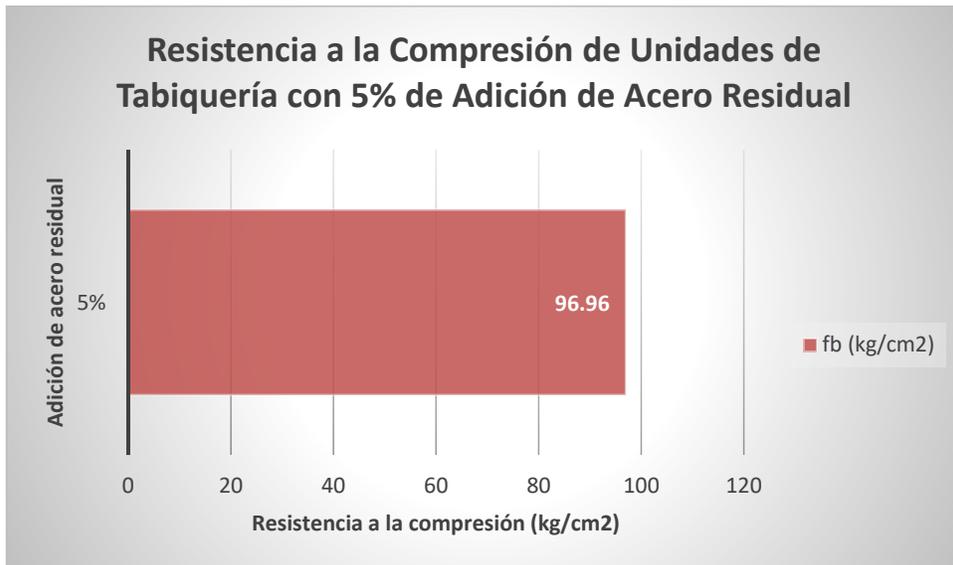
**Tabla 23**

Resistencia a la compresión para unidades de tabiquería con 5% de adición de acero

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA UNIDAD DE TABIQUERÍA						
ESPÉCIMEN	Lo (mm)	Ao (mm)	Ho (mm)	Carga Máx(kg)	Ab (cm <sup>2</sup> )	fb (kg/cm <sup>2</sup> )
RC 01	23.058	12.124	8.972	43069	279.56	154.06
RC 02	22.998	12.138	9.116	29758	279.15	106.6
RC 03	23.056	12.148	9.402	50823	280.08	181.46
RC 04	23.076	12.176	9.064	23457	280.97	83.49
RC 05	13.178	12.22	9.076	28156	161.04	174.84
fb promedio						140.09
Desviación estándar						43.13
Coeficiente de variación						44.48
fb (kg/cm <sup>2</sup> )						96.96

*Figura 88*

Resistencia a la Compresión De Unidades Para Muros De Tabiquería Con 5% De Adición De Acero Residual



### 3.4. Pesos y Pesos Específicos de Unidades de tabiquería

**Tabla 24**

Disminución de peso al utilizar unidad de tabiquería de concreto celular

ESPECIMEN	Peso seco (g) de ladrillo de concreto	Peso seco de Und. Tabiquería de concreto celular	% Disminución de peso
L 01	5543.5	5257.7	5.16
L 02	5634.9	5226.8	7.24
L 03	5552.4	5304.1	4.47
L 04	5558.1	5380	3.20
L 05	5511.4	5400	2.02
PROMEDIO (%)			4.42

**Tabla 25**

Disminución de peso específico al utilizar unidad de tabiquería de concreto celular

ESPECIMEN	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Peso específico de Und. Tabiquería de concreto celular (kg/m <sup>3</sup> )	% Disminución de peso
L 01	2107.43	1998.78	5.16
L 02	2142.18	1987.03	7.24
L 03	2110.81	2016.42	4.47
L 04	2112.98	2045.27	3.20
L 05	2095.23	2052.88	2.02
PROMEDIO			4.42

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

Las implicancias de la investigación prácticas como teóricas con respecto a los resultados obtenidos y analizados nos brindan información y conocimiento sobre la utilización de unidades de tabiquería elaboradas de concreto celular adicionado con acero residual en los porcentajes de 1%, 3% y 5% contribuyendo básicamente a aligerar el peso de la estructura y mejorar el desempeño sísmico de la estructura y cumpliendo con los criterios técnicos para la elaboración de muros no portantes o muros de tabiquería que estipula la norma E.070 de albañilería.

Por otro lado, también se tuvo como limitaciones básicamente la realización de la espuma preformada en generador de espuma, la obtención de aditivo espumante para la elaboración de concreto celular, ya que no se encontró en los distribuidores autorizados y también el acceso a algunas investigaciones científicas.

Como delimitación tenemos que la evaluación que se realizó para unidades de tabiquería con adición de acero residual en los porcentajes de 1%, 3% y 5% será para fines no estructurales, ya que los muros de tabiquería cumplen la función no estructural de dividir ambientes de otros, mas no soportar cargas que la de su propio peso.

En el estudio de BARCIA & LINDAO, 2020 determinan las propiedades físico mecánicas de concreto celular aireado como absorción de 47.13%, resistencia a la compresión de 26.41 kg/cm<sup>2</sup>; mientras que en la presente investigación se determinó una absorción de 0.79% para unidades sin adición de acero residual, 0.63% con 1% de adición de acero residual, 0.8% para 3% de adición de acero residual y 1.04% para 5% de adición de acero residual estando los valores por debajo de la investigación citada; lo que indica que las unidades de tabiquería con concreto celular de la presente investigación son considerablemente menos porosas que la del estudio de BARCIA & LINDAO. Por otro lado, se determinaron resistencias a la compresión de 109.82 kg/cm<sup>2</sup> sin adición de acero residual, 139.74 kg/cm<sup>2</sup> para 1% de adición de acero residual, 120.41 kg/cm<sup>2</sup> para 3% de adición de acero residual y 96.96 kg/cm<sup>2</sup> para 5% de adición de acero residual; encontrándose estos valores por encima de la investigación citada.

En la tesis de DE OLIVEIRA, 2015, en la cual evaluó al concreto celular elaborado con fines estructurales obteniendo resistencias a la compresión de 43.85 kg/cm<sup>2</sup> y 49.96 kg/cm<sup>2</sup> con 0.078% de aditivo pudiendo ser utilizados según la normativa brasileña para fines estructurales en muros de edificios de hasta 2 plantas, y resistencia a la compresión de 197.82 kg/cm<sup>2</sup> y 202.92 kg/cm<sup>2</sup> con 0.017% de aditivo con relación a la masa del cemento pudiendo ser utilizado con fines estructurales en muros de edificios de mas de 5 plantas; mientras que en el presente estudio se obtuvo una resistencia a la compresión máxima de 139 kg/cm<sup>2</sup> con la adición de acero residual en 1%; cabe resaltar que las unidades de tabiquería evaluadas en el presente estudio son con fines no estructurales.

Se tiene como antecedente en la tesis de YOC, 2018 donde aplica el concreto celular en unidades de mampostería fabricada con espuma preformada, obteniendo resistencia a la compresión de 60.16 kg/cm<sup>2</sup> encontrándose 17.85% debajo del requerimiento de su normativa de Guatemala; mientras que los datos obtenidos referente a la resistencia a la compresión en la presente investigación superan en 61.17%.

De acuerdo a la clasificación de unidades de tabiquería según la norma técnica E.070 de albañilería se deduce lo siguiente:

En lo referente a la propiedad de variación dimensional se puede deducir que las unidades de tabiquería sin adición (Tabla 4) cumplen con lo establecido en la E.070 (coeficiente de variación menor a 40%), ya que se obtuvo un porcentaje de variación dimensional en longitud de 0.75%, en ancho 0.39% y en altura 0.49%; mientras que las unidades con adición de 1%, 3% y 5% también cumplen con la norma en mención, debido a que los porcentajes promedio obtenidos de variación dimensional varían entre 0.36% y 0.42% para la variación de longitud, 0.29% hasta 0.76% para variación de ancho y 0.39% hasta 1.03% para la variación de altura de las unidades de tabiquería.

