



Universidad Nacional  
**SAN LUIS GONZAGA**



## [Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0)

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>



## INFORME DE REVISIÓN

Se ha realizado el análisis con el software antiplagio de la Universidad Nacional "San Luis Gonzaga", por parte de los docentes reponsables, al documento cuyo título es:

### APLICACIÓN DE NORMAS PARA LA ELABORACION DE UNIDADES DE ALBAÑILERIA CON CONCRETO LIVIANO Y LA INFLUENCIA EN EL CONFORT EN LAS VIVIENDAS DE LA CIUDAD DE ICA

presentado por:

**GEORGINA PAULESTY ARAUJO TAYA**

del nivel **PREGRADO** de la facultad de **INGENIERIA CIVIL** obteniéndose como resultado una coincidencia de **6.84%** otorgándosele el calificativo de:

**APROBADO**

Se adjunta al presenta el reporte de evaluación del software antiplagio.

Observaciones:

**APROBADO LA EVALUACION DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE TESIS** el cual se evidencia el nivel de similitud del 6.84% de conformidad a la R.R. 1668 - R - UNICA - 2020, art. 18.2

Ica, 20 de Enero de 2021

**MARTIN HAMILTON WILSON**  
**HUAMANCHUMO**  
**COORDINADOR**  
**SOFTWARE ANTIPLAGIO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

**EDITH ISABEL GUERRA LANDA**  
**ASESOR**  
**SOFTWARE ANTIPLAGIO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA" DE ICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**"APLICACIÓN DE NORMAS PARA LA ELABORACIÓN DE  
UNIDADES DE ALBAÑILERÍA CON CONCRETO LIVIANO Y LA  
INFLUENCIA EN EL CONFORT EN LAS VIVIENDAS DE LA  
CIUDAD DE ICA"**

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil**

**AUTOR**

**BACH. GEORGINA PAULESTY ARAUJO TAYA**

**Ica, Perú**

**2021**

**A MIS PADRES POR SU APOYO Y  
ALIENTO INCONDICIONAL EN TODA LA  
ETAPA UNIVERSITARIA.**

**PARA AQUELLOS DOCENTES DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, QUE  
FORMARON MI PERSONALIDAD  
PROFESIONAL.**

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	7
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	7
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b> .....	8
<b>RESUMEN</b> .....	9
<b>SUMMARY</b> .....	10
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	12
<b>CAPITULO I: MARCO TEÓRICO</b> .....	13
<b>1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>13</b>
1.1.1 Antecedentes a nivel internacional .....	13
1.1.2 Antecedentes a nivel nacional.....	14
1.1.3 Antecedentes a nivel local .....	15
<b>1.2 BASES TEÓRICAS DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>15</b>
1.2.1 CONCRETO .....	15
1.2.1.1 Definición .....	15
1.2.1.2 Componentes .....	16
1.2.1.2.1 Cemento .....	16
1.2.1.2.2 Agua de mezcla para concreto .....	16
1.2.1.2.3 Agregados para concreto.....	17
1.2.1.2.4 Aditivos .....	17
1.2.1.3 Propiedades del concreto en estado fresco .....	17
1.2.1.3.1 Trabajabilidad, docilidad o manejabilidad.....	17
1.2.1.3.2 Consistencia .....	17
1.2.1.3.3 Segregación .....	18
1.2.1.3.4 Exudación o sangrado .....	18
1.2.1.3.5 Contracción .....	18
1.2.1.4 Propiedades del concreto en estado endurecido .....	18
1.2.1.4.1 Impermeabilidad .....	19
1.2.1.4.2 Durabilidad.....	19
1.2.1.4.3 Resistencia.....	19

1.2.1.4.4	Elasticidad .....	19
1.2.1.4.5	Extensibilidad.....	19
1.2.2	ALBAÑILERÍA O MAMPOSTERÍA.....	20
1.2.2.1	Antecedentes históricos .....	20
1.2.2.2	Definición .....	20
1.2.2.3	Unidad de albañilería .....	21
1.2.2.3.1	Clasificación.....	21
1.2.2.3.2	Propiedades .....	23
1.2.2.3.3	Ensayos clasificatorios y no clasificatorios.....	24
1.2.2.4	Mortero.....	28
1.2.2.4.1	Componentes del mortero .....	28
1.2.2.4.2	Tipos de mortero .....	29
1.2.2.4.3	Propiedades del mortero.....	29
1.2.2.5	Clasificación albañilería o mampostería .....	30
1.2.2.5.1	Por la función estructural y sollicitaciones actuantes.....	30
1.2.2.5.1.1	Muros no portantes.....	30
1.2.2.5.1.2	Muros portantes.....	30
1.2.2.5.2	Por la distribución del refuerzo .....	30
1.2.2.5.2.1	Muros no reforzados o albañilería simple.....	30
1.2.2.5.2.2	Muros reforzados.....	30
1.2.2.6	Propiedades de la albañilería simple .....	31
1.2.2.6.1	Resistencia a la compresión axial de prismas de albañilería.....	31
1.2.2.6.1.1	Ensayo de compresión de pilas de albañilería.....	32
1.2.2.6.2	Resistencia a la tracción diagonal de la albañilería.....	34
1.2.2.6.2.1	Ensayo de compresión diagonal (corte) de la albañilería.....	34
1.2.3	CONCRETO LIVIANO .....	35
1.2.3.1	Antecedentes .....	35
1.2.3.2	Definición .....	36
1.2.3.3	Composición .....	37
1.2.3.3.1	Agregados livianos .....	37
1.2.3.3.1.1	Agregados de origen natural.....	37
1.2.3.3.1.2	Agregados de origen artificial .....	37

1.2.3.4	Tipos de Concreto Liviano .....	38
1.2.3.4.1	Concreto liviano estructural.....	38
1.2.3.4.2	Concreto liviano aislante de baja resistencia .....	38
1.2.3.4.3	Concreto liviano aislante y de moderada resistencia .....	38
1.2.3.5	Propiedades .....	39
1.2.3.5.1	Resistencia mecánica .....	39
1.2.3.5.2	Conductividad térmica.....	39
1.2.3.5.3	Aislación acústica .....	39
1.2.3.5.4	Durabilidad .....	39
1.2.3.6	Ventajas y desventajas .....	40
1.2.3.7	Aplicaciones.....	41
1.2.4	POLIESTIRENO EXPANDIDO - EPS.....	41
1.2.4.1	Definición .....	41
1.2.4.2	Composición .....	42
1.2.4.3	Propiedades.....	42
1.2.4.3.1	Propiedades físicas.....	42
1.2.4.3.2	Propiedades biológicas .....	43
1.2.4.4	Aplicaciones.....	44
1.2.4.5	Ventajas y desventajas .....	44
1.2.5	CONFORT TÉRMICO.....	45
1.2.5.1	Generalidades.....	45
1.2.5.2	Definición .....	45
1.2.5.3	Factores que intervienen .....	46
1.2.5.4	Aislación térmica .....	46
1.2.5.5	Materiales aislantes.....	48
<b>1.3</b>	<b>MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>49</b>
1.3.1	Confort térmico.....	49
1.3.2	Concreto liviano.....	49
1.3.3	Conductividad térmica.....	49
1.3.4	Normas de albañilería .....	49
1.3.5	Unidades de albañilería.....	50
1.3.6	Muros portantes .....	50

1.3.7	Muros no portantes .....	50
1.3.8	Poliestireno expandido.....	50
<b>CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b>		<b>51</b>
2.1	<b>SITUACIÓN PROBLEMÁTICA</b> .....	<b>51</b>
2.2	<b>FORMULACIÓN DE PROBLEMAS</b> .....	<b>52</b>
2.2.1	Problema general .....	52
2.2.2	Problemas específicos.....	52
2.3	<b>DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	<b>53</b>
2.4	<b>JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>53</b>
2.4.1	Justificación .....	53
2.4.2	Importancia .....	53
2.5	<b>OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>53</b>
2.5.1	Objetivo General .....	53
2.5.2	Objetivos específicos .....	53
2.6	<b>HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>54</b>
2.6.1	Hipótesis general .....	54
2.6.2	Hipótesis específicas .....	54
2.7	<b>VARIABLES DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>54</b>
2.7.1	Identificación de variables.....	54
2.7.2	Operacionalización de variables .....	54
<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>		<b>56</b>
3.1	<b>TIPO, NIVEL Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>56</b>
3.2	<b>POBLACIÓN Y MUESTRA MATERIA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>56</b>
<b>CAPÍTULO IV. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN</b> .....		<b>56</b>
4.1	<b>TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b> .....	<b>56</b>
4.2	<b>INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b> .....	<b>57</b>
4.3	<b>TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>57</b>
<b>CAPÍTULO V. PRESENTACIÓN, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....		<b>57</b>
5.1	<b>PRESENTACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>57</b>
5.2	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>83</b>
<b>CAPÍTULO VI. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS</b> .....		<b>84</b>

<b>6.1 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS GENERAL .....</b>	<b>84</b>
<b>6.2 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....</b>	<b>84</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>85</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>87</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>93</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Fig. N° 1: Sección transversal del concreto endurecido. ....</b>	<b>15</b>
<b>Fig. N.º 2: Exudación en el concreto.....</b>	<b>18</b>
<b>Fig. N° 3 : Bloques de concreto y de arcilla. ....</b>	<b>21</b>
<b>Fig. N° 4 : Medida de aristas de unidades de albañilería.....</b>	<b>26</b>
<b>Fig. N° 5: Medición del alabeo de la unidad.....</b>	<b>26</b>
<b>Fig. N° 6: Muro laminar.....</b>	<b>31</b>
<b>Fig. N° 7: Muestras de prismas para ensayar.....</b>	<b>33</b>
<b>Fig. N° 8: Falla por trituración de pila.....</b>	<b>34</b>
<b>Fig. N° 9: Ensayo de corte.....</b>	<b>35</b>
<b>Fig. N° 10: Resistencia térmica vs. Densidad del concreto .....</b>	<b>39</b>
<b>Fig. N° 11: Proporciones típicas de componentes del concreto.....</b>	<b>63</b>
<b>Fig. N° 12: Moldes de madera de 25x12.5x9 cm para ladrillos de concreto ligero .....</b>	<b>74</b>
<b>Fig. N° 13: Esquema de ensayo no estandarizado. ....</b>	<b>81</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla N° 1: Límites permisibles para el agua de mezcla y curado .....</b>	<b>16</b>
<b>Tabla N° 2 : Clasificación de unidades de albañilería para fines estructurales.....</b>	<b>22</b>
<b>Tabla N° 3: Tipos de mortero .....</b>	<b>29</b>
<b>Tabla N° 4: Factores de corrección por esbeltez. ....</b>	<b>32</b>
<b>Tabla N° 5: Concretos Especiales .....</b>	<b>36</b>
<b>Tabla N° 6: Temperatura máxima y mínima registrada en el 2018. ....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla N° 7: Operacionalización de variables .....</b>	<b>55</b>
<b>Tabla N° 8: Resultado de Ensayo de granulometría del agregado fino .....</b>	<b>58</b>
<b>Tabla N° 9: Resultados Ensayo de Contenido Humedad.....</b>	<b>59</b>
<b>Tabla N° 10: Resultados Ensayo Peso específico y Absorción.....</b>	<b>60</b>
<b>Tabla N° 11: Resultados Ensayo P.U.S. del agregado fino.....</b>	<b>60</b>
<b>Tabla N° 12: Resultados Ensayo P.U.C. del agregado fino .....</b>	<b>61</b>
<b>Tabla N° 13: Resultados de ensayo no normalizado. ....</b>	<b>61</b>

<b>Tabla N° 14:</b> <i>Resumen de Resultados</i> .....	62
<b>Tabla N° 15:</b> <i>Cálculo en volumen de componentes</i> .....	65
<b>Tabla N° 16:</b> <i>Volumen de los componentes por m<sup>3</sup></i> .....	65
<b>Tabla N° 17:</b> <i>Componentes recalculados</i> .....	66
<b>Tabla N° 18:</b> <i>Pesos para 1m<sup>3</sup></i> .....	67
<b>Tabla N° 19:</b> <i>Pesos para 6 probetas</i> .....	68
<b>Tabla N° 20:</b> <i>Pesos para 1m<sup>3</sup></i> .....	68
<b>Tabla N° 21:</b> <i>Pesos para 6 probetas</i> .....	69
<b>Tabla N° 22:</b> <i>Resultados del 1er Diseño en Probetas 6inx12in</i> .....	70
<b>Tabla N° 23:</b> <i>Resultados del 2do diseño en Probetas 6inx12in</i> .....	71
<b>Tabla N° 24:</b> <i>Resultados Promedios Diseño N°1 y N°2</i> .....	72
<b>Tabla N° 25:</b> <i>Dosificación óptima para el diseño de ladrillos de Concreto Ligero</i> .....	73
<b>Tabla N° 26:</b> <i>Variación de dimensiones</i> .....	75
<b>Tabla N° 27:</b> <i>Ensayo de absorción</i> .....	76
<b>Tabla N° 28:</b> <i>Contenido humedad</i> .....	77
<b>Tabla N° 29:</b> <i>Densidad de unidades</i> .....	77
<b>Tabla N° 30:</b> <i>Resistencia a la compresión unidades a los 7 días</i> .....	78
<b>Tabla N° 31:</b> <i>Resultados promedios a los 7 días sin descontar una Desviación Estándar (<math>\sigma</math>)</i> .....	78
<b>Tabla N° 32:</b> <i>Resultado promedio de Resistencia a la compresión <math>f'b</math> de ladrillos a los 7 días con desviación estándar</i> .....	78
<b>Tabla N° 33:</b> <i>Resistencia a la compresión unidades a los 28 días</i> .....	79
<b>Tabla N° 34:</b> <i>Resultados promedios a los 28 días sin descontar una Desviación Estándar (<math>\sigma</math>)</i> .....	79
<b>Tabla N° 35:</b> <i>Resultado promedio de Resistencia a la compresión <math>f'b</math> de ladrillos a los 28 días</i> .....	79
<b>Tabla N° 36:</b> <i>Ensayo de pilas</i> .....	80
<b>Tabla N° 37:</b> <i>Ensayo de pilas descontando una desviación estándar</i> .....	80
<b>Tabla N° 38:</b> <i>Control de temperatura de unidades de albañilería</i> .....	81

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico N° 1:</b> <i>Curva Granulométrica</i> .....	59
<b>Gráfico N° 2:</b> <i>Resumen de resultados Diseño N°1 y N°2</i> .....	72
<b>Gráfico N° 3:</b> <i>Comparativo de temperatura entre 2 unidades de distinto material</i> .....	82
<b>Gráfico N° 4:</b> <i>Resistencia compresión <math>f'b</math> (kg/cm<sup>2</sup>) de unidades de albañilería</i> .....	82
<b>Gráfico N° 5:</b> <i>Comparativo de temperatura entre 2 unidades de distinto material</i> .....	83

## RESUMEN

Esta investigación tiene por finalidad diseñar un tipo de unidad de albañilería (ladrillo) a base de concreto liviano incluyendo el poliestireno expandido para que sea aplicado en las viviendas Ciudad de Ica, esta unidad debe presentar características térmicas favorables para mejorar el confort térmico de los recintos. Asimismo, sus propiedades mecánicas deben cumplir los parámetros establecidos en la norma E.070 para que en un futuro uso sea aplicado como muro portante.

El desarrollo de la investigación inicia con la definición de conceptos básicos, posteriormente se expondrá el desarrollo del diseño de mezclas y ensayos requeridos de comprobación. En la parte final se expondrá las conclusiones y recomendaciones.

*Palabras claves:* Unidad de albañilería, concreto ligero, ladrillos ligeros, etc.

## SUMMARY

This research aims to design a type of masonry unit (brick) based on lightweight concrete including expanded polystyrene to be applied in the city of Ica housing, this unit must have favorable thermal characteristics to improve the thermal comfort of homes. Likewise, its mechanical properties must meet the parameters established in the E.070 standard so that in a future use it will be applied as a bearing wall.

The development of the investigation begins with the definition of basic concepts, later the development of the design of mixtures and required tests of verification will be exposed. The conclusions and recommendations will be presented in the final part.

*Keywords:* Masonry unit, light concrete, light bricks, etc.

**UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA” DE ICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**“APLICACIÓN DE NORMAS PARA LA ELABORACIÓN DE  
UNIDADES DE ALBAÑILERÍA CON CONCRETO LIVIANO Y LA  
INFLUENCIA EN EL CONFORT EN LAS VIVIENDAS DE LA  
CIUDAD DE ICA”**

**ÁREA DE CONOCIMIENTO:**

**TECNOLOGÍA DE MATERIALES**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

**MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

**AUTOR:**

**BACH. GEORGINA PAULESTY ARAUJO TAYA**

**ASESOR:**

**ING. FÉLIX ORMEÑO GRADOS**

## INTRODUCCIÓN

La necesidad de los seres humanos de protegerse de la temperatura del ambiente, humedad y otros factores externos que interfieren con su tranquilidad, ha sido un problema constante con el que ha lidiado la humanidad desde el inicio de los tiempos.

Durante el diseño y construcción de edificaciones se consideran diversos aspectos, pero dentro de estos aspectos el confort térmico no tiene un papel protagónico. Como ingenieros, nuestro papel es pensar en todos los problemas que se puedan presentar y que puedan afectar a la edificación para así brindar soluciones antes de su puesta en marcha. Estas soluciones deben estar relacionadas al ahorro de costos por mantenimiento.

Un punto importante que debe ser considerado es que los elementos envolventes de una vivienda, cumplen un papel fundamental en el aislamiento, ya que son los muros perimetrales los que mayor incidencia tienen en la conservación de la temperatura al interior del recinto. Es allí de donde proviene el interés mejorar la calidad térmica de aquellos materiales de mayor preferencia en el mercado, como por ejemplo el ladrillo.

Esta investigación tiene por finalidad diseñar un tipo de unidad de albañilería (ladrillo) que presente características térmicas favorables para que pueda mejorar el confort térmico de las viviendas en la ciudad de Ica. Esta unidad de albañilería será elaborada con concreto liviano incluyendo dentro de sus componentes al agregado artificial - poliestireno expandido (EPS) - conocido comúnmente como tecnopor.

El desarrollo de la investigación empieza con una amplia definición de conceptos de albañilería, para continuar con conceptos sobre concreto liviano, poliestireno expandido, importancia del confort térmico y posteriormente entrar al desarrollo de todos los ensayos necesarios para verificar la calidad de los materiales y poder realizar el diseño de mezclas.

## **CAPITULO I: MARCO TEÓRICO**

### **1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

La presente tesis de investigación, surgió a raíz de la problemática que presenta las viviendas de la Ciudad de Ica respecto al clima cálido, por ello surgió la idea de desarrollar un material que solucione dicha problemática y que cumpla con los requisitos establecidos para ser una unidad de albañilería estructural. Con los antecedentes descritos, se recopiló información de diferentes fuentes que sirvieron como base para la investigación.