En lo que respecta a la propiedad de alabeo todas las unidades en estudio corresponderían a la clase de Ladrillo V (alabeo máximo de 2 mm según E.070), dado que de obtuvieron promedio de concavidad desde 0.67 mm hasta 1.17 mm como también promedio de convexidad desde 1.25 mm hasta 1.92 mm

Los resultados obtenidos en las tablas 12, 13, 14 y 15 nos hace entender que se encuentran dentro de los parámetros que menciona la NTP 331.017 y NTP 399.601, que establece una

absorción que está por debajo del rango del 22% con unos valores que van desde 0.63% hasta 1.04%; cumpliendo con lo establecido en la norma E.070

En las tablas 16,17,18 y 19, se observó que la succión obtenida es muy baja con respecto al rango establecido en la norma E.070, la cual expresa que debería estar entre 10 a 20 gr/200cm<sup>2</sup>/min, con unos valores de 3.69 gr/200cm<sup>2</sup>/min, 2.02 gr/200cm<sup>2</sup>/min, 0.36 gr/200cm<sup>2</sup>/min y 0.09 gr/200cm<sup>2</sup>/min; entonces los ladrillos deberían ser tratados previo a su asentado para aumentar la succión.

Recalcando que la resistencia a la compresión es el valor más relevante para definir la clasificación de una unidad de tabiquería, cumpliendo con la resistencia mínima a la compresión de 50 kg/cm<sup>2</sup> según la E.070.

En la propiedad de resistencia a la compresión se puede inferir que toda la muestra estudiada supera la resistencia a la compresión que estipula la norma para un ladrillo no portante. Como podemos observar en la tabla N 20 con una resistencia a la compresión  $f^b$  de 138.07 kg/cm<sup>2</sup> que indica que las unidades de tabiquería sin adición de acero residual pertenecen a la clase de Ladrillo III al igual que los especímenes con 3% de adición con un  $f^b$  de 120.41 kg/cm<sup>2</sup> (Tabla 22) y con 5% con  $f^b$  de 96.96 kg/cm<sup>2</sup> (Tabla 23); mientras que las unidades de tabiquería con 1% con  $f^b$  de 139.74 kg/cm<sup>2</sup> (Tabla 21) se encontraría dentro de la clase de Ladrillo IV.

El ladrillo de concreto celular como se observa en la Tabla 24 es más ligero o más liviano en un 4.42% que un ladrillo de concreto convencional de concreto; lo que sería conveniente utilizar estas unidades de concreto celular para aligerar la estructura, y no sobre cargar a los elementos estructurales disminuyendo las fuerzas sísmicas al momento de un evento sísmico, ya que los muros de tabiquería solo tienen tarea de dividir y/o aislar ambientes de otros aledaños.

De acuerdo con lo anterior referido inferimos que los valores obtenidos para unidades de tabiquería de concreto celular adicionando acero residual cumplen con lo expresado en la hipótesis.

## 4.2. Conclusiones

- Se rechaza la hipótesis, ya que como hemos visto las unidades de tabiquería de concreto celular con la adición de acero residual y sin esta, cumplen y superan las expectativas que requiere la norma técnica E.070 de albañilería para muros no portantes o muros de tabiquería, en lo que respecta a las propiedades de variación dimensional, alabeo, absorción y resistencia a la compresión; sin embargo no cumple en lo referente a la propiedad de succión, ya que se obtiene un valores por debajo de los rangos establecidos por la normativa.
- Se determinó la variabilidad dimensional de las unidades de tabiquería fueron para la adición de 1% fueron V% longitud de 0.42%, V% ancho de 0.29% y V% altura de 0.39%; para la adición de 3% fue V% longitud de 0.41%, V% ancho de 0.76% y V% altura de 0.95%; y para 5% de adición se obtuvo V% longitud de 0.36%, V% ancho de 0.53% y V% altura de 1.03%.

Por otro lado, se determinó la propiedad de alabeo de las unidades de tabiquería las cuales para 1% de adición fue 0.67mm de concavidad y 1.25mm de convexidad, para 3% fue 1.0 mm de concavidad y 1.5mm de convexidad, y para 5% de adición se obtuvo 1.17mm de concavidad y 1.92mm de convexidad.

De igual manera se determinó la propiedad de absorción obteniendo para 1% de adición 0.63% de absorción promedio, de 0.8% absorción promedio para una adición de 3% y una absorción promedio de 1.04% para la adición de 5% de acero residual.

Del mismo modo se determinó la succión de las unidades de tabiquería alcanzando 2.02 g/min/200cm<sup>2</sup> para la adición de 1%, una succión de 0.36 g/min/200cm<sup>2</sup> para 3% de adición y una succión de 0.09 g/min/200cm<sup>2</sup> para la adición de acero residual de 5%

Y, por último, también se determinó la resistencia a la compresión consiguiendo 139.74 kg/cm<sup>2</sup> para la adición de 1%, la resistencia a la compresión de 120.41 kg/cm<sup>2</sup> para 3% y una resistencia a la compresión de 96.96 kg/cm<sup>2</sup> para la adición de 5%.

- Se calculó también para unidades de tabiquería sin adición (prueba patrón) la variación dimensional de V% longitud de 0.75%, V% ancho de 0.39% y V% altura de 0.49%; alabeo obteniendo 0.83% de concavidad y 1.75% de convexidad; absorción de 0.79%; succión de 3.69 g/min/200cm<sup>2</sup> y resistencia a la compresión de 109.82 kg/cm<sup>2</sup>

- El concreto celular cumple un papel muy importante si se trata de aligerar el peso de la unidad de tabiquería como se apreció la disminución de peso de un 4.42% con respecto a un ladrillo de concreto convencional.

## 2.5 Matriz de operacionalización de Variables

<b>Variables</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Instrumento</b>
Adición de acero residual	Son los relaves de hierro, los cuales se eliminan al aire libre causando problemas de contaminación del suelo, río o del agua MA et al (2016)	Son los desperdicios o residuos sólidos de acero corrugado que sobran en la ejecución de una obra de construcción.	Esta variable para la presente investigación se va a determinar mediante porcentajes	Dosificación del concreto celular	Formatos y/o tablas
Propiedades físico mecánicas de concreto celular	Son las propiedades que caracterizan al concreto, entre ellas están: Variación dimensional, alabeo, absorción, succión, resistencia a la compresión	Estas propiedades se determinan ensayos experimentales de laboratorio siguiendo una secuencia de pasos establecidos en normas técnicas.	Variación dimensional (%) Alabeo (mm) Absorción (%) Succión (g/min/200cm <sup>2</sup> ) Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Ensayos de laboratorio	Equipos de laboratorio

## REFERENCIAS

- ACI-523.3R-93. (1993). *GUÍA PARA CONCRETOS CELULARES POR ENCIMA DE 50 PCF Y PARA CONCRETOS AGREGADOS POR ENCIMA DE 50 PCF CON RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN MENORES A 2500 PSI*. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE.
- ARAPA, J. (2016). ANÁLISIS Y DISEÑO COMPARATIVO DE CONCRETO CELULAR USANDO ESPUMA DE POLIESTIRENO Y AGENTE ESPUMANTE. JULIACA, PERÚ.
- ASTM C136. (2014). *Método de ensayo normalizado para la determinación granulométrica de agregados finos y gruesos*.
- BARCIA, K., & LINDAO, A. (2020). ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA APLICACIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO CELULAR A EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL . GUAYAQUIL, ECUADOR.
- CERVANTES, A. (2008). Congreso Nacional de Administración y Tecnología para la Arquitectura, Ingeniería y Diseño. Nuevas tecnologías en Concretos- Concreto Celular-Concreto reforzado con fibra Concreto ligero estructural. .
- DE OLIVEIRA, C. (2015). ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE HORMIGÓN CELULAR CON FINES ESTRUCTURAL.
- E.070. (2006). *Norma Técnica E.070 - Albañilería*. EL PERUANO.
- GALLEGOS, H., & CASABONNE, C. (2005). *ALBAÑILERÍA ESTRUCTURAL*. LIMA: PUCP.
- HUAMAN, E., & SANCHEZ, J. (2020). OBTENCIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CELULAR PARA SU APLICACIÓN EN EL ANÁLISIS SÍSMICO DE EDIFICIOS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA. AREQUIPA, PERÚ.
- ICA, (. (2015). *Hormigones Livianos*. ARGENTINA.
- IMCYC, I. (2015). *El concreto en la obra, Problemas causas y soluciones*. MEXICO .
- IZQUIERDO, M., & ORTEGA , O. (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 . PERÚ.
- LUZARDO, J., & ARRAGA, R. (2004). *Analisis del Concreto Celular y su aplicacion en la fabricacion de paneles livianos*. . VENZUELA.
- MA, B., CAI, L., LI, X., & JIAN, S. (2016). «Utilization of iron tailings as substitute in autoclaved aerated concrete: physico-mechanical and microstructure of hydration products.
- MAK, S., SHAPIRO, G., & DEVENISH, D. (2007). "Understanding Lightweight Cellular Concrete Materials", CSIRO Manufacturing and Materials Technology. AUSTRALIA.
- MUÑOZ, S., GARCÍA, W., & SALAZAR, T. (2021). *Uso de residuos sólidos en la elaboración de concreto celular: una revisión*. CHICLAYO, PERÚ.

- NEOPOR, S. (2015). Cellular Lightweight Concrete.
- NTP 331.017. (2003). *Ladrillos de arcilla usados en albañilería Requisitos*. LIMA: INDECOPI.
- NTP 399.604. (2002). *UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto*. INACAL.
- NTP 399.605. (2013). *UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería*. INACAL.
- NTP 399.613. (2005). *NORMAS DE UNIDADES*. LIMA: INDECOPI.
- RAMÍREZ, J. (1999). La múltiple identidad del concreto.
- RENGIFO, & YUPANGUI. (2013). Construcciones técnicas. Hormigón celular.
- SAN BARTOLOME, A. (1994). *CONSTRUCCIONES DE ALBAÑILERÍA - COMPORTAMIENTO SÍSMICO Y DISEÑO ESTRUCTURAL -*. LIMA: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERÚ.
- YOC, J. (2018). FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO CELULAR DE ESPUMA PREFORMADA. GUATEMALA.
- ZAMORA, L. (2015). DISEÑO DE UN BLOQUE DE CONCRETO CELULAR Y SU APLICACIÓN COMO UNIDAD DE ALBAÑILERÍA NO ESTRUCTURAL. CAJAMARCA, PERÚ.

## ANEXOS

### Protocolos firmados

 <p>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</p>	<b>LABORATORIO DE CONCRETO - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>				
	<b>PROTOCOLO</b>				
	<b>ENSAYO:</b>	CONTENIDO DE HUMEDAD			
	<b>NORMA:</b>	MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127			
<b>TESIS:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023				
CANTERA:		MUESTRA:		TIPO DE MATERIAL:	
UBICACIÓN:				COLOR DE MATERIAL:	
FECHA DE MUESTREO:				RESPONSABLE:	
FECHA DE ENSAYO:				REVISADO POR:	
Temperatura de Secado 110 °C			Método Horno 110 ± 5 °C		

CONTENIDO					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara	-	T1	T2	T3
B	Peso del Recipiente	gr	26.13	25.95	26.99
C	Recipiente + Material Natural	gr	281.34	275.62	306.6
D	Recipiente + Material Seco	gr	280.21	273.44	304.05
E	Peso del material húmedo (Wmh) = C - B	gr	255.21	249.67	279.61
F	Peso del material Seco (Ws) = D - B	gr	254.08	247.49	277.06
W%	Porcentaje de humedad (E - F / F) * 100	%	0.44	0.88	0.92
G	Promedio Porcentaje Humedad	%	0.749		

Nota: Materia hace mención tanto al suelo como a los agregados tanto grueso como fino.

OBSERVACIONES:		
RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO	NOMBRE: Leon Valdivia	NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN
FECHA: 03/07/2023	FECHA: 03/07/2023	FECHA: 03/07/2023

 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>LABORATORIO DE CONCRETO – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>		
	<b>PROTOCOLO</b>		
	<b>ENSAYO</b>	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS	
	<b>NORMA</b>	MTC E204 – ASTM C136 – NTP 400.012	
<b>TESIS</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023		
CANTERA:		TM:	
UBICACIÓN:		TMN:	
FECHA DE MUESTRA:		M.F:	
FECHA DE ENSAYO:		HUSO A UTILIZAR:	
RESPONSABLE:		REVISADO POR:	

### AGREGADO FINO

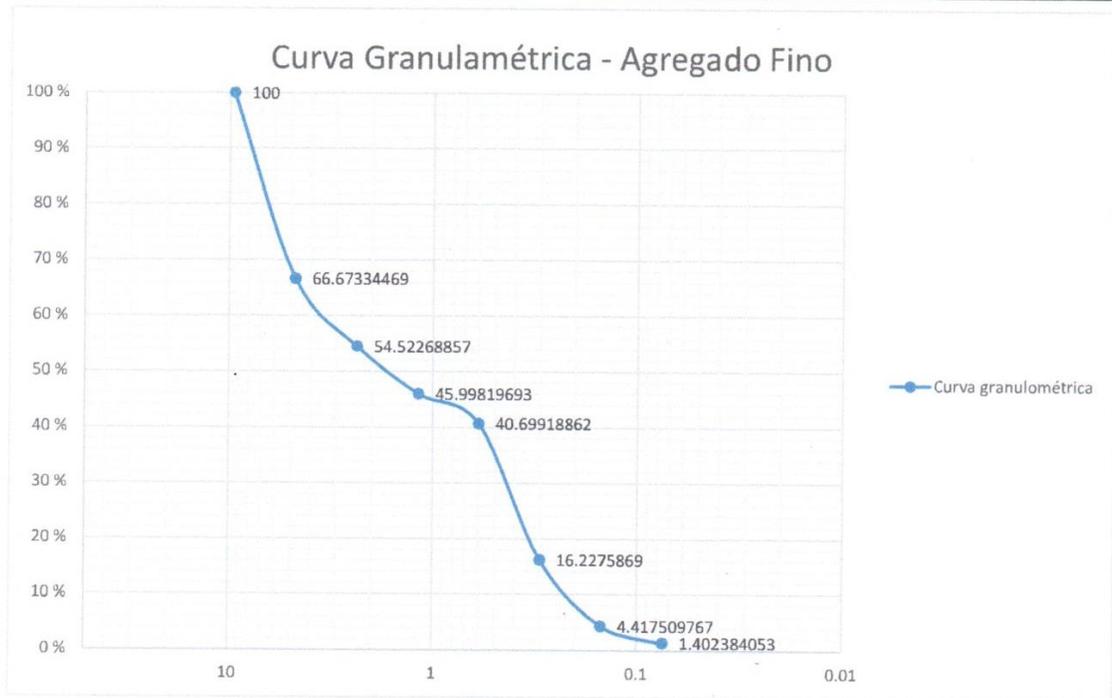
MUESTRA: 1000 gr.								
N°	TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO (%)	% RETENIDO ACUMULADO (%)	% PASANTE ACUMULADO (%)	Husos Granulométrico (Según norma ASTM C33)	
	(pulg)	(mm)					Límite Inferior	Límite Superior
1	N° 4	4.75	332.7	33.27	33.27	66.610	95	100
2	N° 8	2.36	121.8	12.18	45.45	54.430	80	100
4	N° 16	1.18	85.1	8.51	53.96	45.920	50	85
5	N° 30	0.6	52.9	5.29	59.25	40.630	25	60
6	N° 50	0.3	244.3	24.43	83.68	16.200	10	30
7	N° 100	0.15	117.9	11.79	95.47	4.410	2	10
8	N° 200	0.075	30.1	3.01	98.48	1.400	0	3
9	Bandeja	0	14	1.4	99.88	0.000		