#### **1.1.1 Antecedentes a nivel internacional**

Se han encontrado diversos estudios relacionados a la investigación como: Rivas (2010), en su tesis tiene como objetivo determinar la variación que experimenta el concreto al reemplazar el agregado grueso por diversos porcentajes en volumen de perlas de Aislapol. Las propiedades estudiadas fueron docilidad, densidad y resistencia a la compresión. Como conclusión tuvo que la resistencia a la compresión disminuyó a medida que aumentó el porcentaje en volumen de perlas de Aislapol. La resistencia más baja se obtuvo con el mayor porcentaje de Aislapol, tanto a los 7 como a los 28 días.

Quezada (2010), en su tesis tiene como objetivo realizar un comparativo técnico y económico para la elaboración de bloques con concreto liviano en base a poliestireno expandido. Según sus resultados de ensayos de compresión se determinó una resistencia promedio de 47.63Kg/cm<sup>2</sup>, con un peso 25,7% menor al de un bloque tradicional. Finalmente se llegó a la conclusión de que los bloques fabricados con concreto ligero a base de poliestireno cumplen con la normatividad chilena y su costo se puede compensar con mejores rendimientos y ahorro en el costo de transporte.

Valdez & Suarez (2010) en su tesis de investigación brinda el alcance sobre los elementos que se pueden utilizar como agregados para la elaboración de concretos livianos, resaltando los beneficios de éstos, tales como mejor aislación acústica, así como una mejor resistencia al fuego, un mejor aislamiento térmico, entre otros que no son brindados por el hormigón convencional.

Almonacid (2010) en su tesis tiene como objetivo el estudio de la aplicación de un material alternativo en la producción de hormigones livianos, evaluando el comportamiento de los mismos y usando como materia prima

Poliestireno Expandido Modificado (MEPS), en reemplazo del agregado grueso natural. La investigación demostrará, un estudio experimental sobre la utilización de MEPS en hormigones livianos, ayudando a la reutilización del poliestireno expandido, optimizando el uso de este material.

#### 1.1.2 Antecedentes a nivel nacional

Algunas investigaciones relacionadas a la presente investigación son:

Paulino & Espino (2017) en su tesis realizan un análisis comparativo entre materiales como el concreto simple y el concreto liviano con poliestireno a través de unidades de albañilería para analizar sus propiedades como aislamiento térmico, acústico y menor peso. Se midieron propiedades como resistencia, peso y densidad a través de ensayos estandarizados. Finalmente se hizo un análisis costo beneficio, describiendo los pro y contras de unidades de concreto simple y unidades de concreto ligero.

Rodríguez (2017) tiene en su investigación como tema central la determinación de las propiedades físico – mecánicas del concreto liviano a base de poliestireno expandido para la elaboración de bloques. Se realizaron varias dosificaciones para diferentes pesos unitarios de concreto (1200kg/cm<sup>3</sup>, 1400kg/cm<sup>3</sup>, 1400kg/cm<sup>3</sup> y 600kg/cm<sup>3</sup>). Se utilizó el poliestireno expandido modificado (MEPS) para incrementar la densidad de las partículas de poliestireno. Finalmente se verificó que los bloques elaborados presentan diversas propiedades y cumplen los requisitos físicos y mecánicos establecidos en la normativa peruana referente a bloques de concreto, logró diseñar y elaborar bloques de Concreto Ligero con un peso específico de 1624.36 kg/m<sup>3</sup>, con una resistencia a la compresión de 62.75 kg/cm<sup>2</sup> mayor a 6.00 Mpa resistencia mínima estipulada en la norma NTP 399.600 y NTP 399.602.

Amasifuén (2018) indica que su tesis de investigación se enmarcó principalmente en la búsqueda de una adecuada proporción de materiales para el diseño de un concreto ligero para que pueda ser empleado como un bloque que debe resistir lo mínimo establecido en las NTP y RNE. En la investigación se realizaron varias dosificaciones para concretos de densidades 1200 kg/m<sup>3</sup>, 1400 kg/m<sup>3</sup> y 1600 kg/m<sup>3</sup>, siendo el diseño de 1600kg/m<sup>3</sup> el diseño óptimo y a partir de ella se elaboraron los bloques. Finalmente el autor indica en las conclusiones

que sus bloques cumplieron con los requisitos mínimos de resistencia tanto para muros portantes como no portantes.

### 1.1.3 Antecedentes a nivel local

No se han encontrado antecedentes a nivel local.

## 1.2 BASES TEÓRICAS DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.2.1 CONCRETO

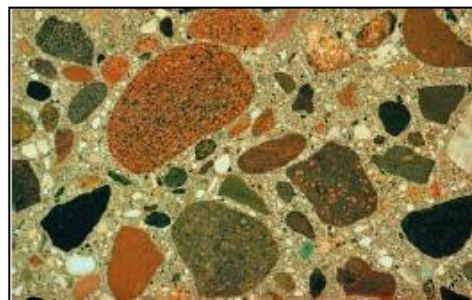
#### 1.2.1.1 Definición

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento Portland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava, creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua. (Kosmatka, Kerkhoff, Paranesi, & Tanesi, 2004, pág. 1)

Es una mezcla de cemento Portland, agregados (fino y grueso), aire y agua en proporciones adecuadas para obtener ciertas propiedades; en la actualidad es usual que se añadan sustancias llamadas aditivos que mejoran o modifican las propiedades del concreto de acuerdo a los requerimientos que se solicite. (Abanto Castillo, 2009).

La calidad del concreto depende íntimamente de la calidad de la pasta y agregado. En un concreto adecuadamente elaborado, toda partícula de agregado está completamente cubierta por la pasta y todos los espacios entre las partículas de agregados se llenan por completo de pasta (Fig. N°01). (Kosmatka, Kerkhoff, Paranesi, & Tanesi, 2004)

**Fig. N° 1:** *Sección transversal del concreto endurecido.*



*Nota.* Tomado de *Diseño y Control de mezclas de concreto* por Kosmatka, Kerkhoff, Paranesi & Tanesi, 2004, Portland Cement Association.

## 1.2.1.2 Componentes

### 1.2.1.2.1 Cemento

Es una material aglomerante e hidrófilo, presenta propiedades como la adherencia y cohesión, el cual permite acoplar agregados para formar un material nuevo con resistencia y durabilidad adecuada (Pacheco, 2017).

El cemento es el componente más importante y activo del concreto, por lo que su adecuada selección, empleo y control son fundamentales para obtener las propiedades deseadas.

En esta investigación nos limitaremos a definir solo a los cementos del tipo Portland.

### 1.2.1.2.2 Agua de mezcla para concreto

Este reacciona químicamente con el cemento para hidratarlo, consecuentemente para lograr la formación del gel y permitir que el conjunto de la masa adquiera propiedades que en estado fresco faciliten una adecuada manipulación y colocación de la misma (Oré, 2014).

**Tabla N° 1:** Límites permisibles para el agua de mezcla y curado

Descripción	Limite permisible		
Sólidos en suspensión (residuo insoluble)	5000	ppm	Máximo
Materia Orgánica	3	ppm	Máximo
Alcalinidad (NaHCO <sub>3</sub> )	1000	ppm	Máximo
Sulfatos (ion SO <sub>4</sub> )	600	ppm	Máximo
Cloruros (ion Cl <sup>-</sup> )	1000	ppm	Máximo
pH	5 a 8	ppm	Máximo

*Nota.* Tomado de NTP 339.088. *Requisitos de Calidad del Agua para el Concreto*, INACAL, 2014.

El agua de mezcla en el concreto tiene tres funciones principales (Cachay, 2019):

- I. Reaccionar con el cemento para hidratarlo.
- II. Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad.
- III. Procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse.

#### 1.2.1.2.3 Agregados para concreto

Considerado como material inerte en la época de Abrams y estudiado posteriormente por numerosos investigadores, hoy se sabe, gracias a los estudios iniciales de Gilkey y los posteriores de Walker, Bloem y Gaynor, entre otros, que los agregados son determinantes en las propiedades del concreto. (Rivva, 2012, pág. 20)

La importancia de la calidad del agregado no se puede subestimar. Estos ocupan cerca del 60% al 75% del volumen del concreto por lo que influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido (Kosmatka, Kerkhoff, Paranesi, & Tanesi, 2004).

#### 1.2.1.2.4 Aditivos

Según Rivva (2014) *“los aditivos son productos que han sido desarrollados con la finalidad de mejorar determinadas propiedades del concreto. No deben ser confundidos con las adiciones”* (pág. 15).

Es definido por la ASTM C 125 como un material diferente que el agua, los agregados, el cemento hidráulico y refuerzo de fibra, el cual es empleado como un ingrediente del cemento o del mortero y es añadido antes o durante el mezclado (American Society For Testing And Materials, 2019).

#### 1.2.1.3 Propiedades del concreto en estado fresco

Es de vital importancia estudiar las propiedades del concreto fresco, ya que la mayoría de las propiedades del concreto endurecido están íntegramente ligadas a sus características en estado plástico.

##### 1.2.1.3.1 Trabajabilidad, docilidad o manejabilidad

Se puede definir como la propiedad la cual determina su capacidad para ser manipulado, transportado, colocado y consolidado adecuadamente, con un mínimo de trabajo y un máximo de homogeneidad, es decir sin segregación. (Rivva, 1992, pág. 31)

##### 1.2.1.3.2 Consistencia

Según Rivva López (1992) es la *“propiedad que define la humedad de la mezcla por el grado de fluidez; entendiéndose que cuanto más húmeda*

es la mezcla mayor será la docilidad con la que el concreto fluirá durante su colocación” (pág. 34).

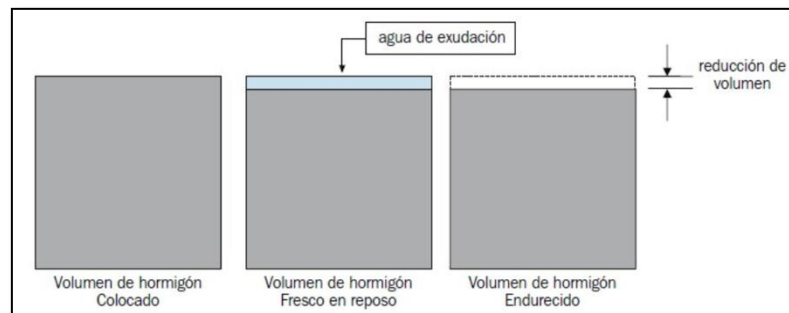
#### 1.2.1.3.3 Segregación

Las diferencias de densidades entre componentes del concreto provocan que los más pesados descendan. Cuando la viscosidad del mortero se reduce por insuficiente concentración de la pasta, mala distribución de las partículas, las partículas gruesas se separan del mortero (Torres, 2004).

#### 1.2.1.3.4 Exudación o sangrado

Propiedad por la cual una parte del agua de mezcla se separa de la masa y sube hacia la superficie recién colocado.

**Fig. N.º 2:** Exudación en el concreto



*Nota.* Adaptado de “*Patologías habituales en el concreto armado*”, por Eduardo Becker, 2016 ([https://www.clarin.com/arq/construccion/Patologias-habituales-hormigon-armado\\_0\\_H1ehF3uDXx.html](https://www.clarin.com/arq/construccion/Patologias-habituales-hormigon-armado_0_H1ehF3uDXx.html)). Obra de Dominio Público.

#### 1.2.1.3.5 Contracción

Es una de las propiedades más importantes en función de los problemas de fisuración. La pasta de cemento necesariamente se contrae debido a la reducción del volumen original de agua por combinación química, y a esto se le denomina contracción intrínseca que es un proceso irreversible.

#### 1.2.1.4 Propiedades del concreto en estado endurecido

Las propiedades que dependen de las características físico – químicas del concreto son:

#### 1.2.1.4.1 Impermeabilidad

Es definido como la capacidad del concreto para impedir el paso del agua a través del mismo. El concreto al ser un sistema poroso, nunca va ser totalmente impermeable. Los factores que influyen son: finura del cemento, cantidad de agua y compacidad.

#### 1.2.1.4.2 Durabilidad

Es la habilidad para resistir la acción de la intemperie el ataque químico, abrasión, y cualquier otro proceso, que produzca deterioro del concreto. Los diferentes tipos de concreto necesitan de diferentes durabilidades, dependiendo de la exposición del ambiente y de las propiedades deseables.

Las propiedades del concreto endurecido que dependen de las características mecánicas son:

#### 1.2.1.4.3 Resistencia

- Resistencia a la compresión, es el máximo esfuerzo que puede ser soportado sin romperse. Es considerada una de las más importantes propiedades del concreto endurecido.
- Resistencia a la tracción, normalmente no se requiere que el concreto resista fuerzas de tracción, sin embargo, esta es importante con respecto al agrietamiento.
- Resistencia al corte, la importancia es evidente a partir del hecho de que los cilindros estándar de concreto probados en la compresión axial suelen fallar por corte a lo largo de un plano inclinado.

#### 1.2.1.4.4 Elasticidad

Capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin tener deformación permanente.

#### 1.2.1.4.5 Extensibilidad

Propiedad del concreto de deformarse sin agrietarse. Se define en función de la deformación unitaria máxima que puede asumir el concreto sin que ocurran fisuraciones. Depende de la elasticidad y del denominado flujo plástico, constituido por la deformación bajo carga constante en el tiempo.

## 1.2.2 ALBAÑILERÍA O MAMPOSTERÍA

### 1.2.2.1 Antecedentes históricos

Recopilando información histórica sobre la mampostería conocida en nuestro país como Albañilería, Gallegos y Cassabone (2005) nos presentan:

La *Albañilería o Mampostería* se define como un conjunto de unidades adheridas entre sí con algún material, como mortero de barro o cemento. Las unidades pueden ser naturales (piedras) o artificiales (adobe, tapias, ladrillos y bloques).

La *primera unidad de albañilería* consistió de una masa amorfa de barro secada al sol; vestigios de esta unidad han sido encontrados en las ruinas de Jericó (Medio Oriente), 7350 años a.C.

El adobe fue llevado al horno unos 3000 años a.C. en Ur, tercera ciudad más antigua del mundo, formándose el *ladrillo de arcilla o cerámico*.

En cuanto al Perú, los ladrillos de arcilla llegaron en la época de la colonia española, y la primera fábrica de ladrillos fue construida en Lima en 1856.

La *primera obra de albañilería reforzada* data del año 1825, en Inglaterra. Brunel (ingeniero británico) construyó 2 accesos verticales a un túnel bajo el río Támesis (Londres).

La *albañilería confinada* fue creada por ingenieros italianos, después que el sismo de 1908 en Sicilia arrasara con las viviendas de albañilería no reforzadas. En Perú, esta ingresa después del terremoto de 1940.

En el Perú, los primeros ensayos sobre elementos de albañilería se realizaron en la década de los 70 y los escasos resultados alcanzados hasta el año de 1982, fueron utilizados para la elaboración de nuestro primer reglamento (Norma E-070, ININVI-82).

### 1.2.2.2 Definición

La albañilería está formada por un conjunto de unidades, adheridas entre sí con materiales adhesivos como el mortero de cemento o el concreto fluido “grout”, o también unidades apiladas sin mortero (San Bartolomé, Quiun, & Silva, 2011).

Los componentes de la albañilería comprenden:

- Unidades de albañilería (ladrillo o bloque) y mortero (mortero artesanal o industrial).
- Concreto Líquido o Grout, acero y concreto, para los elementos de confinamiento.

Esta investigación se limitará a no profundizar conceptos como concreto líquido, acero y concreto para elementos de confinamiento.

### 1.2.2.3 Unidad de albañilería

De acuerdo a Gallegos y Casabonne (2005), señalan que la unidad de albañilería es el componente principal de la albañilería, pudiendo ser esta de arcilla, concreto y mezcla de sílice y cal. Se puede producir en fábricas, o en precarias canchas, incluso al pie de la obra en la que será utilizada, mediante procedimientos rudimentarios y sin ningún control de calidad.

#### 1.2.2.3.1 Clasificación

La clasificación de acuerdo a Gallegos & Cassabone (2005):

- Por sus dimensiones

Las unidades de albañilería pueden ser:

- Ladrillos, se caracterizan por tener dimensiones y pesos que hacen que sea manipulable con una sola mano en el proceso del asentado.
- Bloques, estas unidades están hechas para ser manipulados por ambas manos debido a su peso y dimensiones.

**Fig. N° 3** : *Bloques de concreto y de arcilla.*



*Nota.* Tomado de *Comentarios a la Norma Técnica de Edificación E.070* por A. San Bartolomé, 2008, SENCICO.

- Por su tipología

Según Gallegos & Cassabone (2005) la tipología de las unidades se realiza en base a la función del área neta, medida en proporción a la superficie bruta de la cara de asiento.

Se clasifican de la siguiente manera:

- *Unidades sólidas o macizas*, los alvéolos son perpendiculares a la cara de asiento, no pueden superar el 30% del área de la sección bruta.
- *Unidades huecas*, el área alveolar excede el 30% del área bruta y los alveolos tienen dimensiones tales que pueden llenarse con concreto líquido.
- *Unidades perforadas*, tienen como las unidades huecas, más del 30% del área bruta ocupada por alveolos; sus alveolos son menores a 4x5cm y no pueden ser llenados con concreto líquido.
- *Unidades tubulares*, estas unidades tienen los alveolos paralelos a la cara de asiento.

■ Por su materia prima y fabricación

Según San Bartolomé (1994) se clasifican en:

- Unidades de arcilla, y estas se subclasifican en calcáreas y no calcáreas.
- Unidades de concreto, pueden ser artesanales o industriales.
- Unidades sílico – calcáreas, la materia prima consta de cal hidratada y arena, lo que da lugar a unidades blanco grisáceo.

■ Por fines estructurales (Según NTP E.070)

Según la Norma E.070 de Albañilería, las unidades de Albañilería para efectos estructurales tendrán las características indicadas en la siguiente tabla:

**Tabla N° 2 : Clasificación de unidades de albañilería para fines estructurales.**

TABLA 1 CLASE DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES					
CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN $f_b$ mínimo en Mpa (kg/cm <sup>2</sup> ) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	±8	±6	±4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	±7	±6	±4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	±5	±4	±3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	±4	±3	±2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	±3	±2	±1	2	17,6 (180)
Bloque P (1)	±4	±3	±2	4	4,9 (50)
Bloque NP (2)	±7	±6	±4	8	2,0 (20)

(1) Bloque usado en la construcción de muros portantes.  
(2) Bloque usado en la construcción de muros no portantes.

*Nota.* Tomado de *Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma E.070 “Albañilería”* del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006, El Peruano.