Nota: Para calcular la granulometría, utilizar todas las mallas, para el caso del módulo de finura no utilizar la malla N° 10 y N° 200. Con la siguiente fórmula podemos determinar

$$M.F = \frac{(\sum \% \text{ Retenido acumulado en las mallas } N^{\circ} 4, 8, 16, 30, 50 \text{ y } 100)}{100}$$

<b>OBSERVACIONES:</b>		
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>	<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>	<b>ASESOR</b>
		
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO	NOMBRE: Cesar Valdez Chavez	NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN
FECHA: 03/07/2023	FECHA: 03/07/2023	FECHA: 03/07/2023

<b>LABORATORIO DE CONCRETO – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
<b>ENSAYO</b>	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS		
<b>NORMA</b>	MTC E204 – ASTM C136 – NTP 400.012		
<b>TESIS</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023		
CANTERA:		TM:	
UBICACIÓN:		TMN:	
FECHA DE MUESTRA:		M.F:	
FECHA DE ENSAYO:		HUSO A UTILIZAR:	
RESPONSABLE:		REVISADO POR:	

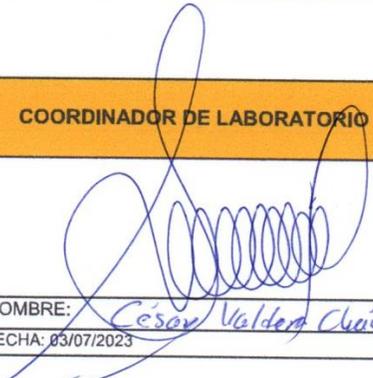


**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO	NOMBRE: Cesar Valdora Chavez	NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZAN
FECHA: 03/07/2023	FECHA: 03/07/2023	FECHA: 03/07/2023

 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>LABORATORIO DE CONCRETO - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>				
	<b>PROTOCOLO</b>				
	<b>ENSAYO:</b>	PESO UNITARIO DE AGREGADO FINO			
	<b>NORMA:</b>	MTC E 203 / ASTM C29 / NTP 400.017			
<b>TESIS:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023				
CANTERA:		MUESTRA:		TIPO DE MATERIAL:	
UBICACIÓN:				COLOR DE MATERIAL:	
FECHA DE MUESTREO:				RESPONSABLE:	
FECHA DE ENSAYO:				REVISADO POR:	

<b>PESO UNITARIO DE AGREGADO FINO</b>					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	VOLUMEN MOLDE	
A	Peso del molde + AF compactado	kg	23.86	Diámetro (m)	0.169
B	Peso del molde	kg	4.78	Altura (m)	0.292
C	Peso del AF compactado C=A-B	kg	19.08	Vol molde (m3)	0.006550073
D	PESO UNITARIO COMPACTADO D=C/Vol. Molde	kg/m3	2912.944622		
E	Peso del molde + AF suelto	kg	22.72		
F	Peso del AF suelto F=E-B	kg	17.94		
F	PESO UNITARIO SUELTO G=F/Vol. Molde	kg/m3	2738.900761		

<b>OBSERVACIONES:</b>		
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>	<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>	<b>ASESOR</b>
		
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO	NOMBRE: César Valderrama Chávez	NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN
FECHA: 03/07/2023	FECHA: 03/07/2023	FECHA: 03/07/2023

 <p>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</p>	<b>LABORATORIO DE CONCRETO - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>				
	<b>PROTOCOLO</b>				
	<b>ENSAYO:</b>	PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS			
	<b>NORMA:</b>	MTC E 113 / ASTM 854 / NTP 339.131			
<b>TESIS:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023				
CANTERA:		MUESTRA:		TIPO DE MATERIAL:	
UBICACIÓN:				COLOR DE MATERIAL:	
FECHA DE MUESTREO:				RESPONSABLE:	
FECHA DE ENSAYO:				REVISADO POR:	

PESO ESPECIFICO DE AGREGADO FINO				
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2
A	Identificación de la muestra	-		
B	Peso de la muestra seca	gr	100	100
C	Peso de la fiola + agua (500 ml)	cm3	669.4	669.4
D	Peso de la fiola + agua (500 ml) - Aire	cm3	730.9	730.7
E	Peso específico ( $Y_s = ((B/B+C-D))$ )	gr/cm3	2.597	2.584
F	Promedio del peso específico "Ys"	gr/cm3	2.591	
G	Peso de arena secada al horno	g	98.8	
H	Absorción	%	1.24	

<b>OBSERVACIONES:</b>		
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>	<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>	<b>ASESOR</b>
		
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO	NOMBRE: César Valdez Chávez	NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN
FECHA: 03/07/2023	FECHA: 04/07/2023	FECHA: 03/07/2023

 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>LABORATORIO DE CONCRETO - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
	<b>PROTOCOLO</b>			
	<b>ENSAYO:</b>	LÍMITES DE PLASTICIDAD		
	<b>NORMA:</b>	NTP E 339.130 / MTC E111/ ASTM D4318		
<b>TESIS:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023			
CANTERA:		MUESTRA:		TIPO DE MATERIAL:
UBICACIÓN:				COLOR DE
FECHA DE MUESTREO:				RESPONSABLE:
FECHA DE ENSAYO:				REVISADO POR:

DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de recipiente	-	T3	T1	T2
B	Suelo húmedo + Recipiente	gr	56.50	52.80	56.00
C	Suelo seco + recipiente	gr	52.00	48.60	51.00
D	Peso del recipiente	gr	26.99	26.13	25.95
E	Peso del agua (B-C)	gr	4.50	4.20	5.00
F	Peso suelo seco (C-D)	gr	25.01	22.47	25.05
G	Número de golpes	N	6.00	16.00	14.00
H	Contenido de humedad (E/F)*1	%	17.99	18.69	19.96

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de recipiente	-	T3	T1	T2
B	Suelo húmedo + Recipiente	gr	34.80	41.40	56.90
C	Suelo seco + recipiente	gr	33.80	39.60	53.60
D	Peso del recipiente	gr	25.95	27.50	26.99
E	Peso del agua (B-C)	gr	1.00	1.80	3.30
F	Peso suelo seco (C-D)	gr	7.85	12.10	26.61
H	Contenido de humedad (E/F)*1	%	12.74	14.88	12.40



OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO	NOMBRE: Cesar Valdez Clavero	NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN
FECHA: 04/07/2023	FECHA: 04/07/2023	FECHA: 04/07/2023

LABORATORIO DE MATERIALES - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA																	
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>PROTOCOLO</b>																
	ENSAYO: VARIACIÓN DIMENSIONAL UNIDAD DE ALBAÑILERÍA																
	NORMA: NTP 399.604 - 399.613																
TESIS: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023																	
CANTERA:						TIPO DE LADRILLO:				UNIDAD DE TABIQUERÍA							
UBICACIÓN:						COLOR DE LADRILLO				BLANQUIZO							
FECHA DE MUESTREO:						% DE ACERO RESIDUAL				0%							
FECHA DE ENSAYO:																	
Dimensiones de fábrica		Largo: 230 mm		Ancho: 120 mm		Alto: 95 mm											
UND	Longitud Efectiva (mm)					Ancho Efectiva (mm)					Altura Efectiva (mm)						
	L1	L2	L3	L4	Lo	A1	A2	A3	A4	Ao	H1	H2	H3	H4	Ho		
VD-01	229.72	230.36	229.40	228.78	229.57	120.90	121.08	120.24	120.50	120.68	97.20	99.22	94.20	93.44	96.02		
VD-02	228.04	225.48	226.14	227.12	226.70	119.12	118.76	119.96	119.88	119.43	94.40	95.48	95.60	94.48	94.99		
VD-03	228.44	228.42	228.38	228.98	228.56	119.22	119.24	120.98	119.88	119.83	95.72	95.08	95.36	95.38	95.39		
V% LONGITUD		VD-01		0.1891		V% ANCHO		VD-01		0.5667		V% ALTURA		VD-01		1.0684	
		VD-02		1.437				VD-02		0.475				VD-02		0.0105	
V% PROMEDIO		VD-03		0.6283		V% PROMEDIO		VD-03		0.1417		V% PROMEDIO		VD-03		0.4053	
		0.75		0.39				0.49									
<b>OBSERVACIONES:</b>																	
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>				<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>				<b>ASESOR</b>									
																	