San Bartolomé (2008) hizo comentarios a la Norma E.070:

La mayor variación de dimensiones y el mayor alabeo de las unidades, conducen a un mayor grosor de las juntas de mortero (por encima del valor nominal de 10 mm), lo que trae por consecuencia, una reducción significativa de la resistencia a compresión y a fuerza cortante en la albañilería. Por ello, para clasificar a la unidad con fines estructurales, debe emplearse los resultados más desfavorables de los ensayos indicados en la Tabla 2. (pág. 25)

#### 1.2.2.3.2 Propiedades

Las propiedades relacionadas con la resistencia son:

- Resistencia a la compresión y tracción
- Variabilidad dimensional
- Alabeo
- Succión

Las propiedades relacionadas con la durabilidad son:

- Resistencia a la compresión
- Densidad
- Eflorescencia
- Absorción
- Variación Dimensional

Es la relación de imperfección geométrica del ladrillo ideal con el ladrillo que se tiene en mano. La variabilidad dimensional define la altura de las hiladas, ya que influye en el espesor de la junta de mortero, si es

mayor de lo normal (entre 1 a 1.5 cm) conduce a una albañilería menos resistente en compresión y corte (Gallegos & Casabonne, 2005).

- Alabeo

Es la variación dimensional o deformación de la cara de asentamiento del ladrillo. Se miden con una regla y una cuña milimétrica. El mayor alabeo conduce a un mayor espesor de junta, o incluso puede causar fallas de tracción por flexión en la unidad (San Bartolomé, 1994).

- Absorción

Es una medida de la permeabilidad de la unidad; la absorción máxima, es la medida de la cantidad de agua que puede contener una unidad saturada. Cuanto mayor sea la absorción, se traduce como más porosa y poco resistente a la intemperie.

- Resistencia a la compresión

Es la principal propiedad, los valores altos señalan una buena calidad para todos los fines estructurales y de exposición, los valores bajos en cambio señalan unidades que producirán albañilería poco resistente y poco durable (Gallegos & Casabonne, 2005).

#### 1.2.2.3.3 Ensayos clasificatorios y no clasificatorios

De acuerdo a la Norma E.070, en el Capítulo 3, artículo 5 “Unidad de albañilería”, en el ítem 5.4 menciona los ensayos a considerarse:

Variación dimensional, alabeo, absorción, succión, resistencia a la compresión y porcentaje de vacíos (este ensayo no está considerado en la Norma E.070, pero nos ayudará a clasificar a la unidad como hueca o sólida). Estos ensayos se efectuarán de acuerdo a lo indicado en las Normas Técnicas Peruanas (NTP):

- NTP 399.613 “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de ladrillos de arcilla usados en albañilería.
- NTP 339.604 “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto”.

- Ensayos clasificatorios

- Ensayo de Resistencia a la compresión

La carga de compresión se aplica perpendicular a la superficie de asiento. Si es que el testigo presentase irregularidades, será rellenado con pasta de cemento Portland (poco antes de colocar el recubrimiento o refrentado que puede ser con azufre o yeso – cemento). El ensayo se realiza hasta la rotura.

La resistencia característica a compresión axial de la unidad de albañilería ( $f^b$ ) se obtiene restando una desviación estándar al valor promedio de la muestra. La resistencia característica a la compresión  $f^b$  se halla con las siguientes fórmulas:

Cálculo de la resistencia a compresión del espécimen:

$$f_b = \frac{P}{A}$$

Donde:  
 $f_b$ : Resistencia a compresión del espécimen (Kg/cm<sup>2</sup>).  
 P : Carga de rotura (Kg).  
 A : Promedio del área bruta (cm<sup>2</sup>).

Cálculo de la resistencia característica a la compresión axial de la unidad de albañilería:

$$f^b = \bar{f}_b - \sigma$$

$$\bar{f}_b = \frac{fb_1 + fb_2 + fb_n}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (fb_i - \bar{f}_b)^2}{n - 1}}$$

$$C.Variación = \frac{\sigma}{f_b} \times 100.$$

Donde:  
 $f^b$  : Resistencia característica a compresión axial (Kg/cm<sup>2</sup>).  
 $\bar{f}_b$  : Promedio de la resistencia a la compresión de la muestra (Kg/cm<sup>2</sup>).  
 $\Sigma$  : Desviación estándar de la muestra (Kg/cm<sup>2</sup>).  
 $fb_i$ : Resistencia de cada muestra.  
 n : Número de especímenes.  
 C : Coeficiente de variación (%).

- Ensayo de Variación Dimensional

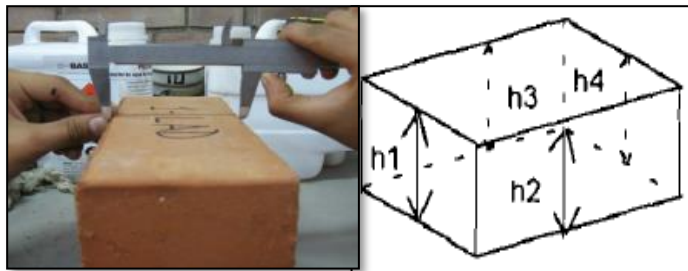
Consiste en medir las tres dimensiones de la unidad (largo, ancho y altura) y se toman como promedio las 4 medidas de cada arista en milímetros. Esta medida se realiza en la parte intermedia de las

superficies, estos resultados se vuelven a promediar para toda la muestra, obteniéndose el valor promedio de la arista (Dp).

La variación dimensional (V) es calculada entre la diferencia de la dimensión especificada por el fabricante (De) y la dimensión promedio (Dp) y se multiplica al resultado por 100.

$$V\% = \frac{(De - Dp)}{De} \times 100$$

**Fig. N° 4 :** Medida de aristas de unidades de albañilería

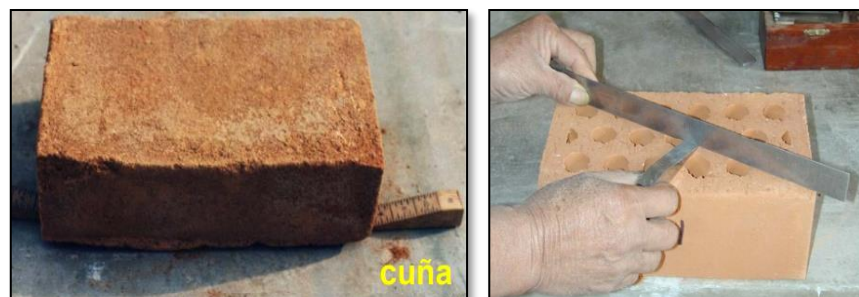


*Nota.* Tomado de *Construcciones de Albañilería – Comportamiento sísmico y estructural* por A. San Bartolomé, 1994, Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

- Ensayo de Alabeo

La prueba se realiza colocando la superficie de asiento de la unidad sobre una mesa plana, luego se introduce una cuña metálica graduada al milímetro en la zona más alabeada; también debe colocarse una regla que conecte los extremos diagonalmente opuestos de la unidad para después introducir la cuña en el mayor punto de deflexión. El resultado se expresa en milímetros.

**Fig. N° 5:** Medición del alabeo de la unidad.



*Nota.* Tomado de *Construcciones de Albañilería – Comportamiento sísmico y estructural* por A. San Bartolomé, 1994, Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

- Ensayos no clasificatorios
- Ensayo de Succión

El ensayo emplea especímenes secados al horno durante 24 horas a 110°C o al aire libre, pasado el tiempo se pesan las unidades con precisión de 0.50gr. Se realizan las mediciones con precisión milimétrica de los lados que estarán en contacto con el agua.

En una bandeja nivelada, se coloca la muestra y se vierte agua hasta los 3mm de altura, se dejará reposar durante 1 minuto, e inmediatamente se pesan los especímenes.

Se calcula:

$$S = \frac{200.W}{L.B}$$

$$W = P. \text{húmedo} - P. \text{seco}$$

Donde:

S : Succión normalizada a 200cm<sup>2</sup> (gr/200cm<sup>2</sup>-min).  
W: Diferencia entre el peso húmedo y el peso seco (gr).  
L : Largo de la superficie de asiento (cm).  
B : Ancho de la superficie de asiento (cm).

- Ensayo de Absorción

El ensayo emplea especímenes secados al horno durante 24 horas a 110°C o al aire libre. Seguidamente se pesan los especímenes y se sumergen en agua a una temperatura 15.5 a 30°C durante 24 horas. Finalmente se pesan los especímenes dentro de los 5 minutos después de retirados del agua. Se calcula mediante la siguiente expresión:

Donde:

A : Absorción (%).  
Wa: Peso de la unidad saturada luego de 24 horas de inmersión en agua (gr).  
Ws: Peso seco de la unidad (gr).

$$A(\%) = \frac{(W_a - W_s)}{W_s} \times 100$$

- Ensayo de Porcentaje de vacíos

Para el ensayo es necesario una pipeta y arena de Ottawa. Se llenan los agujeros de la unidad con arena, luego se enrasa. Por último, la arena contenida en los agujeros es colocada en la pipeta para determinar el volumen. El volumen se compara con el total de la unidad de la albañilería. El porcentaje de halla con la siguiente expresión:

$$V\% = \frac{100 \times V_a}{V_u}$$

Donde:

V : Porcentaje de vacíos.

Va: Volumen de la arena.

Vu: Volumen de la unidad de albañilería.

Si el porcentaje de vacíos es mayor al 30% se trata de una unidad de albañilería hueca, si es menor se trata de una unidad sólida.

#### 1.2.2.4 Mortero

Según Gallegos & Casabonne (2005), en el libro Albañilería Estructural, define al mortero como un adhesivo, y la adhesión fuerte y durable con la unidad de albañilería es su principal objetivo.

##### 1.2.2.4.1 Componentes del mortero

- Cemento, responsable de la adhesión y resistencia inicial y final (Gallegos & Casabonne, 2005).
- Cal, si es empleada debe ser hidratada y normalizada, ya que pueden contener partículas muy finas que en vez de funcionar como aglomerante, lo hacen como residuos inertes (San Bartolomé, 1994).
- Agregado fino, es conveniente que la arena sea gruesa, con granos redondeados y de una granulometría completa.
- Agua, debe ser potable, libre de materias orgánicas y de sustancias deletéreas como aceite, ácidos, entre otros.

#### 1.2.2.4.2 Tipos de mortero

- Según su composición

Según los materiales que lo conforme se clasifican en morteros de cemento y cal, de cemento y de cal.

- Según el proceso de fabricación

- Mortero artesanal, este tipo de mortero se prepara a pie de obra, con una dosificación y control de calidad.

- Mortero industrial, deben cumplir los estándares de la normativa peruana. Los morteros embolsados deben de tener el mismo tratamiento que el cemento.

- Para fines estructurales (NTP E.070)

La NTP E.070 menciona los tipos de mortero que están en función al uso, el tipo P, empleado en la construcción de los muros portantes; y NP, utilizado en los muros no portantes (ver Tabla N°3). Los componentes del mortero tendrán las proporciones volumétricas (en estado suelto) indicadas en la Tabla N°3.

**Tabla N° 3: Tipos de mortero**

Tipos de Mortero				
Componentes				Usos
Tipo	Cemento	Cal	Arena	
P1	1	0-1/4	3 a 3 ½	Muros Portantes
P2	1	0-1/2	4 a 5	Muros Portantes
NP	1	-	Hasta 6	Muros no Portantes

*Nota.* Tomado de *Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma E.070 “Albañilería”* del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006, El Peruano.

#### 1.2.2.4.3 Propiedades del mortero

Poseen dos grupos de propiedades, unas para morteros en estado plástico y otra para mortero endurecido.

- En estado plástico
 

La propiedad esencial del mortero es su temple, que es la cualidad de poder ser manipulado, de adherirse a superficies verticales de las unidades (San Bartolomé, 1994).

  - Fluidez o consistencia, se define como la capacidad que tiene la mezcla de poder fluir o de ser trabajable.
  - Retentividad, es la capacidad para mantener su consistencia, o de continuar siendo trabajable después de un lapso de tiempo.
- En estado endurecido
 

Las principales son la adhesión con las unidades y la resistencia a la compresión (Gallegos & Casabonne, 2005).

  - Resistencia a la Compresión, es importante cuando el mortero se usa en albañilería ya que se exige que tenga una resistencia mayor o igual al de la unidad.

#### 1.2.2.5 Clasificación albañilería o mampostería

Se clasifica de 2 maneras:

##### 1.2.2.5.1 Por la función estructural y sollicitaciones actuantes

###### 1.2.2.5.1.1 Muros no portantes

San Bartolomé (1994) en su libro define a los muros no portantes como aquellos que no reciben carga vertical, estos muros se deben diseñarse básicamente para cargas perpendiculares a su plano, originadas por el viento, sismo u otras cargas de empuje.

###### 1.2.2.5.1.2 Muros portantes.

Son los que se emplean como elementos estructurales. Estos están sujetos a todo tipo de cargas verticales y laterales (cargas sísmicas) (San Bartolomé, 1994).

##### 1.2.2.5.2 Por la distribución del refuerzo

###### 1.2.2.5.2.1 Muros no reforzados o albañilería simple.

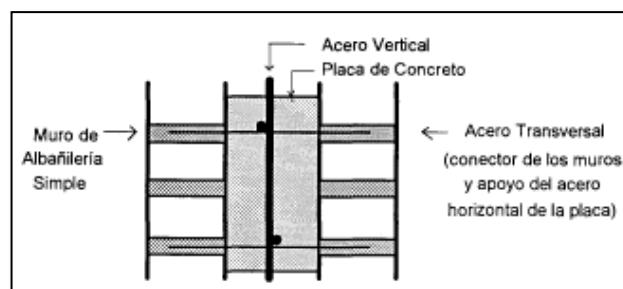
Son aquellos muros que carecen de refuerzo; o teniéndolo, no cumplen con las especificaciones mínimas reglamentarias.

###### 1.2.2.5.2.2 Muros reforzados.

De acuerdo con la disposición del refuerzo se clasifican en:

- Muros armados, se caracterizan por llevar refuerzo en el interior de la albañilería. El refuerzo es por lo general distribuido a lo largo de la altura del muro (refuerzo horizontal) como de su longitud (refuerzo vertical).
- Muros laminares, o “sándwich”, son aquellos muros que están constituidos por una placa delgada de concreto reforzado con una malla de acero central, y por dos muros de albañilería simple que servirán como encofrado de la placa (San Bartolomé, 1994).

**Fig. N° 6:** Muro laminar



*Nota.* Tomado de *Construcciones de Albañilería – Comportamiento sísmico y estructural* por A. San Bartolomé, 1994, Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

- Muros confinados, es el sistema de construcción formado por muro de ladrillos, reforzado con elementos de concreto armado en todo su perímetro, en los extremos por columnas de amarre y en la parte superior por viga de concreto.

#### 1.2.2.6 Propiedades de la albañilería simple

La resistencia de la albañilería a compresión, tracción y corte definen el comportamiento estructural de los diferentes elementos ante las solicitaciones reales y con el fin de determinar dichas resistencias, se han diseñado una serie de ensayos en pequeños especímenes.

##### 1.2.2.6.1 Resistencia a la compresión axial de prismas de albañilería

El espécimen para la determinación de la resistencia a la compresión de la albañilería, está estandarizado a nivel internacional. Consiste en un

prisma de unidades asentadas una sobre la otra, construidas en una base plana y nivelada.

Los prismas serán construidos con unidades de tamaño completo o reducido. Se tendrá en cuenta la esbeltez y altura mínima de los prismas realizados con unidades de albañilería. Para ello, se tendrá una altura mínima de 2 unidades, con una relación alto – espesor,  $h_p/tp$ , entre 2,0 y 5,0. Los investigadores recomiendan que la esbeltez mínima sea de 4 para minimizar los efectos de restricción en los extremos (Gallegos & Casabonne, 2005).

#### 1.2.2.6.1.1 Ensayo de compresión de pilas de albañilería.

Se ensayarán los prismas a los 28 días o a la edad solicitada. La resistencia a compresión axial de una pila se obtiene dividiendo la carga de compresión de cada prisma entre el área bruta. Este valor se corrige por el factor de esbeltez especificado en la Norma E.070.

En pilas pequeñas los valores obtenidos del ensayo serán mayores que una pila esbelta, por esta razón la norma E.070 proporciona factores de corrección por esbeltez. Los factores de la norma E.070 difieren de los indicados en la NTP 339.605 “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería” pero estos valores están justificados mediante pruebas experimentales hechas en 60 pilas (San Bartolomé, Quiun, & Silva, 2011).

**Tabla N° 4:** Factores de corrección por esbeltez.

FACTORES DE CORRECCIÓN DE $f'_m$ POR ESBELTEZ						
Esbeltez	2,0	2,5	3,0	4,0	4,5	5,0
Factor	0,73	0,80	0,91	0,95	0,98	1,00

*Nota.* Tomado de *Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma E.070 “Albañilería”* del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006, El Peruano.

La resistencia característica  $f'm$  se obtendrá como el valor promedio de la muestra ensayada menos la desviación estándar. La resistencia de la albañilería se determina con por la ecuación:

$$f_m1 = aC(P/A)$$

$$f'm = f_m - \sigma$$

Donde:

$f_m1$ : Resistencia a la compresión de una pila. (Kg/m<sup>2</sup>)

$a$ : Coeficiente relacionado a la edad del testigo (es 1 a los 28 días).

$C$ : Factor de corrección por esbeltez.

$P$ : Carga Máxima registrada (kg/m<sup>2</sup>).

$A$ : Área de la sección transversal (m<sup>2</sup>).

$f_m$ : Promedio de resultados de las pruebas.

$\sigma$ : Desviación estándar.

**Fig. N° 7:** Muestras de prismas para ensayar.



*Nota.* Tomado de *Comentarios a la Norma Técnica de Edificación E.070* por A. San Bartolomé, 2008, SENCICO.

San Bartolomé (2008) menciona que la falla ideal en pilas es una grieta vertical en la cara de menor dimensión, que atraviesa unidades y mortero. Las fallas por trituración son indeseables por considerarse como frágiles y explosivas.

**Fig. N° 8:** *Falla por trituración de pila.*



*Nota.* Tomado de *Comentarios a la Norma Técnica de Edificación E.070* por A. San Bartolomé, 2008, SENCICO.

#### 1.2.2.6.2 Resistencia a la tracción diagonal de la albañilería

Es el ensayo más conocido para determinar la resistencia al corte o tracción diagonal debido a la similaridad de falla del ensayo respecto a la falla de muros en edificaciones ante acciones sísmicas. Algunos investigadores lo consideran como un ensayo representativo ideal (Gallegos & Cassabone, 2005).

##### 1.2.2.6.2.1 Ensayo de compresión diagonal (corte) de la albañilería.

El testigo estándar es un murete cuadrado cuyas dimensiones mínimas según norma es de 600mm x 600mm. Los resultados en muestras de mayores dimensiones, son considerados como más confiables por acercarse más a la realidad y presentar menor variabilidad. El dispositivo que transfiere las cargas, debe de hacerlo uniformemente para evitar “fallas localizadas” (Gallegos & Cassabone, 2005).

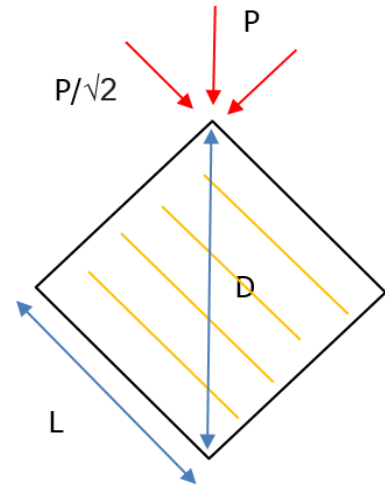
Los testigos se elaboran en laboratorio, como mínimo se realizan tres, donde no serán movidos por lo menos durante 7 días. El ensayo se realiza a los 28 días y si la edad difiere, se corrige por los factores indicados en la Norma E.070.

La resistencia unitaria ( $V_m$ ) se obtiene dividiendo la carga de rotura entre el área bruta de la diagonal cargada ( $D_t$ ). La resistencia característica ( $V'_m$ ) es la resistencia al corte promedio menos una desviación estándar.

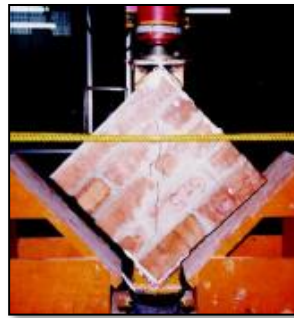
$$Vm = \frac{P}{Dxt} \quad Vm = \frac{P/\sqrt{2}}{Lxt}$$

$$v'm = Vm - \sigma$$

Donde:  
 Vm : Resistencia al corte (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 P : Máxima Fuerza que resiste en murete (Kg)  
 Dt : Área diagonal (diagonal del murete x espesor) (cm<sup>2</sup>).  
 t : espesor del murete (cm).  
 σ : Desviación estándar.



**Fig. N° 9:** *Ensayo de corte.*



*Nota.* Tomado de *Comentarios a la Norma Técnica de Edificación E.070* por A. San Bartolomé, 2008, SENCICO.

### 1.2.3 CONCRETO LIVIANO

#### 1.2.3.1 Antecedentes

Los primeros antecedentes de la utilización de concretos livianos surgieron en el Imperio Romano durante los años 20 a.C. Esto fue resultado de la mezcla de materiales cementantes formados a partir de limos quemados con materiales de baja densidad como la piedra pómez (Valdez & Suarez, 2010).

Los primeros edificios construidos con concreto liviano estructural aparecieron tiempo después de la 1era Guerra Mundial. En 1922 el Gimnasio de la Escuela de Deportes Acuáticos en Kansas fue la primera infraestructura de concreto liviano estructural de la historia. El suelo donde fue cimentado,

tenía una capacidad portante muy baja, es por ello que se utilizó el concreto liviano, para poder aligerar la carga del peso propio (Valdez & Suarez, 2010).

En 1928 la compañía South Western Bell realizó un estudio a su edificación con el fin de incrementar el número de pisos, el cual contaba con 14 hasta ese entonces, y es así que en las investigaciones de la cimentación determinaron que se le podía adicionar 8 pisos más utilizando concreto convencional, no obstante, se utilizó concreto liviano a base de arcillas expandidas incrementándose así a 14 pisos más (Valdez & Suarez, 2010).

En la actualidad se sigue investigando las propiedades del concreto liviano y sus aplicaciones, ya que este ofrece diversas ventajas en una edificación como buen aislador térmico, acústico, disminución de la carga muerta sobre elementos estructurales, entre otros.

### 1.2.3.2 Definición

Al hablar de concretos livianos, tendríamos que mencionar que éste pertenece al grupo de concretos especiales. Los concretos especiales son aquellos cuyas características y propiedades no son ordinarios ya que pueden ser producidos por técnicas poco convencionales, emplear insumos especiales o por la tecnología de aplicación. En la tabla N°5 se muestran algunos ejemplos.

**Tabla N° 5: Concretos Especiales**

Algunos tipos de concreto producidos con cemento portland		
Concreto aislante	Concreto con revenimiento cero	Concreto modificado por látex
Concreto arquitectónico	Concreto con vermiculita	Concreto modificado por polímero
Concreto auto-compactante	Concreto de alta resistencia	Concreto para blindaje
Concreto blanco	Concreto de alta resistencia inicial	Concreto para clavar
Concreto celular autoclavado	Concreto de alto desempeño	Concreto para relleno
Concreto ciclópeo	Concreto de baja densidad	Concreto para tubo embudo (tremie)
Concreto colado por centrífuga	Concreto de contracción compensada	Concreto poroso
Concreto coloidal	Concreto de gran peso	Concreto pre-empacado
Concreto coloreado	Concreto de polvo reactivo	Concreto premoldeado
Concreto compactado con rodillo	Concreto empacado a seco	Concreto reciclado
Concreto con agregado de aserrín	Concreto estampado	Concreto reforzado con fibras
Concreto con agregado expuesto	Concreto fluido	Concreto superplastificado
Concreto con agregado pre-colocado	Concreto geopolímero	Concreto tratado al vacío
Concreto con ceniza volante	Concreto lanzado	Ferrocemento
Concreto con granulometría discontinua	Concreto ligero de resistencia moderada	Relleno de densidad controlada
Concreto con humo de sílice	Concreto ligero estructural	Relleno fluido
Concreto con puzolana	Concreto masivo	Suelo-cemento
Concreto sin revenimiento	Concreto modificado por epóxi	Terrazo
Algunos tipos de concreto que no usan cemento portland		
Concreto acrílico	Concreto de fosfato de magnesio	Concreto de silicato de sodio
Concreto asfáltico	Concreto de látex	Concreto de yeso
Concreto de aluminato de calcio	Concreto de metacrilato de metilo (MMA)	Concreto epóxico
Concreto de azufre	Concreto de poliéster	Concreto furano
Concreto de fosfato de aluminio	Concreto de silicato de potasio	Concreto polimérico

*Nota.* Tomado de *Diseño y Control de mezclas de concreto* por Kosmatka, Kerkhoff, Paranesi & Tanesi, 2004, Portland Cement Association.

Los concretos livianos presentan una menor densidad respecto a los concretos convencionales, ya que se producen con agregados ligeros o con una combinación de agregados ligeros y normales. El American Concrete Institute [ACI] 213R, define como aquellos que poseen una densidad en estado seco menor a 1850kg/m<sup>3</sup> (ACI Committee 213, 2003).

Las normas internacionales como la American Society for Testing and Materials [ASTM] C330 “*Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete*” brinda las pautas para el control de los agregados ligeros con fines estructurales. Asimismo, el ACI 213R presenta una orientación de diseño en concretos ligeros en relación a la resistencia y contenido de cemento.

### 1.2.3.3 Composición

La composición de los concretos livianos, es similar a los concretos de pesos normales. La diferencia está en el uso de agregados especiales “agregados ligeros” ya sean de procedencia natural o artificial.

En esta parte de la investigación definiremos los diferentes tipos de agregados ligeros y su procedencia, ya que los otros componentes del concreto ya fueron definidos inicialmente en la presente investigación.

#### 1.2.3.3.1 Agregados livianos

Los agregados pueden ser de origen natural o artificial. El recurso natural más usado es el material volcánico, generalmente los agregados sintéticos son producidos por procesos térmicos.

##### 1.2.3.3.1.1 Agregados de origen natural

Pueden ser agregados en donde el aire atrapado se encuentra de forma natural como las rocas de origen volcánico, tales como la piedra pómez, escoria volcánica, toba, etc. También los provenientes de residuos orgánicos como de cáscara de palma.

##### 1.2.3.3.1.2 Agregados de origen artificial

Se generan mediante procesos de industrialización:

- Poliestireno expandido, material plástico celular, su base es el estireno, un líquido cuyas moléculas se polimerizan, formando perlas de poliestireno al ser sometido al calor controlado, con lo cual se obtiene un material pre-

expandido que luego de ser recalentado y gracias a la incorporación o infusión de aire se logra que las perlas se dispersen (Gonzales, 2016).

- Vermiculita, mineral compuesto de aluminio silicato de fierro y magnesio. Por calentamiento a temperaturas entre 700 y 1300°C puede expandirse de 30 a 35 veces de su volumen inicial.
- Arcillas expansivas y pizarras, al ser calentadas entre los 1100°C y 1400 se expanden. Así también los subproductos industriales como cenizas volantes, escorias de alto horno.

#### 1.2.3.4 Tipos de Concreto Liviano

Según menciona Kosmatka, Kerkhoff, Paranese, & Tanesi (2004) existe el concreto liviano estructural, aislante de baja y moderada resistencia, los cuales serán descritos en las siguientes líneas.

##### 1.2.3.4.1 Concreto liviano estructural

Este concreto tiene una densidad que varía de 1350 a 1850 Kg/m<sup>3</sup> y una resistencia a compresión a los 28 días que supera los 180 kg/cm<sup>2</sup> o 17 MPa. Este concreto se usa principalmente para reducir la carga muerta de losas en edificios (ACI Committee 213, 2003).

##### 1.2.3.4.2 Concreto liviano aislante de baja resistencia

Llegan según Kosmatka, Kerkhoff, Paranese, & Tanesi (2004) a densidades no mayores a 800 Kg/m<sup>3</sup>. La variación de densidades va desde 240 a 800 Kg/m<sup>3</sup> y las resistencias a compresión a los 28 días es de 7 a 70 Kg/cm<sup>3</sup> o 0.7 a 7 MPa.

##### 1.2.3.4.3 Concreto liviano aislante y de moderada resistencia

Este concreto tiene una densidad aproximada de 800 a 1900 Kg/m<sup>3</sup> y una resistencia a la compresión de aproximadamente 70 a 180 Kg/cm<sup>3</sup> o 7 a 17 MPa.

El concreto liviano con densidades más bajas se usa como relleno para aislamiento térmico y acústico de pisos, muros y cubiertas, y los concretos livianos que presentan mayor densidad se pueden emplear en muros, pisos, cubiertas y paneles prefabricados.

### 1.2.3.5 Propiedades

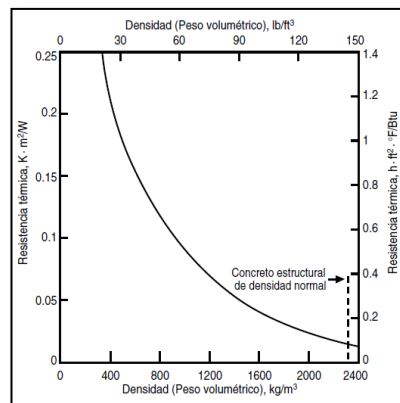
#### 1.2.3.5.1 Resistencia mecánica

Los concretos livianos por su bajo módulo de elasticidad y densidad, desarrollan una resistencia mecánica a la compresión menor que los concretos convencionales, debido a la utilización de agregados livianos que posee igualmente baja resistencia (Hou, Caicedo, & Falconi, s.f.).

#### 1.2.3.5.2 Conductividad térmica

Esta propiedad mide la capacidad de conducción de calor. Es decir, cuando mayor sea su conductividad térmica de un material, será mejor conductor del calor y por el contrario cuando menor sea, el material será más aislante. La conductividad térmica del concreto liviano es menor debido a las bajas densidades que presenta.

**Fig. N° 10:** Resistencia térmica vs. Densidad del concreto



*Nota.* Tomado de *Diseño y Control de mezclas de concreto* por Kosmatka, Kerkhoff, Paranesi & Tanesi, 2004, Portland Cement Association.

#### 1.2.3.5.3 Aislación acústica

Las cavidades internas de los agregados livianos absorben el sonido permitiendo amortiguar las vibraciones, mejorando significativamente la aislación acústica.

#### 1.2.3.5.4 Durabilidad

La durabilidad está relacionada a la capacidad de resistir la acción de ataques químicos, físicos y biológicos, como la abrasión, radiaciones o cualquier otro proceso de deterioro generado por la exposición al medio ambiente (Rivva, 2014).

Se han encontrado estudios respecto a la durabilidad de concretos livianos, en donde señalan que éstos en comparación con los concretos convencionales, son más susceptibles a los ataques agresivos externos. A pesar de ello, otros estudios indican que son resistentes a la acción del hielo – deshielo y a la acción del fuego debido a su composición porosa.

#### 1.2.3.6 Ventajas y desventajas

Las ventajas y el campo de uso de los concretos livianos son bastante amplios con el pasar de los años, en especial en donde se requiere obtener aislación térmica y acústica.

Tenemos algunas ventajas como:

- Baja densidad, reduciendo las cargas muertas permitiendo al diseñador estructural reducir el tamaño columnas y cimientos. Así también genera una mayor productividad en la construcción por un menor costo de transporte y montaje de elementos.
- Buen aislante térmico, debido a las cavidades internas que presenta. La aislación térmica genera un impacto positivo en la construcción y el ambiente, debido al ahorro de energía eléctrica y la reducción del calentamiento global, lo que lo convierte en un material eco amigable. Es favorable su uso en zonas donde se requiere confort térmico como en zonas con climas cálidos y fríos (León, 2013).
- Buen aislante acústico, las cavidades internas absorben el sonido permitiendo el amortiguamiento de las vibraciones y favoreciendo su uso en lugares donde se requiere del confort acústico como auditorios, departamentos, viviendas ubicadas en zonas urbanas donde se debe lidiar con el caos del tránsito y comercio (León, 2013).
- Buena resistencia al fuego, es consecuencia de su buena aislación térmica, su bajo coeficiente de dilatación y baja conductividad térmica lo que lo hace estable frente a altas temperaturas (León, 2013).

Las limitaciones o desventajas que presenta el concreto liviano se resumen en:

- Algunos agregados livianos podrían resultar más costosos, pero ello podría ser compensado con los menores gastos en transporte y montaje.

- Mayor control durante la mezcla, vibrado y colocación para evitar posibles fenómenos como la segregación por tratarse de agregados ligeros. El concreto ligero con perlitas de poliestireno expandido es más propenso a este inconveniente, pero puede ser tratado con diseños de mezcla secos o con productos parecidos al ISOCRET, agregado ultraliviano distribuido por el Grupo Estisol en Argentina, que contiene un aditivo que le confiere a la mezcla una buena cohesión entre las perlas y la pasta cementicia (Grupo Estisol, 2019).
- Corrosión del acero en algunos casos, debido a la porosidad y a la gran absorción de humedad del concreto liviano.
- Reducción de la adherencia del acero al concreto, debido a las cavidades internas que presenta el concreto ligero.
- Uso poco convencional en obra.

#### 1.2.3.7 Aplicaciones

El uso del concreto ligero ha hecho posible, llevar a cabo diseños que hubieran tenido que abandonarse por razones de carga, como lo explicado en la introducción de este acápite. La aplicación del concreto liviano es muy favorable en zonas con climas cálidos y fríos, ya que por sus propiedades térmicas y acústicas permite el ahorro de energía eléctrica.

Otra aplicación sería en zonas donde se requiere de un confort térmico y acústico, como en viviendas multifamiliares, departamentos, teatros, entre otros.

#### 1.2.4 POLIESTIRENO EXPANDIDO - EPS

El poliestireno expandido más conocido como tecnopor, es un material con historia que fue inventado por la empresa BASF en 1951 como lo indica el Manual Práctico de EPS. Actualmente es fabricado y distribuido por todo el mundo por sus buenas características técnicas como elevado aislamiento térmico, capacidad amortiguante, ligereza y resistencia mecánica, que lo han convertido con los años en un material de gran relevancia en diferentes sectores (Azqueta, 2014).

##### 1.2.4.1 Definición

El poliestireno expandido o EPS por sus siglas en inglés (Expanded Polystyrene), es un material de origen plástico, rígido, alveolar de celdas cerradas entre sí y rellenas de aire, inerte y no degradable en el tiempo,

presenta buenas características físicas que han sido aprovechadas por diferentes sectores como el de la construcción (Textos científicos, 2005).

#### 1.2.4.2 Composición

La base del EPS es el estireno, líquido cuyas moléculas se polimerizan y dan origen a macromoléculas de poliestireno. El estireno se mezcla con agua y un agente de expansión obteniendo al poliestireno expandido. El EPS presenta cerca de un 98% de aire confinado y 2% de material plástico lo que le brinda la propiedad de ligereza y aislación térmica.

#### 1.2.4.3 Propiedades

De acuerdo a la investigación de Herrera (2015), describe las diversas propiedades que posee el EPS.

##### 1.2.4.3.1 Propiedades físicas

- Porosidad, en  $1\text{cm}^3$  de poliestireno expandido contiene de 3 a 6 millones de celdillas, cerradas y no conectadas llenas de aire, que son resultado de su proceso de fabricación.
- Color, la presentación del EPS es de color blanco.
- Densidad, debido al volumen que representan las celdas de aire, estas alcanzan hasta un 97% de aire. Son materiales de muy baja densidad y muy bajo peso específico. La densidad aproximada del EPS esta entre  $10\text{kg/m}^3$  a  $50\text{kg/m}^3$ .
- Aislamiento térmico, poseen una excelente capacidad de aislamiento térmico frente al calor y frío.
- Aislamiento acústico, la capacidad de aislamiento acústico del EPS depende de la densidad, mientras más denso sea el material, será más difícil que las ondas sonoras hagan vibrar el material.
- No es resistente a la acción del fuego, por ello no debe ser expuesto a la flama. Al ser expuesto a temperaturas mayores a  $100^\circ\text{C}$  el EPS empieza a reblandecerse lentamente y se contrae, si se aumenta la temperatura se funde. Existen tipos de EPS que son sido tratados con aditivos para tener resistencia al fuego denominado poliestireno expandido autoextinguible.
- Resistente a temperaturas bajo cero.

- Dureza, debido a su porosidad y al material polímero que rodea las celdillas, es un material blando y de buena elasticidad.
- Resistencia mecánica, la resistencia a la compresión está directamente relacionada con la densidad del material, la forma de la celdilla, el tiempo de uso y la temperatura. Al aumentar la densidad del material, aumenta el grosor de las paredes dentro de las perlas lo que permite reportar mayor resistencia a la compresión que va desde los 50KPa para densidad de 10 kg/m<sup>3</sup> y 190Kpa para densidades de 30 kg/m<sup>3</sup>. El Instituto Nacional Sueco de Ensayos e Investigación de Gothenburg evaluó la fluencia a compresión de los bloques de EPS en un período aproximadamente de 2 años y permitió estimar valores de deformación por fluencia a compresión del 2% o menos después de 50 años.
- Comportamiento frente al agua, el EPS no es higroscópico, el material completamente sumergido en agua presenta niveles de absorción mínimos oscilando entre el 1% y el 3% según ensayos por inmersión a los 28 días (Asociación Nacional del Poliestireno Expandido de España [ANAPE], s.f.).
- Estabilidad dimensional, los materiales en general están sometidos a variaciones dimensionales debidos a la influencia térmica, los que son evaluados a través del coeficiente de dilatación térmica, que para los productos de EPS se sitúa entre 0,05mm y 0,07mm por metro y grado centígrado.
- Comportamiento frente a factores atmosféricos, la radiación UV es prácticamente el único inconveniente, ya que bajo la acción prolongada de rayos UV, la superficie del EPS se vuelve amarillento y frágil (en caso de planchas de EPS).