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO				NOMBRE: Cesar Valdez Chavez				NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN									
FECHA: 17/07/2023				FECHA: 17/07/2023				FECHA: 17/07/2023									

<b>LABORATORIO DE MATERIALES - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>		
<b>PROTOCOLO</b>		
<b>ENSAYO:</b>	VARIACIÓN DIMENSIONAL UNIDAD DE ALBAÑILERÍA	
<b>NORMA:</b>	NTP 399.604 - 399.613	
<b>TESIS:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023	
CANTERA:		TIPO DE LADRILLO: UNIDAD DE TABIQUERÍA
UBICACIÓN:		COLOR DE LADRILLO: BLANQUIZO
FECHA DE MUESTREO:		% DE ACERO RESIDUAL: 1%
FECHA DE ENSAYO:		

Dimensiones de fábrica	Largo:	230	mm
------------------------	--------	-----	----

Ancho		120	mm
-------	--	-----	----

Alto		95	mm
------	--	----	----

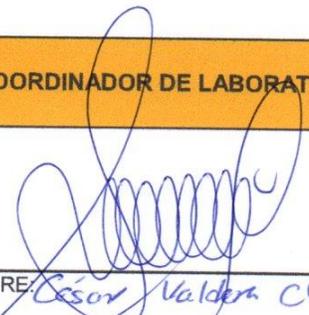
UND	Longitud Efectiva (mm)					Ancho Efectiva (mm)					Altura Efectiva (mm)				
	L1	L2	L3	L4	Lo	A1	A2	A3	A4	Ao	H1	H2	H3	H4	Ho
VD-01	228.64	227.96	229.18	228.82	228.65	119.92	119.98	120.06	119.48	119.86	96.08	95.38	95.22	92.46	94.79
VD-02	228.76	228.88	228.79	228.72	228.79	119.52	120.42	119.76	120.16	119.97	95.74	94.80	94.36	92.76	94.42
VD-03	229.82	229.88	229.54	229.42	229.67	120.80	121.24	120.98	120.50	120.88	95.28	95.76	95.18	95.06	95.32

V% LONGITUD	VD-01	0.587
	VD-02	0.5272
	VD-03	0.1457
V% PROMEDIO		0.4199

V% ANCHO	VD-01	0.1167
	VD-02	0.0292
	VD-03	0.7333
V% PROMEDIO		0.2931

V% ALTURA	VD-01	0.2263
	VD-02	0.6158
	VD-03	0.3368
V% PROMEDIO		0.393

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO	NOMBRE: César Valderrama Chávez	NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN
FECHA: 17/07/2023	FECHA: 17/07/2023	FECHA: 17/07/2023

 <p>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</p>	<b>LABORATORIO DE MATERIALES - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>												
	<b>PROTOCOLO</b>												
	VARIACIÓN DIMENSIONAL UNIDAD DE ALBAÑILERÍA												
	NTP 399.604 - 399.613												
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023													
CANTERA:												TIPO DE LADRILLO:	UNIDAD DE TABIQUERÍA
UBICACIÓN:												COLOR DE LADRILLO	BLANQUIZO
FECHA DE MUESTREO:												% DE ACERO RESIDUAL	3%
FECHA DE ENSAYO:													

Dimensiones de fábrica	Largo:	230	mm
------------------------	--------	-----	----

Ancho		120	mm
-------	--	-----	----

Alto		95	mm
------	--	----	----

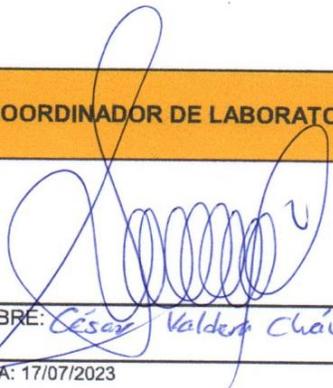
UND	Longi				Lo	Anch				Ao	Altur				
	L1	L2	L3	L4		A1	A2	A3	A4		H1	H2	H3	H4	Ho
VD-01	229.58	228.74	228.46	229.18	228.99	119.82	120.54	121.28	120.46	120.53	91.78	93.64	95.08	94.86	93.84
VD-02	228.76	228.62	228.92	229.92	229.06	120.98	121.86	122.22	120.98	121.51	95.26	96.26	95.48	95.06	95.52
VD-03	229.28	228.88	229.22	229.02	229.10	120.64	121.78	120.02	120.38	120.71	94.74	94.46	94.08	92.60	93.97

V% LON	VD-01	0.4391
	VD-02	0.4109
	VD-03	0.3913
	V%	0.4138

V% ANC	VD-01	0.4375
	VD-02	1.2583
	VD-03	0.5875
	V%	0.7611

V% ALTI	VD-01	1.2211
	VD-02	0.5421
	VD-03	1.0842
	V%	0.9491

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO	NOMBRE: César Valdez Chávez	NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN
FECHA: 17/07/2023	FECHA: 17/07/2023	FECHA: 17/07/2023

LABORATORIO DE MATERIALES - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA									
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>PROTOCOLO</b>								
	<b>ENSAYO:</b>	VARIACIÓN DIMENSIONAL UNIDAD DE ALBAÑILERÍA							
	<b>NORMA:</b>	NTP 399.604 - 399.613							
<b>TESIS:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023								
CANTERA:								TIPO DE LADRILLO:	UNIDAD DE TABIQUERÍA
UBICACIÓN:								COLOR DE LADRILLO	BLANQUIZO
FECHA DE MUESTREO:								% DE ACERO RESIDUAL	5%
FECHA DE ENSAYO:									

Dimensiones de fábrica	Largo:	230	mm
------------------------	--------	-----	----

Ancho		120	mm
-------	--	-----	----

Alto		95	mm
------	--	----	----

UND	Longi				Lo	Anch				Ao	Altur				
	L1	L2	L3	L4		A1	A2	A3	A4		H1	H2	H3	H4	Ho
VD-01	229.38	229.98	230.02	230.60	230.00	120.86	121.68	121.58	121.28	121.35	94.58	96.88	96.60	95.28	95.84
VD-02	228.68	228.62	228.82	229.02	228.79	119.40	120.04	119.48	119.52	119.61	94.44	94.06	92.68	90.88	93.02
VD-03	229.28	228.98	228.32	228.42	228.75	119.98	120.28	120.48	119.86	120.15	96.78	95.58	94.12	94.02	95.13

V <sub>7d</sub> LONGI	VD-01	0.0022
	VD-02	0.5283
	VD-03	0.5435
V%		0.358

V <sub>7d</sub> ANCH	VD-01	1.125
	VD-02	0.325
	VD-03	0.125
V%		0.525

V <sub>7d</sub> ALTUR	VD-01	0.8789
	VD-02	2.0895
	VD-03	0.1316
V%		1.0333

**OBSERVACIONES:**

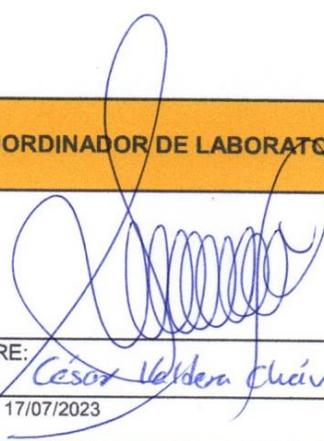
RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO	NOMBRE: Cesar Valdes Chavez	NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZAN
FECHA: 17/07/2023	FECHA: 17/07/2023	FECHA: 17/07/2023