#### 1.2.4.3.2 Propiedades biológicas

- Inerte a la mayoría de ácidos, soluciones alcalinas y salinas sin importar la concentración.
- Es imputrescible, no constituye sustrato para microorganismos.
- No enmohece ni se descompone, es 100% reutilizable para formar bloques del mismo material y también es reciclable para fabricar materias primas para otra clase de productos.
- No es resistente a los solventes orgánicos y tampoco a los aceites minerales.

- No es atacado por bacterias del suelo, resistente a microorganismos.
- El pentano, agente de expansión para producir EPS, es inocuo para la salud y para la capa de ozono.

Dentro de las propiedades negativas del EPS es el no ser biodegradable.

#### 1.2.4.4 Aplicaciones

Se hará una descripción de las múltiples aplicaciones que tiene el poliestireno expandido en el medio, dándose mayor enfoque al sector de la construcción, ya que también tiene otras aplicaciones como en la industria de alimentos, comercio, entre otros.

Algunas aplicaciones son como:

- Aislamiento térmico de elementos constructivos.
- Concreto ligero de EPS, el EPS se convierte en una materia prima conveniente para la producción de concreto aislante ligero, permitiendo al mismo tiempo reducir cargas de diseño.
- Complemento de materiales para alivianar estructuras: bovedillas, encofrados perdidos y otros.
- Barreras acústicas, los materiales tradicionalmente empleados en la construcción de pantallas acústicas pueden ser sustituidos por bloques de EPS.
- Piezas y moldes para materializar formas.

En trabajos relacionados a la geotecnia, se podría aplicar para:

- Disminuir los daños por heladas a los pavimentos, debido a sus propiedades de aislamiento térmico. Una capa de EPS de 5 a 6 centímetros es suficiente para evitar que la temperatura de la cimentación de carreteras descienda por debajo de 0 °C.

#### 1.2.4.5 Ventajas y desventajas

Dentro de las ventajas tenemos:

- Productividad, el uso del EPS genera una mayor productividad debido a su ligereza y facilidad de transporte, montaje y colocación.
- Gran ligereza, permite reducir cargas en las estructuras.
- Material reciclable, no produce clorofluorocarbonos (CFC), es decir su producción no daña a la capa de ozono, es un material 100% reciclable, pero

lo cierto es que las buenas prácticas del reciclaje no son adoptadas con entusiasmo en nuestro medio (Canales Sectoriales - Interempresas, 2008).

- Un material aislante térmico por excelencia.
- Un material aislador acústico que posee gran capacidad de absorción de ruidos.

Algunas desventajas son:

- Material frágil frente a grandes esfuerzos.
- Al no ser biodegradable genera graves daños al ecosistema marino, ya que las especies marinas confunden al EPS con alimentos, produciéndoles la muerte.
- Al utilizarse el EPS, se debe tener en cuenta qué tipo se usa ya que hay algunos materiales resistentes al fuego tratados con aditivos especiales, mientras que también hay EPS inflamables.

Como vemos a lo largo de toda teoría expuesta, el EPS tiene un gran número de ventajas pero al mismo tiempo una lista de desventajas, siendo la más resaltante el no ser biodegradable, perjudicando al ambiente. Este problema podría convertirse en una oportunidad de mejora y aprovechamiento de sus propiedades reusando y convirtiendo en materia prima de productos ecológicos.

## 1.2.5 CONFORT TÉRMICO

### 1.2.5.1 Generalidades

Al hablar de confort térmico, nos referimos al grado de satisfacción que se siente en un determinado espacio, el grado de comodidad respecto al grado de temperatura, humedad u otro factor térmico.

En lo referente a la ingeniería y arquitectura de edificaciones, el confort, en líneas generales, debe ser un criterio básico al momento de diseñar las diferentes construcciones para mejorar la calidad de vida de las personas.

Por las razones expuestas, el uso de los diferentes materiales de construcción, no solo deben medirse por su resistencia, sino por otras propiedades físicas como la conductividad térmica.

### 1.2.5.2 Definición

El confort térmico es una sensación neutra de la persona respecto a un ambiente térmico determinado. Según la norma ISO 7730 “Es una condición

mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico” (CONSTRUMÁTICA - Metaportal de Arquitectura, Ingeniería y Construcción, s.f.).

Se refiere a las condiciones de bienestar en el individuo, su relación de equilibrio con las condiciones de temperatura y humedad de un determinado lugar. Depende de varios parámetros globales externos, como la temperatura y velocidad del aire, la humedad relativa, y otros como la actividad física desarrollada, la cantidad de ropa o el metabolismo de cada individuo. Para llegar a la sensación de confort, el balance global de pérdidas y ganancias de calor debe ser nulo, es decir alcanzar el equilibrio térmico (EADIC, s.f.).

#### 1.2.5.3 Factores que intervienen

El confort térmico resulta de la combinación de una serie de factores que producen esta sensación de placer dentro de un recinto, entre los cuales tenemos:

- Factores físico ambientales como la temperatura del aire, la temperatura radiante, la humedad relativa, la velocidad del aire, radiación solar y entre otros.
- Tipo de materiales, las propiedades de ciertos materiales de construcción, muchas veces no son tomadas en consideración al momento de construir una edificación, ya sea por desconocimiento o por el uso rutinario de otros materiales de la zona. La elección de materiales de acuerdo al clima que esté expuesto, debería ser fundamental.

#### 1.2.5.4 Aislación térmica

El concepto de aislación térmica está íntimamente relacionado al confort térmico. La aislación térmica surge con el fin de lograr confort térmico, seguridad, protección y ahorro económico a los individuos que habitan los recintos habitacionales.

Según Flores (2011) menciona que un material aislante térmico se caracteriza por su alta resistencia térmica, que establece una barrera al paso del calor entre dos medios que naturalmente tenderían a igualarse en temperatura. En el campo de la construcción no se puede hablar de una barrera que impida un 100% el paso de calor. La resistencia de un material al paso de

calor dependerá del espesor y de la propiedad intrínseca del material llamada “conductividad térmica”.

El aislamiento térmico de un material se expresa en términos de su conductividad térmica por medio del valor “k” e indica la facilidad al paso del calor del material, la cantidad de calor en Joule por segundo (Watt) que pasa por una superficie de cierta área (m<sup>2</sup>) y de espesor (e) cuando se tiene una variación de temperatura por ambas caras ( $\Delta T$ ). Mientras más bajo sea el valor “k” de un material, más efectivo será como aislante (Paulino & Espino, 2017).

Uno de los principales objetivos de la aislación térmica, es brindar un ambiente agradable para la vida y el desarrollo de actividades, asimismo, es lograr disminuir las perturbaciones del exterior.

Para que un ambiente sea agradable y cuente con aislación térmica tiene que tomar en cuenta los siguientes factores:

- ✓ El medio climático que rodea.
- ✓ Los materiales de construcción.
- ✓ Una mala o deficiente aislación térmica, produce en época de invierno pérdidas indebidas de calor desde el interior de la vivienda, y en verano la penetración exagerada de calor desde el exterior.

De acuerdo a Payá (1970), en su libro “Aislamiento térmico y acústico”, presenta ejemplos de diferentes recintos, como el de una vivienda chalet, donde se presentará el cálculo de las pérdidas caloríficas de un chalet sin aislar y otro aislado. Se tiene las siguientes características del edificio:

- Muros de ladrillo ancho 25cm: 350m<sup>2</sup>
- Cubierta formada por tejas en revestimiento simple de madera: 160m<sup>2</sup>
- Superficie de puertas y ventanas: 30m<sup>2</sup>

El aislamiento será con:

- En cubierta de 160m<sup>2</sup> de fieltro de fibra de vidrio de 50mm.
- En muros de 350m<sup>2</sup> de fieltro de fibra de vidrio de 40mm de espesor.
- En el cuadro indicando las pérdidas de calor sin aislamiento y con aislamiento.

Donde:        k = coef. Transmisión calorífica  
                  S = superficie

T = diferencia de T° medias exterior e interior.

Q = Pérdida por transmisión en Cal/h.

$$Q = K \times S \times T$$

	Pérdidas caloríficas sin aislamiento				Pérdidas caloríficas con aislamiento			
	K	S	T	Q	K	S	T	Q
Cubierta	2.40	160	10	3840	0.48	160	10	768
Muros	1.70	350	10	5950	0.48	350	10	1680
Puertas y ventanas	6.50	30	10	1952	6.50	30	10	1950
				<b>11740</b>				<b>4398</b>
				Cal/h				Cal/h

Ahorro de calorías = 7342 Cal/h respecto a una vivienda sin aislar.

Como se observa la pérdida de Cal/h en una vivienda sin aislar es alta, lo que trae como consecuencia que el confort térmico también sea disminuido.

Así también el autor menciona la importancia de la aislación en las instalaciones de la vivienda con materiales dando mostrando con ejemplos el cálculo de la pérdida en instalaciones.

#### 1.2.5.5 Materiales aislantes

Los más comunes son:

- Poliestireno expandido: Más conocido como Tecnopor. Se caracterizan por ser livianas, prácticamente impermeables al agua, resistentes a hongos, insectos y roedores. Las densidades van desde 10 a 40 Kg/m<sup>3</sup>.
- Fibras minerales: Hay dos tipos fibra, de roca o de vidrio. Son ligeras, incombustibles y no inflamables. No emiten gases tóxicos, aún en caso de incendio. Su inconveniente es que absorben fácilmente la humedad.
- Lana mineral: Se fabrica en base a rocas ígneas con alto contenido de sílice, su alto punto de fusión les permite mantener sus propiedades aislantes inalteradas incluso a temperaturas muy elevadas.

- Lana de vidrio: Se fabrica fundiendo arenas con alto contenido de sílice más carbonato de calcio, bórax y magnesio. Es generalmente muy liviana, flexible, es uno de los aislantes térmicos más utilizados a nivel mundial, además, un excelente absorbente acústico.
- Espumas de poliuretano: Pueden venir en rollos o ser aplicadas en spray o mediante inyección en paneles aislantes compuestos.
- Membranas de aluminio: Vienen en rollos y se aplican con adhesivos especiales. Son muy livianas y económicas. Su principal característica es que reflejan el calor y entregan una barrera de vapor muy eficaz.

### **1.3 MARCO CONCEPTUAL**

#### **1.3.1 Confort térmico**

Se refiere a las condiciones de bienestar en el individuo, su relación de equilibrio con las condiciones de temperatura y humedad de un determinado lugar. Depende de varios parámetros globales externos, como la temperatura y velocidad del aire, la humedad relativa, y otros como la actividad física desarrollada, la cantidad de ropa o el metabolismo de cada individuo (EADIC, s.f.).

#### **1.3.2 Concreto liviano**

Se producen con agregados ligeros o con una combinación de agregados ligeros y normales. La composición de los concretos livianos se diferencia ya que se usa agregados especiales “agregados ligeros” ya sean de procedencia natural o artificial.

#### **1.3.3 Conductividad térmica**

Propiedad en la que se mide la capacidad de conducción de calor. Es decir, cuando mayor sea su conductividad térmica de un material, será mejor conductor del calor y por el contrario cuando menor sea, el material será más aislante.

#### **1.3.4 Normas de albañilería**

La norma de albañilería vigente en el Perú es la E.070 “Albañilería”. Según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006) “Esta Norma establece los requisitos y las exigencias mínimas para el análisis, el diseño, los materiales, la construcción, el control de calidad y la inspección de las edificaciones de albañilería estructuradas principalmente por muros confinados y por muros armados” (p.6).

La Norma E.070 hace mención a las Normas Técnicas Peruanas [NTP] para ser tomados en cuenta al momento de realizar ensayos de calidad tales como: NTP 339.604 “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto”.

NTP 399.613 “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de ladrillos de arcilla usados en albañilería”.

#### 1.3.5 Unidades de albañilería

De acuerdo a Gallegos y Casabonne (2005), señalan que la unidad de albañilería es el componente principal de la albañilería, pudiendo ser de diversos materiales como los en mención: arcilla, concreto y mezcla de sílice y cal. Estas se pueden producir en fábricas con altos niveles de control, o en precarias canchas, incluso al pie de la obra en la que será utilizada, mediante procedimientos rudimentarios y sin ningún control de calidad.

Las unidades pueden ser ladrillos, que pueden ser cargados con una sola mano, o bloques, que requieren la ayuda de ambas manos.

#### 1.3.6 Muros portantes

Son los que se emplean como elementos estructurales. Estos están sujetos a todo tipo de cargas verticales y laterales (cargas sísmicas) (San Bartolomé, 1994).

#### 1.3.7 Muros no portantes

San Bartolomé (1994) en su libro define a los muros no portantes como aquellos que no reciben carga vertical, estos muros se deben diseñarse básicamente para cargas perpendiculares a su plano, originadas por el viento, sismo u otras cargas de empuje.

#### 1.3.8 Poliestireno expandido

Es un material de origen plástico, rígido, alveolar de celdas cerradas entre sí y rellenas de aire, inerte y no degradable en el tiempo, presenta buenas características físicas que han sido aprovechadas por diferentes sectores como el de la construcción (Textos científicos, 2005).

## **CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

La falta de confort térmico en las viviendas de la ciudad de Ica, la carencia de tecnología de materiales aplicada en la mayoría de viviendas, dan como consecuencia la necesidad de crear materiales que atiendan estas exigencias.

El concreto es uno de los materiales más usados en el sector de la construcción a nivel mundial, este posee propiedades que se adapta a las necesidades que se requiera, para ello el diseñador de concreto le adiciona materiales o insumos químicos según los requerimientos que se tenga para obtener propiedades específicas. Es en este proceso que el concreto liviano salió como una de las novedades en la industria de la construcción, elaborado a base de una gran serie de materiales de baja densidad con innumerables ventajas.

Casi toda la región costa presenta un clima semi – cálido (desértico – árido – sub tropical) según el mapa climático del SENAMHI. La Región Ica presenta una temperatura media de 32 °C en meses de verano y en los meses de invierno puede llegar a los 9°C. (Ver Tabla N°6). El clima en Ica en general es seco y soleado aún durante los meses de invierno.

Esta característica representa un problema respecto al confort diario de los habitantes, que a pesar de estar dentro de sus edificaciones la percepción del calor o frío es invariable respecto al exterior, por ende, ello genera la utilización de sistemas de refrigeración o calefacción generando costos adicionales para poder disminuir el problema térmico.

El hecho que algunas edificaciones no puedan proteger a los habitantes de la sensación térmica, también se considera un problema, ya que una de las funciones de las edificaciones, como los domicilios, es dar refugio y proteger al habitante del medio exterior. Esta deficiencia, se debe a que la edificación no presenta el adecuado grado de aislamiento térmico debido a los materiales empleados en su construcción.

En la actualidad las distintas normas de construcción priorizan el desempeño de los materiales a utilizar según sus propiedades mecánicas como resistencia a la compresión, flexión y tracción, propiedades de durabilidad como exposición de sulfatos, hielo deshielo, etc. Dando poco protagonismo a las propiedades térmicas.

Respecto a las unidades de albañilería que se utilizan en los sistemas de albañilería de nuestro medio, éstas no toman en cuenta las propiedades de aislamiento térmico, dando más protagonismo a sus propiedades mecánicas, es por ello que en la ciudad de Ica la mayoría de edificaciones no presenta un adecuado aislamiento térmico.

**Tabla N° 6:** *Temperatura máxima y mínima registrada en el 2018.*

Mes	Temperatura Máxima °C	Temperatura Mínima °C
Enero	31.5	17.7
Febrero	32.6	18.5
Marzo	32.9	17.7
Abril	31.5	15.5
Mayo	29	12.4
Junio	25.9	10.7
Julio	24.8	10.1
Agosto	25.8	10.5
Setiembre	27.3	11
Octubre	28.6	12.1
Noviembre	29.5	13.7
Diciembre	30.6	15.9

*Nota.* Tomado de SENAMHI PERÚ, s.f. (<https://www.senamhi.gob.pe/>). Obra de Dominio Público.

## 2.2 FORMULACIÓN DE PROBLEMAS

### 2.2.1 Problema general

¿La aplicación de Normas para la elaboración de unidades de albañilería con concreto liviano influirá en el confort de las viviendas de la ciudad de Ica?

### 2.2.2 Problemas específicos

- ¿Se podrá determinar la dosificación óptima del diseño de mezcla de concreto liviano para la elaboración de unidades de albañilería de muros portantes?
- ¿Las unidades de albañilería elaboradas con concreto liviano cumplirán con los requerimientos para muros no portantes?
- ¿Las unidades de albañilería elaboradas con concreto liviano cumplirán con los requerimientos para muros portantes?
- ¿La conductividad térmica de las unidades de albañilería elaboradas con concreto liviano será menor que las unidades de arcilla cocida?

## **2.3 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

**Limitación espacial:** Ciudad de Ica

**Limitación temporal:** Durante el período del desarrollo de la tesis.

## **2.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.4.1 Justificación**

Al elaborar unidades de albañilería con ciertas propiedades térmicas se trata de buscar la mejora del confort térmico en las viviendas de la ciudad de Ica por las razones ya explicadas. Estas unidades serán a base de un material conocido a nivel de toda la industria de la construcción como es el concreto, pero éste será un concreto especial, es decir un concreto ligero, que será elaborado con agregados artificiales livianos como es el poliestireno expandido.

Así mismo se trata que estas unidades si es que se llegan a implementar en el transcurso de los años no solo sea utilizado como muros de separación, tabiquerías o no portantes, sino como muros portantes, para ello debe de cumplir ciertos requisitos mecánicos.

### **2.4.2 Importancia**

La importancia de la investigación se basa en la necesidad de elaborar nuevos materiales de construcción que sean compatibles con el medio externo que se tiene.

## **2.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.5.1 Objetivo General**

Determinar cómo influirán las unidades de albañilería con concreto liviano en el confort de las viviendas de la Ciudad de Ica.

### **2.5.2 Objetivos específicos**

- a) Determinar la dosificación óptima del diseño de mezcla de concreto liviano para la elaboración de unidades de albañilería de muros portantes.
- b) Determinar si las unidades de albañilería con concreto liviano cumplen los requerimientos para muros no portantes.
- c) Determinar si las unidades de albañilería con concreto liviano cumplen los requerimientos para muros portantes.
- d) Comparar la conductividad térmica entre las unidades de albañilería de concreto liviano y las de arcilla cocida.

## **2.6 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

### **2.6.1 Hipótesis general**

La aplicación de Normas para la elaboración de unidades de albañilería con concreto liviano influye en el confort de las viviendas de la ciudad de Ica.

### **2.6.2 Hipótesis específicas**

- a) Con la dosificación óptima del diseño de mezcla de concreto liviano se pueden elaborar unidades de albañilería de muros portantes.
- b) Las unidades de albañilería elaboradas con concreto liviano cumplen con los requerimientos para muros no portantes.
- c) Las unidades de albañilería elaboradas con concreto liviano cumplen con los requerimientos para muros portantes.
- d) La conductividad térmica de las unidades de albañilería elaboradas con concreto liviano es menor que las unidades de arcilla cocida.

## **2.7 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN**

### **2.7.1 Identificación de variables**

- Variable independiente: Diseño de mezcla de concreto liviano para unidades de albañilería.
- Variable dependiente  
Confort de las viviendas en la ciudad de Ica.

### **2.7.2 Operacionalización de variables**

En la Tabla N°7 se muestra la operacionalización de variables.

**Tabla N° 7: Operacionalización de variables**

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Diseño de mezcla de concreto liviano para unidades de albañilería.	El concreto liviano posee diversas propiedades físicas y mecánicas producidas a base de agregados ligeros o con una combinación de agregados ligeros y normales. Para la investigación se usará poliestireno expandido.	La calidad del concreto liviano es medida a través de sus propiedades tanto en estado fresco como endurecido.	Propiedades físicas y mecánicas	Propiedades del poliestireno expandido. Ensayos del agregado fino. Ensayos del concreto fresco y endurecido
	La unidad de albañilería es el componente principal de la albañilería, que puede elaborado de diversos materiales y puede adoptar diversas propiedades. Las unidades pueden ser ladrillos, que pueden ser cargados con una sola mano, o bloques, que requieren la ayuda de ambas manos (Gallegos y Casabonne, 2005).	Las unidades de albañilería son medidas a través de ensayos de clasificación especificados en la norma de albañilería E.070 y NTP, éstos son requisitos que regulan su uso en las construcciones ya sea de muros no portantes como portantes.	Propiedades físicas y mecánicas	Dimensiones de la unidad de albañilería – bloque o ladrillo. Ensayo de variación de dimensiones de contenido de humedad. Ensayo de resistencia a compresión de unidades y pilas.
Confort de las viviendas en la ciudad de Ica.	Se refiere a las condiciones de bienestar en el individuo, su relación de equilibrio con las condiciones de temperatura y humedad de un determinado lugar. El confort resulta de la combinación de una serie de factores que producen esta sensación de placer, y dentro de estos factores esta la conductividad térmica de los materiales que forman parte la edificación o recinto.	El mejoramiento del confort de un recinto será medido a través de las propiedades del material que lo conforma, en este caso de las propiedades del ladrillo de concreto ligero versus el ladrillo de arcilla cocida.	Propiedades térmicas del ladrillo	Análisis de conductividad térmica del ladrillo.

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1 TIPO, NIVEL Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

La presente investigación es del tipo de investigación es APLICADA. El nivel es EXPLICATIVO y el diseño es EXPERIMENTAL, pues se busca obtener experimentalmente la dosificación más apropiada para el diseño de la mezcla que posteriormente será empleada en el proceso de fabricación de ladrillos de concreto ligero con perlas de poliestireno, que luego serán sometidas a pruebas de control para identificar cumple con los requerimientos mínimos establecidos.

### **3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA MATERIA DE INVESTIGACIÓN**

- La población de investigación son las diversas dosificaciones de diseño de mezclas para concretos ligeros con poliestireno expandido, en la investigación se realizó dos tipos de dosificaciones con diferentes porcentajes de poliestireno expandido.
- La muestra es la dosificación de diseño de mezcla de concreto ligero que presentó mejores características mecánicas para elaborar ladrillos.

## **CAPÍTULO IV. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN**

### **4.1 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Las técnicas de recolección de datos son la implementación instrumental del diseño escogido, es decir, mediante la instrumentación, la aplicación de ensayos y experimentos, se implementa la forma del diseño que permitirá encontrar valores que, en esta tesis, ayudarán a realizar el análisis comparativo de resultados entre dos materiales.

La técnica de recolección de datos se seleccionó en atención a las características de la investigación, en este caso se optó por la técnica de observación directa, la cual consistió en observar atentamente el fenómeno estudiado, tomar apuntes y registrarla para su posterior análisis, asimismo, se realizó el análisis documental de normas nacionales e internaciones referidas a concreto liviano con poliestireno y unidades de albañilería.

En esencia se realizarán dos diseños de mezcla de concreto liviano con poliestireno utilizando los conocimientos aprendidos en la carrera, experimentos pasados y criterio personal; el diseño necesita de ensayos básicos para poder cuantificar sus propiedades, y es allí en donde se recurre a las normas que

establecen los procedimientos estandarizados para los mismos. Con el diseño que presente mayor resistencia se procederá a elaborar ladrillos.

## **4.2 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Los instrumentos usados para la recolección de datos son:

- Formatos de laboratorio.
- Normas Estandarizadas (NTP, ASTM, ACI)
- Norma Técnica de Albañilería E. 070
- Equipos de laboratorio.
- Cámara Fotográfica.

## **4.3 TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

La presentación de resultados se hará haciendo uso de Tablas, Gráficos y Porcentajes; de los cuales se sacarán algunos comentarios en función de los objetivos e hipótesis planteadas.

Para el desarrollo del proceso indicado anteriormente, se hará uso del programa Microsoft Office Excel.

# **CAPÍTULO V. PRESENTACIÓN, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

## **5.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

### **5.1.1 Ensayos de agregados para el concreto liviano**

#### **5.1.1.1 Metodología**

Los componentes del concreto liviano son el agregado fino, agregado liviano (poliestireno expandido), agua y cemento.

Al poliestireno expandido se le realizaron ensayos no normalizados para determinar su peso específico para así poder realizar los cálculos correspondientes del diseño de mezclas.

Cabe mencionar que los ensayos realizados fueron en el laboratorio de la facultad de Ingeniería civil – UNICA en su mayoría.

Se utilizaron los métodos de ensayo estandarizados por las normas ASTM y NTP.

## 5.1.1.2 Ensayos del agregado fino

### 5.1.1.2.1 Características generales, muestreo

El agregado fino proviene del río Ica de los sectores de La Venta, se puede observar lo siguiente:

- ✓ Es un material granular, limpio con muy poca presencia de material fino (Pasante Malla N°200).
- ✓ De manera visual se percibe que tiende a ser una arena mal gradada.

Para realizar el muestreo del agregado fino se realizó prácticas estandarizadas determinadas por la norma ASTM D75. Ver Anexos A.03 Ensayos de Laboratorio.

### 5.1.1.2.2 Análisis granulométrico (NTP 400.012 - ASTM C136)

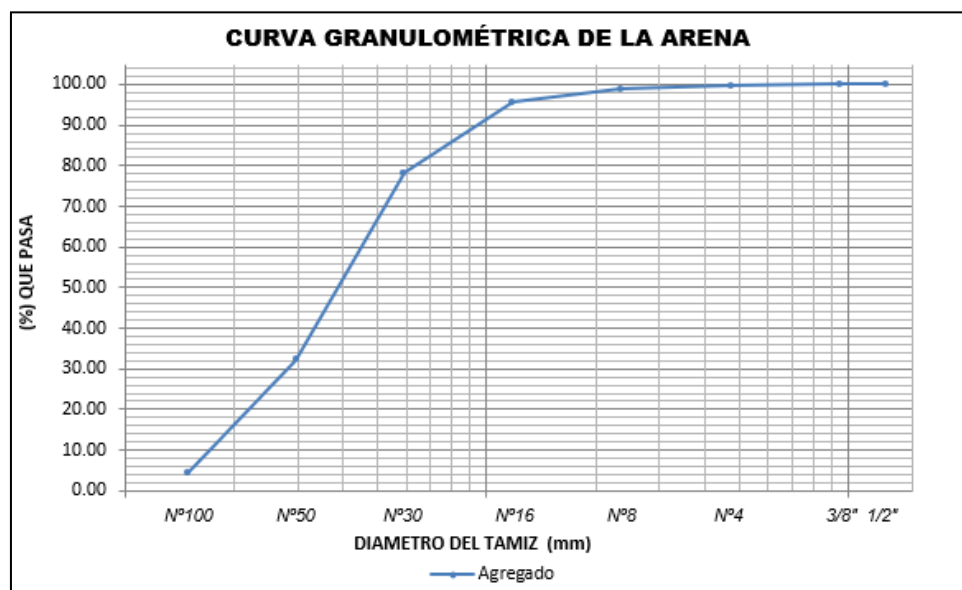
Una muestra de agregado seco, de masa conocida, es separada a través de una serie de tamices que van progresivamente de una abertura mayor a una menor, para determinar la distribución del tamaño de las partículas.

**Tabla N° 8:** Resultado de Ensayo de granulometría del agregado fino

Peso muestra: 1000 gr.

TAMIZ O MALLA	PESO RETENIDO (gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA	% RETENIDO ACUMULADO
4	3.3	0.33	99.67	0.33
8	8.4	0.84	98.83	1.17
16	31.5	3.15	95.68	4.32
30	175.2	17.52	78.16	21.84
50	459.9	45.99	32.17	67.83
100	278.5	27.85	4.32	95.68
FONDO	43.2	4.32	0.00	100.00
	<b>M.F=</b>	<b>1.91</b>		

**Gráfico N° 1: Curva Granulométrica**



5.1.1.2.3 Contenido de humedad (ASTM C566)

El resultado de este ensayo es expresado en porcentaje.

Secar la muestra completamente en el recipiente por medio de la fuente de calor elegida, teniendo cuidado de evitar la pérdida de las partículas. Usar un horno de temperatura controlada cuando el calor excesivo puede alterar las características del agregado o cuando se requiera una medición más precisa. Si se usa una fuente de calor diferente al horno de temperatura controlada revolver la muestra durante el secado para acelerar la operación y evitar sobrecalentamiento localizado. Cuando se use un horno microondas, es opcional el revolver la muestra.

**Tabla N° 9: Resultados Ensayo de Contenido Humedad**

<b>N° DE TARA</b>	D-1
<b>PESO DE TARA (gr.)</b>	138.1
<b>PESO T. + AG. HUMEDO (gr.)</b>	768.4
<b>PESO T. + AG. SECO (gr.)</b>	763.0
<b>HUMEDAD (%)</b>	<b>0.86</b>

5.1.1.2.4 Peso específico y absorción (NTP 400.022 - ASTM C128)

Una muestra de agregado es sumergida en agua por  $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$  para esencialmente llenar los poros. Luego es retirada del agua, el agua superficial de las partículas es secada y se determina la masa. Posteriormente, la muestra (o una parte de ella) se coloca en un recipiente graduado y el volumen de la muestra se determina por el método gravimétrico o volumétrico. Finalmente, la muestra es secada en horno y se determina de nuevo la masa. Usando los valores de la masa obtenidos y mediante las fórmulas de este método de ensayo, es posible calcular la densidad, densidad relativa (gravedad específica), y la absorción.

**Tabla N° 10:** Resultados Ensayo Peso específico y Absorción

N° PICNÓMETRO	PESO ESPECÍFICO		%ABSORCIÓN	
	1	2	1	2
PESO DE PICNÓMETRO	157.3	157.3		
PESO A. FINO SECO	274.8	278.2	274.8	278.2
PESO = P + AGUA	655.1	655.1		
PESO = P + AGUA + A. FINO	832.3	833.2		
VOLUMEN	101.5	102.0		
PESO A. FINO SSS	278.7	280.1	278.7	280.1
	2.707	2.708	1.42	1.42
	2.708 gr/cm <sup>3</sup>		1.42 %	

5.1.1.2.5 Peso Unitario Suelto (NTP 400.017- ASTM C29)

Se llena el recipiente con el agregado en su estado suelto, siendo llenado con ayuda de una cuchara. Enrasar con ayuda de una varilla cuidando de no presionar para no generar compactación de los agregados.

**Tabla N° 11:** Resultados Ensayo P.U.S. del agregado fino

VOL. MOLDE (m <sup>3</sup> )	0.096
PESO MOLDE (Kg)	4.40
PESO MOLDE + A. FINO (Kg)	19.25
PESO A. FINO (Kg)	14.85
P.U.S. (Kg/m <sup>3</sup> )	1547

#### 5.1.1.2.6 Peso Unitario Compactado (NTP 400.017- ASTM C29)

Se llena en tres capas. Se apisona cada capa de agregado con la barra compactadora, mediante 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie. El agregado sobrante se elimina utilizando la barra compactadora como regla.

**Tabla N° 12:** Resultados Ensayo P.U.C. del agregado fino

VOL. MOLDE (m <sup>3</sup> )	0.096
PESO MOLDE (Kg)	4.40
PESO MOLDE + A. FINO (Kg)	20.50
PESO A. FINO (Kg)	16.10
P.U.C. (Kg/m <sup>3</sup> )	1677

#### 5.1.1.3 Ensayos al agregado liviano

Uno de los datos necesarios para realizar el diseño de mezclas en general, es el peso específico de los materiales. Uno de los inconvenientes en la presente investigación respecto a este punto, fue hallar el peso específico aproximado del poliestireno expandido, ya que actualmente este agregado ligero no cuenta con una normativa para la determinación de su peso específico.

Es por ello que se realizó un ensayo no normalizado basado en el ensayo para la obtención del peso específico de los agregados gruesos.

**Tabla N° 13:** Resultados de ensayo no normalizado.

PESO ESPECÍFICO DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO		
Peso muestra sss	7.3	g
Peso canastilla	884.6	g
Peso sumergido + canastilla	333.4	g
Peso sumergido	-551.2	g
Peso muestra seca	7.3	g
P. Especifico	0.01307	g/cm <sup>3</sup>
P. Especifico	13.07	kg/m <sup>3</sup>

5.1.1.4 Resumen de resultados

**Tabla N° 14: Resumen de Resultados**

PROPIEDADES FISICAS DEL AGREGADO FINO							
PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN				CONTENIDO DE HUMEDAD			
P. específica = 2.708 gr/cm <sup>3</sup>				% Humedad = 0.86 %			
% Absorción = 1.42 %							
PESO VOLUMÉTRICO							
P.U.S de la arena = 1547 kg/m <sup>3</sup>				P.U.C de la arena = 1677 kg/m <sup>3</sup>			
ENSAYO DE GRANULOMETRIA (NTP 400.012 - ASTM C136)						HUSO: Arena Gruesa	
TAMIZ	DIAMETRO DEL TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	(%) RETENIDO	(%) RET. ACUM.	(%) QUE PASA	MINIMO	MAXIMO
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
N° 4	4.75	3.30	0.33	0.33	99.67	100	95
N° 8	2.36	8.40	0.84	1.17	98.83	100	80
N° 16	1.18	31.50	3.15	4.32	95.68	85	50
N° 30	0.59	175.20	17.52	21.84	78.16	60	25
N° 50	0.30	459.90	45.99	67.83	32.17	30	10
N° 100	0.15	278.50	27.85	95.68	4.32	10	2
FONDO	0.00	43.20	4.32	100.00	0.00		
	<b>SUMA</b>	1000.00	100.00				
	<b>M.F.=</b>	<b>1.91</b>					

**CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA ARENA**

— Agregado

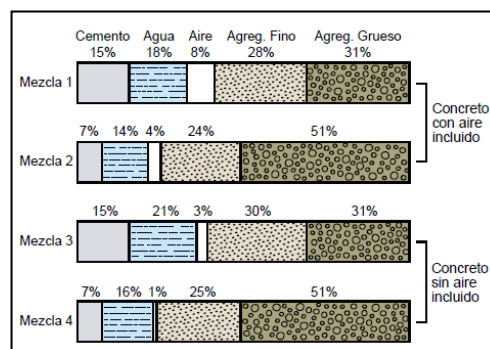
## 5.1.2 Diseño de mezcla de concreto liviano con poliestireno expandido

### 5.1.2.1 Proporcionamiento de la mezcla

Se realizó el diseño por performance, estas proporciones a la hora del mezclado pueden variar dependiendo su desempeño en estado fresco:

- Se requiere que el diseño tenga la mayor resistencia a la compresión ya que el poliestireno expandido disminuirá esta propiedad, de esa manera se debe asegurar una resistencia superior a 130Kg/cm<sup>2</sup>, que es la mínima que se necesita para que la unidad de albañilería sea clasificada como tipo IV. Se elaboraron 02 diseños de mezcla.
- El porcentaje de agregados en un concreto convencional varía entre los 65% a 75% del volumen total, por ello, siendo conservadores para el presente diseño de mezclas se tomó que ocupen aproximadamente un 70% del volumen del concreto.

**Fig. N° 11:** *Proporciones típicas de componentes del concreto*



*Nota.* Tomado de *Diseño y Control de mezclas de concreto* por Kosmatka, Kerkhoff, Paranes & Tanesi, 2004, Portland Cement Association.

- Se consideró como aire atrapado el 1% del volumen del concreto por su baja R a/c.
- El porcentaje y compatibilidad del aditivo se realizó inicialmente en pruebas de pasta de cemento, donde se obtuvo un porcentaje aproximado respecto a la masa de cemento considerando una trabajabilidad necesaria para la actividad de mezclado y vaciado. Para la presente tesis se llegó a la conclusión de poder utilizar un 3% sin que se presente efectos de sobredosificación.

- Se partió de una relación a/c = 0.25. Tomando como referencia que se quiere obtener resistencias elevadas para poder cumplir con la norma E.070 (unidades tipo IV, consideradas para los muros portantes). Se realizaron dos diseños de mezcla, en donde lo que varió no es la relación a/c, sino el porcentaje de agregados (agregado fino y poliestireno expandido). Asimismo, para la presente tesis se tomó como consideración que tanto el agua y cemento ocupan un 30% del volumen de concreto. Lógicamente durante el mezclado estas proporciones de acuerdo a su desempeño pueden tener reajustes.
- Se utilizó 300gr/m<sup>3</sup> microfibras.