LABORATORIO DE MATERIALES - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA																																									
	PROTOCOLO																																								
	<b>ENSAYO:</b>	ALABEO DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA																																							
	<b>NORMA:</b>	NTP 399.604 - 399.613																																							
	<b>TESIS:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023																																							
CANTERA:		TIPO DE LADRILLO:	UNIDAD DE TABIQUERÍA																																						
UBICACIÓN:		COLOR DE LADRILLO	BLANQUIZO																																						
FECHA DE MUESTREO:		% DE ACERO RESIDUAL	0%																																						
FECHA DE ENSAYO:																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">Especimen</th> <th colspan="2">CARA 1</th> <th colspan="2">CARA 2</th> </tr> <tr> <th>Cóncavo</th> <th>Convexo</th> <th>Cóncavo</th> <th>Convexo</th> </tr> <tr> <th colspan="2">mm</th> <th colspan="2">mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alabeo 01</td> <td>1</td> <td>1.5</td> <td>1</td> <td>3.5</td> </tr> <tr> <td>Alabeo 02</td> <td>0.5</td> <td>1</td> <td>0.5</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Alabeo 03</td> <td>0.5</td> <td>0.5</td> <td>1.5</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Promedio</td> <td>Cóncavo</td> <td>0.83</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Convexo</td> <td>1.75</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					Especimen	CARA 1		CARA 2		Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo	mm		mm		Alabeo 01	1	1.5	1	3.5	Alabeo 02	0.5	1	0.5	2	Alabeo 03	0.5	0.5	1.5	2	Promedio	Cóncavo	0.83			Convexo	1.75		
Especimen	CARA 1		CARA 2																																						
	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo																																					
	mm		mm																																						
Alabeo 01	1	1.5	1	3.5																																					
Alabeo 02	0.5	1	0.5	2																																					
Alabeo 03	0.5	0.5	1.5	2																																					
Promedio	Cóncavo	0.83																																							
	Convexo	1.75																																							
<b>OBSERVACIONES:</b>																																									
RESPONSABLE DEL ENSAYO		COORDINADOR DE LABORATORIO		ASESOR																																					
																																									
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO		NOMBRE: César Valdez Chavez		NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN																																					
FECHA: 17/07/2023		FECHA: 17/07/2023		FECHA: 17/07/2023																																					

LABORATORIO DE MATERIALES - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA				
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	PROTOCOLO			
	ENSAYO:	ALABEO DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA		
	NORMA:	NTP 399.604 - 399.613		
	TESIS:	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023		
CANTERA:		TIPO DE LADRILLO:	UNIDAD DE TABIQUERÍA	
UBICACIÓN:		COLOR DE LADRILLO	BLANQUIZO	
FECHA DE MUESTREO:		% DE ACERO RESIDUAL	1%	
FECHA DE ENSAYO:				

Especímen	CARA 1		CARA 2	
	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo
	mm		mm	
Alabeo 01	0.5	1	1	1
Alabeo 02	1	1	0.5	2.5
Alabeo 03	0.5	0.5	0.5	1.5
Promedio	Cóncavo	0.67		
	Convexo	1.25		

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO	NOMBRE: César Véliz Chávez	NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN
FECHA: 17/07/2023	FECHA: 17/07/2023	FECHA: 17/07/2023

LABORATORIO DE MATERIALES - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA									
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO:</b>		<b>PROTOCOLO</b>						
	<b>NORMA:</b>		ALABEO DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA						
	<b>TESIS:</b>		NTP 399.604 - 399.613 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023						
CANTERA:							TIPO DE LADRILLO:	UNIDAD DE TABIQUERÍA	
UBICACIÓN:							COLOR DE LADRILLO	BLANQUIZO	
FECHA DE MUESTREO:							% DE ACERO RESIDUAL	3%	
FECHA DE ENSAYO:									

Especimen	CARA 1		CARA 2	
	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo
	mm		mm	
Alabeo 01	1	1.5	1.5	2
Alabeo 02	1.5	1	0.5	2
Alabeo 03	0.5	1	1	1.5
Promedio	Cóncavo	1		
	Convexo	1.5		

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO	NOMBRE: César Valdez Chávez	NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN
FECHA: 17/07/2023	FECHA: 17/07/2023	FECHA: 17/07/2023

LABORATORIO DE MATERIALES - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA										
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>PROTOCOLO</b>									
	<b>ENSAYO:</b>	ALABEO DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA								
	<b>NORMA:</b>	NTP 399.604 - 399.613								
	<b>TESIS:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023								
CANTERA:					TIPO DE LADRILLO:			UNIDAD DE TABIQUERÍA		
UBICACIÓN:					COLOR DE LADRILLO			BLANQUIZO		
FECHA DE MUESTREO:					% DE ACERO RESIDUAL			5%		
FECHA DE ENSAYO:										

Especimen	CARA 1		CARA 2	
	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo
	mm		mm	
Alabeo 01	1.5	1	1	3
Alabeo 02	0.5	1	1.5	2.5
Alabeo 03	0.5	0.5	2	3.5
Promedio	Cóncavo	1.17		
	Convexo	1.92		

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO	NOMBRE: César Valdez Chávez	NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN
FECHA: 17/07/2023	FECHA: 17/07/2023	FECHA: 17/07/2023

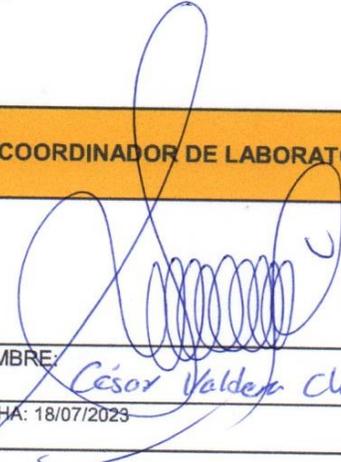
LABORATORIO DE MATERIALES - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO:</b>	ABSORCIÓN DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA	
	<b>NORMA:</b>	NTP 399.604 - 399.613	
	<b>TESIS:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023	
CANTERA:		TIPO DE LADRILLO:	UNIDAD DE TABIQUERÍA
UBICACIÓN:		COLOR DE LADRILLO	BLANQUIZO
FECHA DE MUESTREO:		% DE ACERO RESIDUAL	0%
FECHA DE ENSAYO:			

UNIDAD	W (kg)	Wd (kg)	Absorción(%)
Abs 01	5.438	5.4	0.7
Abs 02	5.441	5.4	0.76
Abs 03	5.4289	5.38	0.91
Absorción promedio (%)			0.79

Wd: Peso del espécimen seco  
W: Peso del espécimen saturado

$$Absorción\% = \left( \frac{W - Wd}{Wd} \right) * 100$$

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES _OZANO	NOMBRE: César Valdez Chávez	NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN
FECHA: 18/07/2023	FECHA: 18/07/2023	FECHA: 18/07/2023

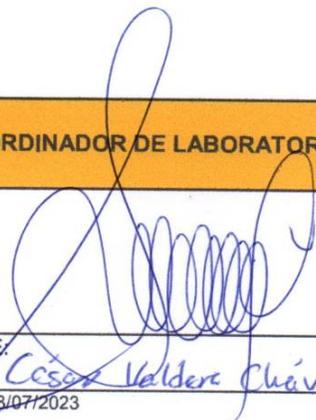
LABORATORIO DE MATERIALES - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA				
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	PROTOCOLO			
	ENSAYO:	ABSORCIÓN DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA		
	NORMA:	NTP 399.604 - 399.613		
	TESIS:	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023		
CANTERA:		TIPO DE LADRILLO:	UNIDAD DE TABIQUERÍA	
UBICACIÓN:		COLOR DE LADRILLO	BLANQUIZO	
FECHA DE MUESTREO:		% DE ACERO RESIDUAL	1%	
FECHA DE ENSAYO:				

UNIDAD	W (kg)	Wd (kg)	Absorción(%)
Abs 01	5.473	5.44	0.61
Abs 02	5.3926	5.36	0.61
Abs 03	5.4161	5.38	0.67
Absorción promedio (%)			0.63

Wd: Peso del espécimen seco  
W: Peso del espécimen saturado

$$Absorción\% = \left( \frac{W - Wd}{Wd} \right) * 100$$

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO	NOMBRE: César Valderrama Chávez	NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN
FECHA: 18/07/2023	FECHA: 18/07/2023	FECHA: 18/07/2023

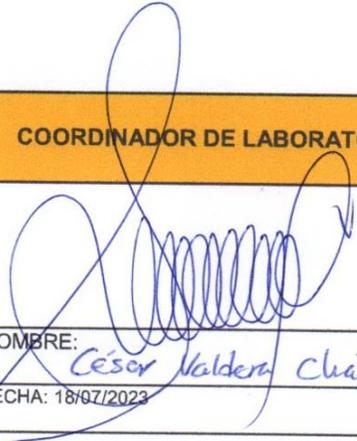
LABORATORIO DE MATERIALES - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA									
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO:</b>		<b>PROTOKOLO</b>						
	<b>NORMA:</b>		ABSORCIÓN DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA						
	<b>TESIS:</b>		NTP 399.604 - 399.613 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023						
CANTERA:					TIPO DE LADRILLO:		UNIDAD DE TABIQUERÍA		
UBICACIÓN:					COLOR DE LADRILLO		BLANQUIZO		
FECHA DE MUESTREO:					% DE ACERO RESIDUAL		3%		
FECHA DE ENSAYO:									

UNIDAD	W (kg)	Wd (kg)	Absorción(%)
Abs 01	5.5973	5.54	1.03
Abs 02	5.5176	5.48	0.69
Abs 03	5.5377	5.5	0.69
Absorción promedio (%)			0.80

Wd: Peso del espécimen seco  
W: Peso del espécimen saturado

$$\text{Absorción\%} = \left( \frac{W - Wd}{Wd} \right) * 100$$

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO	NOMBRE: César Valderrama Chávez	NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN
FECHA: 18/07/2023	FECHA: 18/07/2023	FECHA: 18/07/2023

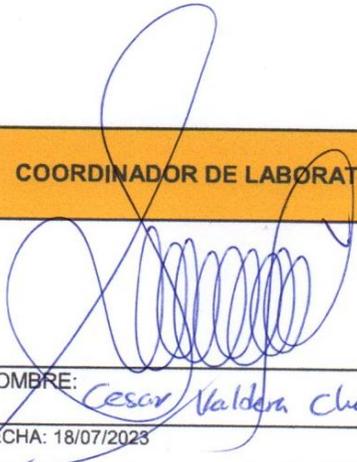
LABORATORIO DE MATERIALES - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA										
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>PROTOCOLO</b>									
	<b>ENSAYO:</b>	ABSORCIÓN DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA								
	<b>NORMA:</b>	NTP 399.604 - 399.613								
	<b>TESIS:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023								
CANTERA:						TIPO DE LADRILLO:	UNIDAD DE TABIQUERÍA			
UBICACIÓN:						COLOR DE LADRILLO	BLANQUIZO			
FECHA DE MUESTREO:						% DE ACERO RESIDUAL	5%			
FECHA DE ENSAYO:										

UNIDAD	W (kg)	Wd (kg)	Absorción(%)
Abs 01	5.7201	5.66	1.06
Abs 02	5.663	5.6	1.13
Abs 03	5.6321	5.58	0.93
Absorción promedio (%)			1.04

Wd: Peso del espécimen seco  
W: Peso del espécimen saturado

$$Absorción\% = \left( \frac{W - Wd}{Wd} \right) * 100$$

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO	NOMBRE: Cesar Valderrama Chávez	NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN
FECHA: 18/07/2023	FECHA: 18/07/2023	FECHA: 18/07/2023

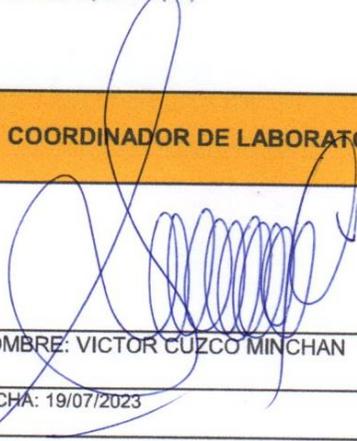
LABORATORIO DE MATERIALES - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO:</b>	SUCCIÓN DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA	
	<b>NORMA:</b>	NTP 399.604 - 399.613	
	<b>TESIS:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023	
<b>CANTERA:</b>		<b>TIPO DE LADRILLO:</b>	UNIDAD DE TABIQUERÍA
<b>UBICACIÓN:</b>		<b>COLOR DE LADRILLO</b>	BLANQUIZO
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>		<b>% DE ACERO RESIDUAL</b>	0%
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>			

UNIDAD	P seco (g)	P mojado (g)	A (cm)	L (cm)	SUCCIÓN
Succión 01	5257.7	5265.3	12.048	22.668	5.57
Succión 02	5226.8	5230.5	11.982	22.706	2.72
Succión 03	5304.1	5307.9	12.058	22.752	2.77
Succión promedio (g/min/200cm <sup>2</sup> )					3.69

$$S \text{ (g / min / 200cm}^2\text{)} = \frac{200 W}{LA}$$

- S: Succión, sobre la base de 200 cm<sup>2</sup>  
 W: Diferencia de pesos del espécimen (g)  
 W = Peso de unida mojado – Peso de la unidad seca  
 L: Longitud del espécimen (cm)  
 A: Ancho del espécimen (cm)

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO	NOMBRE: VICTOR CUZCO MINCHAN	NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN
FECHA: 19/07/2023	FECHA: 19/07/2023	FECHA: 19/07/2023

LABORATORIO DE MATERIALES - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA				
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	PROTOCOLO			
	<b>ENSAYO:</b>	SUCCIÓN DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA		
	<b>NORMA:</b>	NTP 399.604 - 399.613		
	<b>TESIS:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023		
CANTERA:		TIPO DE LADRILLO:	UNIDAD DE TABIQUERÍA	
UBICACIÓN:		COLOR DE LADRILLO	BLANQUIZO	
FECHA DE MUESTREO:		% DE ACERO RESIDUAL	1%	
FECHA DE ENSAYO:				

UNIDAD	P seco (g)	P mojado (g)	A (cm)	L (cm)	SUCCIÓN
Succión 01	5356.5	5359.9	12.266	22.968	2.41
Succión 02	5393.2	5395.8	12.146	22.912	1.87
Succión 03	5333.1	5335.5	11.912	22.812	1.77
Succión promedio (g/min/200cm <sup>2</sup> )					2.02

$$S (g / min / 200cm^2) = \frac{200 W}{LA}$$

S: Succión, sobre la base de 200 cm<sup>2</sup>

W: Diferencia de pesos del espécimen (g)

W = Peso de unida mojado - Peso de la unidad seca

L: Longitud del espécimen (cm)

A: Ancho del espécimen (cm)

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO	NOMBRE: VICTOR CUZCO MINCHAN	NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN
FECHA: 19/07/2023	FECHA: 19/07/2023	FECHA: 19/07/2023

LABORATORIO DE MATERIALES - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA									
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO:</b>		<b>PROTOCOLO</b>						
	<b>NORMA:</b>		SUCCIÓN DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA						
	<b>TESIS:</b>		NTP 399.604 - 399.613						
		ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023							
CANTERA:							TIPO DE LADRILLO:	UNIDAD DE TABIQUERÍA	
UBICACIÓN:							COLOR DE LADRILLO	BLANQUIZO	
FECHA DE MUESTREO:							% DE ACERO RESIDUAL	3%	
FECHA DE ENSAYO:									

UNIDAD	P seco (g)	P mojado (g)	A (cm)	L (cm)	SUCCIÓN
Succión 01	5407.4	5407.8	12.148	22.892	0.29
Succión 02	5470.5	5470.7	12.216	22.92	0.14
Succión 03	5528.3	5529.2	12.226	22.908	0.64
Succión promedio (g/min/200cm <sup>2</sup> )					0.36

$$S (g / min / 200cm^2) = \frac{200 W}{LA}$$

S: Succión, sobre la base de 200 cm<sup>2</sup>

W: Diferencia de pesos del espécimen (g)

W = Peso de unida mojado – Peso de la unida seca

L: Longitud del espécimen (cm)

A: Ancho del espécimen (cm)