Los cálculos para poder hallar la cantidad en kg por 1 m<sup>3</sup>:

1. Calculando el peso de agua y cemento, partiendo de la relación a/c = 0.25 y que ocupará un 30% del volumen del concreto, es decir el 0.3 m<sup>3</sup>

$$A/C = 0.25$$

$$A = 0.25C$$

$$V_a + V_c = 0.3 \dots\dots (1)$$

$$\text{Se tiene que: } \gamma = \frac{m}{v}$$

Dato: y cemento = 3120 kg/m<sup>3</sup> (Ver Anexos)

$$\frac{M_a}{\gamma_a} + \frac{M_c}{\gamma_c} = 0.3 \dots\dots(2)$$

Reemplazando en (2) en (1):

$$\frac{0.25C}{1000kg/m^3} + \frac{C}{3120kg/m^3} = 0.3m^3$$

$$\text{*Peso cemento (C) = 526.22 Kg}$$

$$\text{*Peso Agua (A) = 131.58 Kg}$$

2. Cálculo del peso de aditivo (3% del peso del cemento):

$$\text{*Peso aditivo = 15.79 kg}$$

3. Redefiniendo los valores que se tienen:

**Tabla N° 15:** *Cálculo en volumen de componentes*

Componentes	Masa kg	Volumen en 1m3
AGUA	131.58	0.1316
CEMENTO	526.32	0.1687
FIBRA	0.30	0.0003
AIRE	0.00	0.01
ADITIVO	15.79	0.0148
AG. FINO	X	X
VOLUMEN	Σ	0.3254 + X

4. Hallando el volumen que ocupará el agregado fino (Vaf):

$$Vaf = 1 - 0.3254 = 0.6746 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{Vaf = 0.6746 \text{ m}^3}$$

Se tiene como dato que:  $\gamma$  (arena) = 2.707 gr/cm<sup>3</sup>

$$\gamma$$
 (arena) = 2707 kg/m<sup>3</sup>

Entonces tenemos en peso:

$$\text{Masa Ag. Fino} = 0.6746 \times 2707$$

$$\mathbf{*Masa Ag. Fino = 1826.14 \text{ kg}}$$

5. Redefiniendo tenemos que:

**Tabla N° 16:** *Volumen de los componentes por m<sup>3</sup>*

Componentes	Masa kg	Volumen en 1m3
AGUA	131.58	0.1316
CEMENTO	526.32	0.1687
FIBRA	0.30	0.0003
AIRE	0.00	0.01
ADITIVO	15.79	0.0148
AG. FINO	1826.14	0.6746
Σ	2500.13	1.000

6. Recalculando y bajando la cantidad de cemento a 10bls/m3.

$$V_{af} = 1 - 0.2647 = m^3$$

$$V_{af} = 0.7353 \text{ m}^3$$

$$\text{Masa Ag. Fino} = 0.7353 \times 2707$$

$$\text{Masa Ag. Fino} = 1990.46 \text{ kg}$$

**Tabla N° 17:** Componentes recalculados

Componentes	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Masa (kg)	Volumen en m <sup>3</sup>
AGUA	1000	106.25	0.1063
CEMENTO	3120	425.00	0.1362
FIBRA	910	0.30	0.0003
AIRE	----	---	0.01
ADITIVO	1070	12.75	0.0119
AG. FINO	2707	1990.46	0.7353
<b>Σ</b>		<b>2534.76</b>	<b>1.000</b>

La masa en estado húmedo es 2534.76 kg, es decir tiene una densidad de 2534.76 kg/m<sup>3</sup>.

El ACI 213R-03, define a los concretos livianos como aquellos que poseen una densidad en estado seco menor a 1850kg/m<sup>3</sup>. (ACI Committee 213, 2003).

Tomando como premisa el párrafo anterior, para que el concreto diseñado sea considerado como liviano, requiere que el peso unitario del mismo se disminuya. Es por ello que se introducirá agregado ligero (poliestireno expandido – EPS) entre un 50% y 60% en reemplazo de la arena, se obtendría una densidad aproximada de entre 1350kg/m<sup>3</sup> a 1450kg/m<sup>3</sup>.

Se tiene como dato el peso específico del poliestireno expandido 13.07 kg/m<sup>3</sup>.

Haciendo cálculos se obtendrá:

**Para el DISEÑO N°1 (60% Tecnopor + 40% Ag. Fino) se tiene:**

Donde:  $V_{\text{tecnopor}} = 0.6 \times 0.7353 = 0.4412$

$\text{Peso Tecnopor} = 0.4412 \times 13.07 = 5.766 \text{ kg}$

$V_{\text{af}} = 0.4 \times 0.7353 = 0.2941$

$\text{Peso ag, fino} = 0.2941 \times 2707 = 796.18 \text{ kg}$

**Corrección por humedad:**

Agregado fino húmedo:  $796.18 \text{ Kg} \times (1 + 0.0086) = 803.03 \text{ Kg}$

Aporte de humedad:  $796.18 \text{ Kg} \times (0.86\% - 1.42\%) = -4.47 \text{ Kg}$

Corrección de agua por aporte de humedad:

$106.25 - (-4.47) = 110.72 \text{ Kg}$

**Tabla N° 18:** Pesos para 1m<sup>3</sup>.

PESOS PARA 1M3	
AGUA	110.7 Kg
CEMENTO	425.0 Kg
FIBRA	0.3 Kg
ADITIVO	12.8 Kg
AG. FINO	803.0 Kg
POLIESTIRENO EXPANDIDO	5.8 Kg
$\Sigma$ 1357.6	

De la Tabla N°18 se tiene que el Diseño 1 tendría una densidad húmeda aproximada de 1357.6 Kg/m<sup>3</sup>.

Obteniendo volúmenes para 6 probetas (de 6"x12") adicionándole un 15% de desperdicio. Multiplicamos todo el volumen anterior por 0.0385.

Vol. 1 probeta = 0.005559 m<sup>3</sup>

Vol. Para 6 probetas = 0.033354 m<sup>3</sup> + 15% desperdicio = 0.0385

**Tabla N° 19: Pesos para 6 probetas.**

MASAS PARA 0.0385	
AGUA	4.26 Kg
CEMENTO	16.36 Kg
FIBRA	12 g
ADITIVO	491 g
AG. FINO	30.92 Kg
POLIESTIRENO EXPANDIDO	222 g

**Para el DISEÑO N°2 (50% Tecnopor + 50% ag. Fino) se tiene:**

Donde:  $V_{\text{tecnopor}} = 0.5 \times 0.7353 = 0.3677$

Peso Tecnopor =  $0.3677 \times 13.07 = 4.806 \text{ kg}$

$V_{\text{af}} = 0.5 \times 0.7353 = 0.3677$

Peso ag, fino =  $0.3677 \times 2707 = 995.36 \text{ kg}$

**Corrección por humedad:**

Agregado fino húmedo:  $995.36 \text{ Kg} \times (1 + 0.0086) = 1003.92 \text{ Kg}$

Aporte de humedad:  $995.36 \text{ Kg} \times (0.86\% - 1.42\%) = -5.57 \text{ Kg}$

Corrección de agua por aporte de humedad:

$106.25 - (-5.57) = 111.82 \text{ Kg}$

**Tabla N° 20: Pesos para 1m3**

MASAS PARA 1M3	
AGUA	111.8 Kg
CEMENTO	425.00 Kg
FIBRA	0.30 Kg
ADITIVO	12.75 Kg
AG. FINO	1003.9 Kg
POLIESTIRENO EXPANDIDO	4.806 Kg
	<b>Σ 1558.6</b>

De la Tabla N°20 se tiene que el Diseño 2 tiene una densidad húmeda aproximado de 1558.6 Kg/m<sup>3</sup>.

Volúmenes para 6 probetas (de 6"x12") adicionándole un 15% de desperdicio. Multiplicamos todo el volumen anterior por 0.0385.

Vol. 1 probeta = 0.005559 m<sup>3</sup>

Vol. Para 6 probetas = 0.033354 m<sup>3</sup> + 15% desperdicio = 0.0385

**Tabla N° 21:** Pesos para 6 probetas.

PESOS PARA 0.0385 m <sup>3</sup>	
AGUA	4.31 Kg
CEMENTO	16.36 Kg
FIBRA	12.00 g
ADITIVO	491.0 g
AG. FINO	38.65 Kg
POLIESTIRENO EXPANDIDO	185.0 g.

#### 5.1.2.2 Metodología para la elaboración de especímenes

- Se realizó el mezclado de forma manual.
- Durante la elaboración de la mezcla del diseño N° 02 se presentaron problemas con la trabajabilidad para mezclado, siendo necesario la adición de 818 g de agua, esta adición de agua aumento la R a/c de 0.25 a 0.30.
- Para la obtención de los testigos se utilizaron moldes cilíndricos de 6in x 12in.
- Los especímenes fueron elaborados de acuerdo con la ASTM C31 "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field".
- Se obtuvieron 6 muestras de cada diseño para ser ensayadas a los 3, 7 y 28 días.
- Seguidamente después del desmoldar las probetas, pasaron a ser curadas.
- Se tomaron los resultados a los 3 y 7 días de ambos diseños como referencia para elegir el mayor diseño con el que se realizaran las unidades de albañilería.

### 5.1.2.3 Ensayos del concreto en estado fresco

- Temperatura del concreto

Se tomó las lecturas iniciales de ambos diseños no mostrándose una variación significativa entre ambos.

- Porcentaje de vacíos

No se realizó este ensayo, ya que el instrumento con el que cuenta la universidad (ASTM C231) no aplica para este tipo de concretos.

- Consistencia del concreto

De acuerdo a la norma ASTM, no es aplicable para los concretos livianos.

### 5.1.2.4 Ensayos del concreto en estado endurecido

- Resistencia a la compresión

Se siguieron las recomendaciones de la ASTM C39. Se tiene los siguientes resultados:

#### DISEÑO N°1:

**Tabla N° 22:** Resultados del 1er Diseño en Probetas 6inx12in

Cod.	Fecha del Testigo	Fecha de Ensayo	Diámetro (cm)	Edad (días)	Carga Max. en Kg	Resistencia compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Descripción
1	15/07/19	18/07/19	14.94	3	15356.68	87.55	Diseño concreto liviano N°01 (60% Tecnopor + 40% Ag. Fino).
2	15/07/19	18/07/19	14.94	3	14867.23	84.76	Diseño concreto liviano N°01 (60% Tecnopor + 40% Ag. Fino).

Cod.	Fecha del Testigo	Fecha de Ensayo	Diámetro (cm)	Edad (días)	Carga Max. en Kg	Resistencia compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Descripción
1	15/07/19	22/07/19	14.95	7	18446.37	105.11	Diseño concreto liviano N°01 (60% Tecnopor + 40% Ag. Fino).
2	15/07/19	22/07/19	14.95	7	18793.07	107.08	Diseño concreto liviano N°01 (60% Tecnopor + 40% Ag. Fino).

Cod.	Fecha del Testigo	Fecha de Ensayo	Diámetro (cm)	Edad (días)	Carga Max. en Kg	Resistencia compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Descripción
1	15/07/19	12/08/19	14.95	28	23035.02	131.03	Diseño concreto liviano N°01 (60% Tecnopor + 40% Ag. Fino).
2	15/07/19	12/08/19	14.95	28	23728.42	134.97	Diseño concreto liviano N°01 (60% Tecnopor + 40% Ag. Fino).

## DISEÑO N°2:

**Tabla N° 23:** Resultados del 2do diseño en Probetas 6inx12in

Cod.	Fecha del Testigo	Fecha de Ensayo	Diámetro (cm)	Edad (días)	Carga Max. en Kg	Resistencia compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Descripción
1	15/07/19	18/07/19	15.09	3	19425.29	108.64	Diseño concreto liviano N°02 (50% Tecnopor + 50% Ag. Fino).
2	15/07/19	18/07/19	15.09	3	19975.92	111.72	Diseño concreto liviano N°02 (50% Tecnopor + 50% Ag. Fino).

Cod.	Fecha del Testigo	Fecha de Ensayo	Diámetro (cm)	Edad (días)	Carga Max. en Kg	Resistencia compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Descripción
1	15/07/19	22/07/19	15.15	7	23024.83	127.77	Diseño concreto liviano N°02 (50% Tecnopor + 50% Ag. Fino).
2	15/07/19	22/07/19	15.15	7	23473.49	130.26	Diseño concreto liviano N°02 (50% Tecnopor + 50% Ag. Fino).

Cod.	Fecha del Testigo	Fecha de Ensayo	Diámetro (cm)	Edad (días)	Carga Max. en Kg	Resistencia compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Descripción
1	15/07/19	12/08/19	15.12	28	28388.45	158.06	Diseño concreto liviano N°02 (50% Tecnopor + 50% Ag. Fino).
2	15/07/19	12/08/19	15.12	28	29275.59	163.00	Diseño concreto liviano N°02 (50% Tecnopor + 50% Ag. Fino).

### 5.1.2.5 Interpretación de resultados

Respecto a las dos dosificaciones, el diseño N°02 que contiene un 50% de agregado fino y 50% de agregado ligero del volumen total de agregados y fue el que obtuvo mejores resultados.

Se tomó el diseño N°02 para la elaboración de las unidades de albañilería.

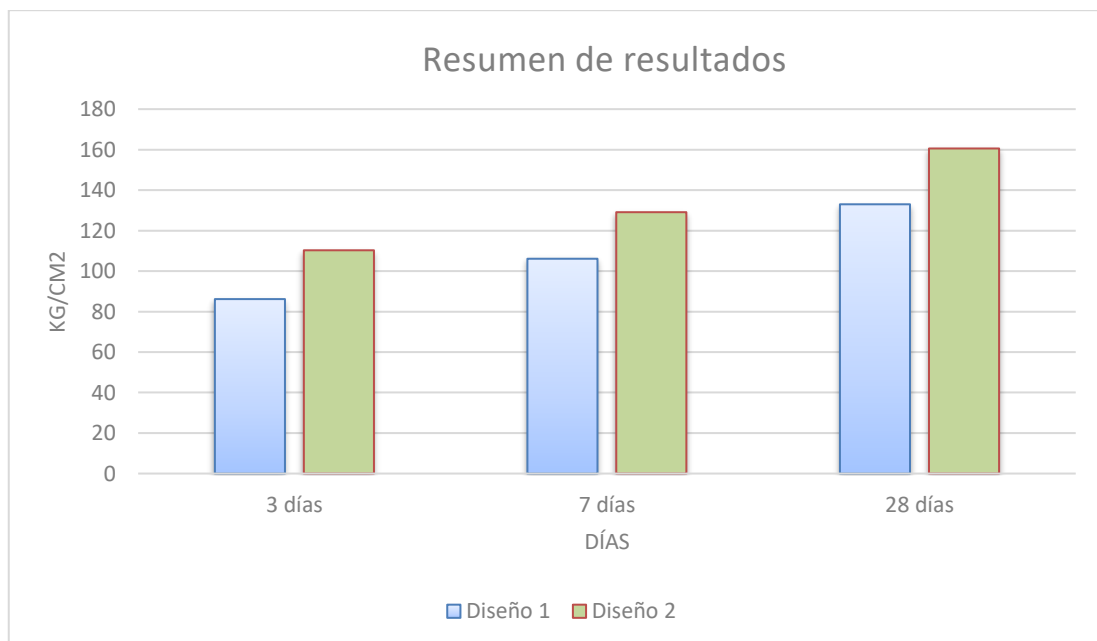
5.1.2.6 Cuadros resumen y gráficos

**Tabla N° 24: Resultados Promedios Diseño N°1 y N°2**

Ensayo de compresión de testigos Diseño N° 1						
Fecha de moldeado	Fecha de Ensayo	Edad (Días)	Resistencia compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )			Descripción
			1	2	Promedio	
15/07/2019	18/07/2019	3	87.55	84.78	<b>86.17</b>	60% Tecnopor + 40% Ag. Fino
15/07/2019	22/07/2019	7	105.11	107.08	<b>106.10</b>	
15/07/2019	12/08/2019	28	131.03	134.97	<b>133.00</b>	

Ensayo de compresión de testigos Diseño N° 2						
Fecha de moldeado	Fecha de Ensayo	Edad (Días)	Resistencia compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )			Descripción
			1	2	Promedio	
15/07/2019	18/07/2019	3	108.84	111.72	<b>110.28</b>	50% Tecnopor + 50% Ag. Fino
15/07/2019	22/07/2019	7	127.77	130.26	<b>129.02</b>	
15/07/2019	12/08/2019	28	158.06	163.00	<b>160.53</b>	

**Gráfico N° 2: Resumen de resultados Diseño N°1 y N°2**



### 5.1.3 Elaboración de unidades de albañilería con concreto liviano

El uso del concreto ligero tiene un gran número de aplicaciones como ya se ha explicado en capítulos anteriores, pero el enfoque principal en esta investigación es elaborar unidades de albañilería –ladrillos, incluyendo en sus componentes el poliestireno expandido EPS y comprobar si es que éstas podrían o no mejorar el confort de las viviendas presentando una conductividad térmica menor en comparación con los ladrillos de uso general y masivo en nuestro medio, así como también verificar si es que éstas unidades de albañilería podrían ser usadas para muros estructurales o portantes o su uso solo se limitaría para muros no estructurales, de acuerdo con los requisitos establecidos en la E.070.

Es por ello que luego de realizar dos dosificaciones distintas variando la cantidad de poliestireno expandido, se eligió la que resultó tener mejores resultados iniciales a los 3 y 7 días. Con este diseño se realizaron las unidades de albañilería – ladrillos de concreto con las dimensiones comerciales 25cmx12.5cmx9cm.

Posterior a la elaboración de las unidades, se procedieron a curar todas las unidades. Se realizaron los ensayos a compresión a los 7 y 28 días.

#### 5.1.3.1 Dosificación

Luego de los ensayos mencionados en el capítulo anterior, se procedió con la elaboración de las unidades de albañilería – ladrillos. El diseño que se tomó fue el de mayores resultados del capítulo anterior (Diseño N°2). Cabe destacar que el diseño contiene respecto al porcentaje global de agregado un 50% de agregado fino y un 50% de poliestireno expandido.

**Tabla N° 25:** *Dosificación óptima para el diseño de ladrillos de Concreto Ligero*

PESOS PARA 1M3	
AGUA	106.25 Kg
CEMENTO	425.00 Kg
FIBRA	0.30 Kg
ADITIVO	12.75 Kg
AG. FINO	995.36 Kg
POLIESTIRENO	4.806 Kg.

### 5.1.3.2 Dimensiones del ladrillo

Las dimensiones que presenta el ladrillo son de: **25cmx12.5cmx9cm**. Se trata de una unidad con una pequeña abertura en el centro. Los ladrillos elaborados son mucho más livianas en comparación de otros ladrillos macizos.

Para las unidades estándar, el total de las dimensiones (ancho, alto y longitud) no debe diferir por más de  $\pm 3$  mm de las dimensiones especificadas.

**Fig. N° 12:** *Moldes de madera de 25x12.5x9 cm para ladrillos de concreto ligero*



### 5.1.4 Ensayos a los ladrillos de concreto ligero

Las normas aplicadas para el control de calidad fueron acondicionadas ya que no hay normas peruanas específicas para el control de calidad de unidades de albañilería de concreto liviano.

Respecto a la determinación de la conductividad térmica se realizaron pruebas no normalizadas por no contar con los medios y equipos necesarios que se especifican en algunas de las normas para la determinación de esta propiedad tal como es el caso de la norma ASTM C177-13 “Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of Guarded-Hot-Plate Apparatus”.

5.1.4.1 Variación de dimensiones

El ensayo fue realizado siguiendo las recomendaciones de la NTP 399.604 “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayos de unidades de albañilería de concreto” y ASTM C140 “Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units” que brinda las recomendaciones para el muestreo y las pautas para la realización de los ensayos. El procedimiento se detalló en el primer capítulo, en el Ítem “*Ensayos clasificatorios*” para unidades de albañilería.