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO	NOMBRE: VICTOR CUZCO MINCHAN	NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN
FECHA: 19/07/2023	FECHA: 19/07/2023	FECHA: 19/07/2023

<b>LABORATORIO DE MATERIALES - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>					
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>PROTOCOLO</b>				
	<b>ENSAYO:</b>	SUCCIÓN DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA			
	<b>NORMA:</b>	NTP 399.604 - 399.613			
	<b>TESIS:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023			
CANTERA:				TIPO DE LADRILLO:	UNIDAD DE TABIQUERÍA
UBICACIÓN:				COLOR DE LADRILLO	BLANQUIZO
FECHA DE MUESTREO:				% DE ACERO RESIDUAL	5%
FECHA DE ENSAYO:					

UNIDAD	P seco (g)	P mojado (g)	A (cm)	L (cm)	SUCCIÓN
Succión 01	5663.9	5664.1	12.256	23.034	0.14
Succión 02	5550.4	5550.5	12.078	22.988	0.07
Succión 03	5639.7	5639.8	12.194	23.082	0.07
Succión promedio (g/min/200cm <sup>2</sup> )					0.09

$$S (g / min / 200cm^2) = \frac{200 W}{LA}$$

S: Succión, sobre la base de 200 cm<sup>2</sup>

W: Diferencia de pesos del espécimen (g)

W = Peso de unida mojado – Peso de la unidad seca

L: Longitud del espécimen (cm)

A: Ancho del espécimen (cm)

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO	NOMBRE: VICTOR CUZCO MINCHAN	NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN
FECHA: 19/07/2023	FECHA: 19/07/2023	FECHA: 19/07/2023

LABORATORIO DE MATERIALES - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
<b>PROTOCOLO</b>			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO:</b>	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA	
	<b>NORMA:</b>	NTP 399.604 - 399.613	
	<b>TESIS:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023	
CANTERA:		TIPO DE LADRILLO:	UNIDAD DE TABIQUERÍA
UBICACIÓN:		COLOR DE LADRILLO:	BLANQUIZO
FECHA DE MUESTREO:		% DE ACERO RESIDUAL:	0%
FECHA DE ENSAYO:			

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA						
ESPÉCIMEN	Lo (mm)	Ao (mm)	Ho (mm)	Carga Máx(kg)	Ab (cm <sup>2</sup> )	fb (kg/cm <sup>2</sup> )
RC 01	22.802	11.982	9.164	47080	273.21	172.32
RC 02	22.962	12.096	9.324	44665	277.75	160.81
RC 03	22.912	11.998	9.758	37329	274.9	135.79
RC 04	22.982	12.052	9.528	30572	276.98	110.38
RC 05	22.868	12.03	9.646	30550	275.1	111.05
fb promedio						138.07
Desviación estándar						28.25
Coeficiente de variación						25.72
fb (kg/cm <sup>2</sup> )						109.82

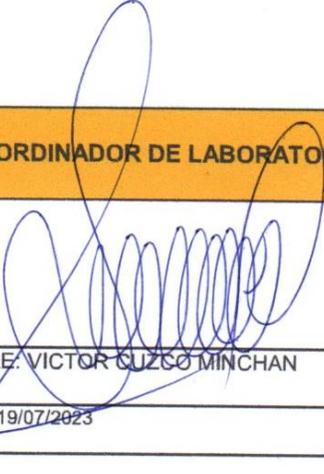
**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO	NOMBRE: VICTOR CUZCO MINCHAN	NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN
FECHA: 19/07/2023	FECHA: 19/07/2023	FECHA: 19/07/2023

LABORATORIO DE MATERIALES - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA				
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	PROTOCOLO			
	<b>ENSAYO:</b>	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA		
	<b>NORMA:</b>	NTP 399.604 - 399.613		
	<b>TESIS:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023		
<b>CANTERA:</b>		<b>TIPO DE LADRILLO:</b>	UNIDAD DE TABIQUERÍA	
<b>UBICACIÓN:</b>		<b>COLOR DE LADRILLO:</b>	BLANQUIZO	
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>		<b>% DE ACERO RESIDUAL:</b>	1%	
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>				

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA						
ESPÉCIMEN	Lo (mm)	Ao (mm)	Ho (mm)	Carga Máx(kg)	Ab (cm2)	fb (kg/cm2)
RC 01	23.054	12.128	9.486	40585	279.6	145.15
RC 02	23.01	12.078	9.344	63989	277.91	230.25
RC 03	23.046	12.108	9.204	51269	279.04	183.73
RC 04	23.038	12.088	9.696	38997	278.48	140.04
RC 05	23.008	12.108	9.212	50443	278.58	181.07
fb promedio						176.05
Desviación estándar						36.31
Coeficiente de variación						25.98
fb (kg/cm2)						139.74

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO	NOMBRE: VICTOR GUIZO MINCHAN	NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN
FECHA: 19/07/2023	FECHA: 19/07/2023	FECHA: 19/07/2023

LABORATORIO DE MATERIALES - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA									
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>PROCOLO</b> RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA								
	<b>ENSAYO:</b> RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA								
	<b>NORMA:</b> NTP 399.604 - 399.613 <b>TESIS:</b> ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023								
CANTERA:					TIPO DE LADRILLO:		UNIDAD DE TABIQUERÍA		
UBICACIÓN:					COLOR DE LADRILLO		BLANQUIZO		
FECHA DE MUESTREO:					% DE ACERO RESIDUAL		3%		
FECHA DE ENSAYO:									

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA						
ESPÉCIMEN	Lo (mm)	Ao (mm)	Ho (mm)	Carga Máx(kg)	Ab (cm <sup>2</sup> )	fb (kg/cm <sup>2</sup> )
RC 01	23.044	12.144	9.058	30324	279.85	108.36
RC 02	23.02	12.128	9.526	39169	279.19	140.3
RC 03	23.276	12.128	9.176	40247	282.29	142.57
RC 04	23.22	12.086	9.568	43066	280.64	153.46
RC 05	23.028	12.028	9.006	39509	276.98	142.64
fb promedio						137.47
Desviación estándar						17.06
Coeficiente de variación						14.17
fb (kg/cm <sup>2</sup> )						120.41

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO	NOMBRE: VICTOR CUZCO MINCHAN	NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN
FECHA: 20/07/2023	FECHA: 20/07/2023	FECHA: 20/07/2023

LABORATORIO DE MATERIALES - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA									
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>PROCOLO</b>								
	<b>ENSAYO:</b>	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA							
	<b>NORMA:</b>	NTP 399.604 - 399.613							
	<b>TESIS:</b>	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE CONCRETO CELULAR PARA MUROS DE TABIQUERÍA CON LA ADICIÓN DE ACERO RESIDUAL EN 1%, 3% Y 5%, CAJAMARCA 2023							
CANTERA:					<b>TIPO DE LADRILLO:</b>		UNIDAD DE TABIQUERÍA		
UBICACIÓN:					<b>COLOR DE LADRILLO</b>		BLANQUIZO		
FECHA DE MUESTREO:					<b>% DE ACERO RESIDUAL</b>		5%		
FECHA DE ENSAYO:									

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA						
ESPÉCIMEN	Lo (mm)	Ao (mm)	Ho (mm)	Carga Máx(kg)	Ab (cm <sup>2</sup> )	fb (kg/cm <sup>2</sup> )
RC 01	23.058	12.124	8.972	43069	279.56	154.06
RC 02	22.998	12.138	9.116	29758	279.15	106.6
RC 03	23.056	12.148	9.402	50823	280.08	181.46
RC 04	23.076	12.176	9.064	23457	280.97	83.49
RC 05	13.178	12.22	9.076	28156	161.04	174.84
fb promedio						140.09
Desviación estándar						43.13
Coeficiente de variación						44.48
fb (kg/cm <sup>2</sup> )						96.96

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: BRYAN CALEB PAREDES LOZANO	NOMBRE: VICTOR CUZCO MINCHAN	NOMBRE: HENRY VILLANUEVA BAZÁN
FECHA: 20/07/2023	FECHA: 20/07/2023	FECHA: 20/07/2023