La variación dimensional (V) es calculada entre la diferencia de la dimensión especificada por el fabricante (De) y la dimensión promedio (Dp) y se multiplica al resultado por 100.

Fórmula:

$$V\% = \frac{(De - Dp)}{De} \times 100$$

Para el ensayo se realizaron las mediciones de las cuatro caras utilizando un pie de rey o Vernier. Ver Anexos.

**Tabla N° 26:** Variación de dimensiones

VARIACION DE DIMENSIONES - NTP 399.604 / ASTM C140							
N° MUESTRAS		LARGO (mm)		ANCHO (mm)		ALTO (mm)	
Código	# Mediciones	Medidas	Promedio	Medidas	Promedio	Medidas	Promedio
M-1	1	252.50	252.80	126.50	125.95	94.10	93.90
	2	253.10		125.40		93.70	
	3	252.50		126.50		94.10	
	4	253.10		125.40		93.70	
M-2	1	253.10	253.30	122.10	125.75	93.00	93.90
	2	253.50		129.40		94.80	
	3	253.10		122.10		93.00	
	4	253.50		129.40		94.80	
M-3	1	253.00	252.65	126.70	125.65	93.50	93.55
	2	252.30		124.60		93.60	
	3	253.00		126.70		93.50	
	4	252.30		124.60		93.60	
M-4	1	253.90	253.10	127.30	126.85	93.60	93.60
	2	252.30		126.40		93.60	
	3	253.90		127.30		92.70	
	4	252.30		126.40		92.70	
M-5	1	253.10	252.60	122.40	122.80	94.50	93.95
	2	252.10		123.20		93.40	
	3	253.10		122.40		93.40	
	4	252.10		123.20		93.60	
M-6	1	252.40	252.75	126.00	125.00	93.90	93.75
	2	253.10		124.00		93.60	
	3	252.40		126.00		93.90	
	4	253.10		124.00		93.60	

### Interpretación:

La Norma NTP 399.601 “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Ladrillos de concreto. Requisitos” establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos para su uso en la albañilería estructural u otros fines, esta norma menciona que las variaciones permisibles de las dimensiones (largo, alto y ancho), no deben diferir por más de +/- 3.2mm y los resultados en la tabla se encuentran dentro del rango permisible.

#### 5.1.4.2 Absorción, contenido de humedad y densidad

El ensayo fue realizado siguiendo las recomendaciones de la NTP 399.604 y ASTM C140.

**Tabla N° 27: Ensayo de absorción**

ABSORCIÓN - NTP 399.004 / ASTM C140			
MUESTRAS	M-1	M-5	M-6
PESO ESTADO NATURAL ( $W_r$ )	3.529	3.303	3.560
PESO SATURADO ( $W_s$ )	3.546	3.331	3.588
PESO SUMERGIDO ( $W_i$ )	1.434	1.324	1.417
PESO SECO ( $W_d$ )	3.169	2.990	3.200
ABSORCIÓN (%)	11.90	11.41	12.11
ABSORCIÓN PROMEDIO (%)	11.80		
ABSORCIÓN (Kg/m <sup>3</sup> )	178.48	169.93	178.50
ABSORCIÓN PROMEDIDO (Kg/m <sup>3</sup> )	175.64		

**Tabla N° 28: Contenido humedad.**

CONTENIDO HUMEDAD - NTP 399.004 / ASTM C140			
MUESTRAS	M-1	M-5	M-6
PESO ESTADO NATURAL (W <sub>r</sub> )	3.529	3.303	3.560
PESO SATURADO (W <sub>s</sub> )	3.546	3.331	3.588
PESO SUMERGIDO (W <sub>i</sub> )	1.434	1.324	1.417
PESO SECO (W <sub>d</sub> )	3.169	2.990	3.200
CONTENIDO HUMEDAD %	11.36	10.46	11.25
CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO (%)	11.02		

**Tabla N° 29: Densidad de unidades.**

DENSIDAD SECA AL HORNO - NTP 399.004 / ASTM C140			
MUESTRAS	M-1	M-5	M-6
PESO ESTADO NATURAL (W <sub>r</sub> )	3.529	3.303	3.560
PESO SATURADO (W <sub>s</sub> )	3.546	3.331	3.588
PESO SUMERGIDO (W <sub>i</sub> )	1.434	1.324	1.417
PESO SECO (W <sub>d</sub> )	3.169	2.990	3.200
DENSIDAD (Kg/m <sup>3</sup> )	1500.26	1489.71	1474.04
DENSIDAD PROMEDIO (Kg/m <sup>3</sup> )	1488.01		

**Interpretación:**

La Norma NTP 399.601 “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Ladrillos de concreto. Requisitos” respecto la absorción máxima de las unidades de concreto hay rangos desde el 8% al 12%, según los resultados de la Tabla N°27, se tiene como absorción promedio **11.80%**, pudiendo estar clasificada como unidades **tipo 10 a 14**<sup>1</sup>.

El contenido de humedad promedio según la tabla N°28 es **11.02%** y la densidad promedio de las unidades es de **1488.01 kg/m<sup>3</sup>**.

<sup>1</sup> Los tipos de ladrillos de concreto según la Norma NTP 33.601 son TIPO 24, TIPO 17, TIPO 14 y TIPO 10, donde para que sea definida si es de un tipo u otro debe cumplir dos requisitos respecto a resistencia a la compresión promedio y absorción máxima.

5.1.4.3 Resistencia a la compresión de unidades de albañilería y pilas

El ensayo fue realizado siguiendo las recomendaciones de la NTP 399.604 y ASTM C140.

**Tabla N° 30:** Resistencia a la compresión unidades a los 7 días

Muestra	Medidas	1	2	3	4	Promedio	Área Bruta	Carga KN	Carga Kg	Resistencia compresión f'b (kg/cm <sup>2</sup> ) 7 días
Ladrillo M-1	Largo	25.25	25.31	25.25	25.31	25.28	318.40	246.1	25095.21	78.82
	Ancho	12.65	12.54	12.65	12.54	12.60				
	Alto	9.41	9.37	9.41	9.37	9.39				
Ladrillo M-4	Largo	25.39	25.23	25.39	25.23	25.31	321.06	240.5	24524.17	76.39
	Ancho	12.73	12.64	12.73	12.64	12.69				
	Alto	9.36	9.36	9.27	9.27	9.37				
Ladrillo M-5	Largo	25.31	25.21	25.31	25.21	25.26	310.19	235.8	24044.90	77.52
	Ancho	12.24	12.32	12.24	12.32	12.28				
	Alto	9.45	9.34	9.34	9.36	9.37				

**Tabla N° 31:** Resultados promedios a los 7 días sin descontar una Desviación Estándar

( $\sigma$ )

Muestra	Resistencia compresión fb (kg/cm <sup>2</sup> ) 7 días
Ladrillo M-1	78.82
Ladrillo M-4	76.39
Ladrillo M-5	77.52

**Tabla N° 32:** Resultado promedio de Resistencia a la compresión f'b de ladrillos a los 7 días con desviación estándar.

Muestra	Resistencia compresión fb (kg/cm <sup>2</sup> ) 7 días	$\bar{f'b}$ (kg/cm <sup>2</sup> ) Promedio 7 días	$f_b - \bar{f'b}$	$(f'b - \bar{f'b})^2$	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(f'b - \bar{f'b})^2}{n - 1}}$	$f_b = \bar{f'b} - \sigma$ Resistencia compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) 7 días
Ladrillo M-1	78.82	77.58	0.74	0.548	0.99	76.59
Ladrillo M-4	76.39		-1.19	1.416		
Ladrillo M-5	77.52		-0.06	0.004		
			$\Sigma$	1.968		

**Tabla N° 33:** Resistencia a la compresión unidades a los 28 días

Muestra	Medidas	1	2	3	4	Promedio	Área Bruta	Carga KN	Carga Kg	Resistencia compresión $f'b$ (kg/cm <sup>2</sup> ) 28 días
Ladrillo M-2	Largo	25.31	25.35	25.31	25.35	25.33	318.52	408.1	41614.61	130.65
	Ancho	12.21	12.94	12.21	12.94	12.58				
	Alto	93	94.8	93	94.8	93.90				
Ladrillo M-3	Largo	25.3	25.23	25.3	25.23	25.27	317.45	412.5	42063.29	132.50
	Ancho	12.67	12.46	12.67	12.46	12.57				
	Alto	93.5	93.6	93.5	93.6	93.55				
Ladrillo M-6	Largo	25.24	25.31	25.24	25.31	25.28	315.94	418.8	42705.71	135.17
	Ancho	12.6	12.4	12.6	12.4	12.50				
	Alto	9.39	9.36	9.39	9.36	9.38				

**Tabla N° 34:** Resultados promedios a los 28 días sin descontar una Desviación Estándar ( $\sigma$ )

Muestra	Resistencia compresión $f'b$ (kg/cm <sup>2</sup> ) 28 días
Ladrillo M-2	130.65
Ladrillo M-3	132.50
Ladrillo M-6	135.17

**Tabla N° 35:** Resultado promedio de Resistencia a la compresión  $f'b$  de ladrillos a los 28 días.

Muestra	Resistencia compresión $f'b$ (kg/cm <sup>2</sup> ) 28 días	$\bar{f'b}$ (kg/cm <sup>2</sup> ) Promedio 28 días	$f'b - \bar{f'b}$	$(f'b - \bar{f'b})^2$	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(f'b - \bar{f'b})^2}{n - 1}}$	$f'b = \bar{f'b} - \sigma$ Resistencia compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) 28 días
Ladrillo M-2	130.65	132.77	-2.12	4.494	2.27	130.50
Ladrillo M-3	132.50		-0.27	0.073		
Ladrillo M-6	135.17		2.40	5.760		
			$\Sigma$	10.327		

### Interpretación:

La Norma NTP 399.601 respecto a la resistencia a la compresión de unidades de concreto, según los resultados de la Tabla N°35, se tiene como resultado promedio de 3 roturas descontando la dispersión 130.50kg/cm<sup>2</sup> (12.80MPa), estando en el rango de las unidades **TIPO 14** y clasificándose como tal.

Se hicieron 3 prismas obteniendo:

**Tabla N° 36: Ensayo de pilas**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PILAS - NTP 399.605 / ASTM C1532														
Muestra	Medidas (cm)			Proporción mortero	Edad	a	Carga KN	Carga Kg	Área (cm <sup>2</sup> )	fi (kg/cm <sup>2</sup> )	hp/tp	C	fm (kg/cm <sup>2</sup> )	fm promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
	Largo	Ancho	Alto											
M-1	24.65	12.35	30.45	01:04	14	1.1	307.9	31396.56	304.428	103.1331	2.47	0.7958	90.28	88.49
M-2	24.85	12.45	30.35		14	1.1	302.8	30876.52	309.383	99.80046	2.44	0.7916	86.90	
M-3	24.80	12.45	30.45		14	1.1	306.5	31253.81	308.760	101.2236	2.45	0.7930	88.30	

$$f'm = fm - \sigma$$

Donde:

- a : Coeficiente relacionado a la edad del testigo (es 1.1 a los 14 días).
- C : Factor de corrección por esbeltez.
- fm: Promedio de resultados de las pruebas.
- $\sigma$  : Desviación estándar.

**Tabla N° 37: Ensayo de pilas descontando una desviación estándar**

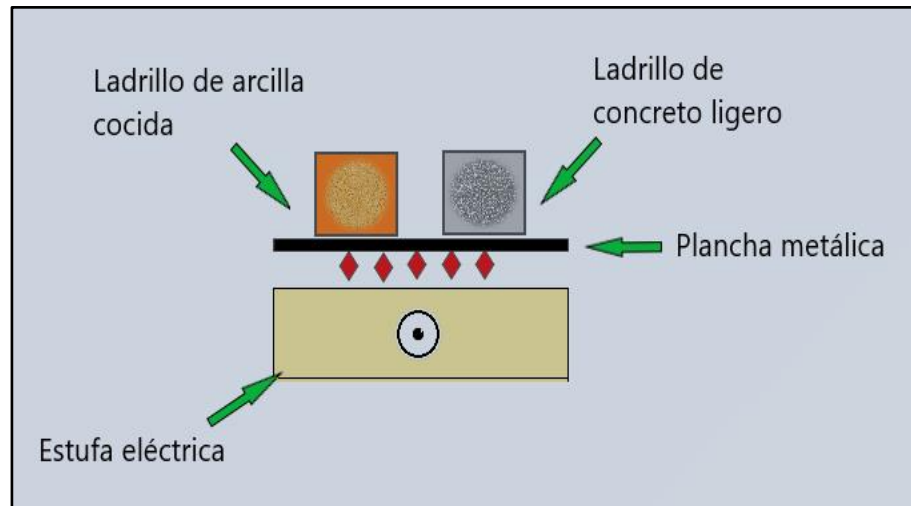
Muestra	Resistencia individual fm1 (kg/cm <sup>2</sup> )	fm (kg/cm <sup>2</sup> ) Promedio	fm1 - fm	(fm1 - fm) <sup>2</sup>	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(fm1 - f'm)^2}{n - 1}}$	f'm = fm - $\sigma$ Resistencia compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) 14 días
Ladrillo M-1	90.28	88.49	1.79	3.192	1.70	86.79
Ladrillo M-2	86.90		-1.59	2.539		
Ladrillo M-3	88.30		-0.19	0.037		
			$\Sigma$	5.768		

#### 5.1.4.4 Análisis de conductividad térmica

Debido a que no se ha podido realizar ensayos estandarizados como la ASTM C177 “Método de prueba estándar para mediciones de flujo de calor en estado estacionario y propiedades de transmisión térmica por medio del aparato de placa de protección en caliente”, se realizó una práctica no estandarizada en la que se expuso, a una unidad de albañilería de arcilla cocida y una de concreto ligero elaborada con poliestireno expandido al calor que genera una estufa eléctrica a través de una placa de metal para que el calor

se distribuya en toda la unidad (ver fig.13). Se realizó controles de temperatura por periodos de tiempo en la cara opuesta de la unidad. Los resultados se presentan en el siguiente cuadro:

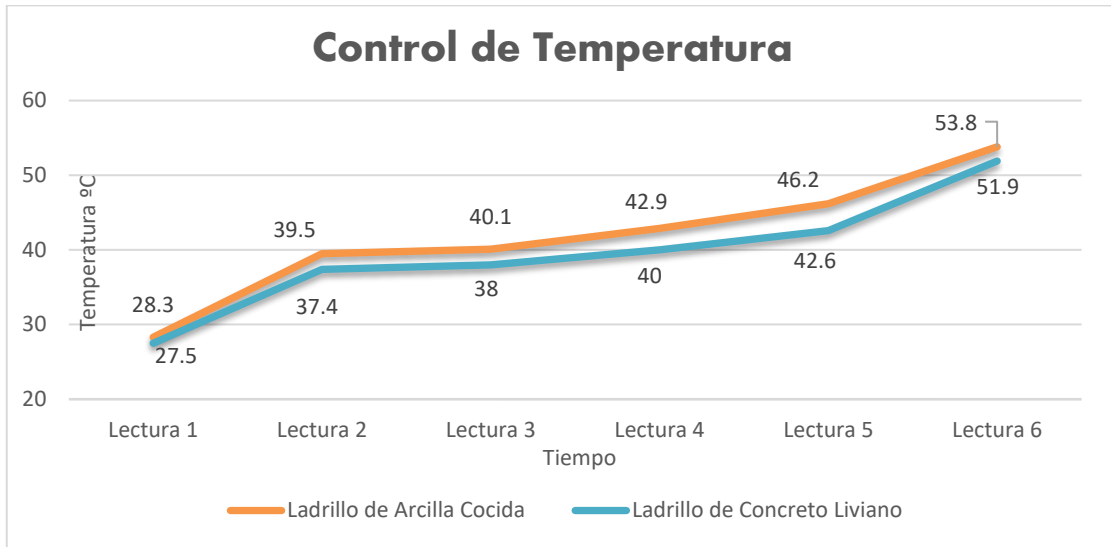
**Fig. N° 13:** Esquema de ensayo no estandarizado.



**Tabla N° 38:** Control de temperatura de unidades de albañilería

Control de temperatura a unidades expuestas a calor de estufa eléctrica					Hora inicial	23:30
Lectura N°	Hora	Tiempo transcurrido	Temperatura Ambiente	Temperatura Unidad de Albañilería de Arcilla °C	Temperatura Unidad de Albañilería de C.L	
1	23:40	00:10	25.2	28.3	27.5	
2	23:55	00:25	25.9	39.5	37.4	
3	00:10	00:40	26.4	40.1	38.0	
4	00:25	00:55	26.8	42.9	40.0	
5	00:40	01:10	29.0	46.2	42.6	
6	00:55	01:25	31	53.8	51.9	

**Gráfico N° 3:** Comparativo de temperatura entre 2 unidades de distinto material.

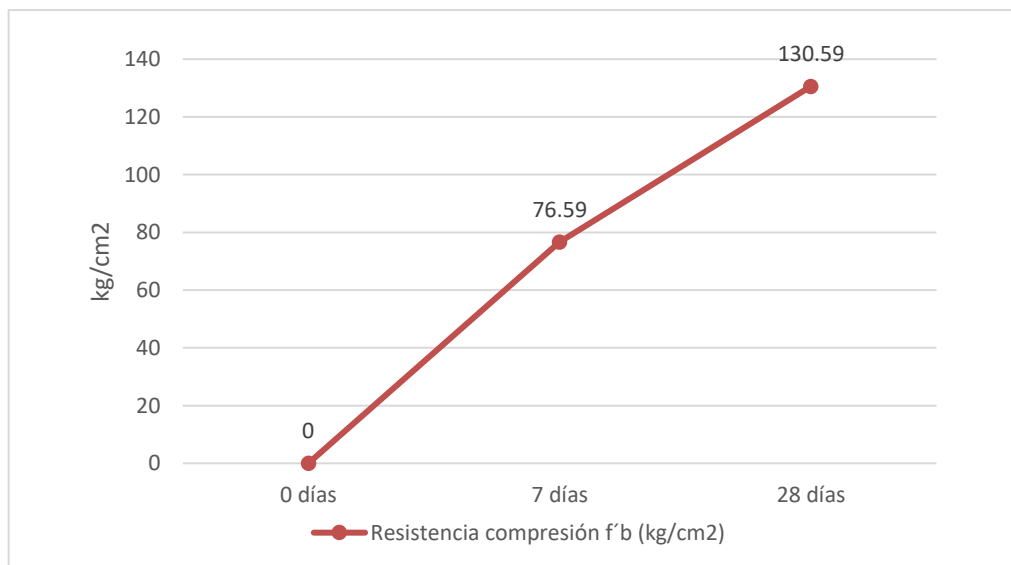


**Interpretación:**

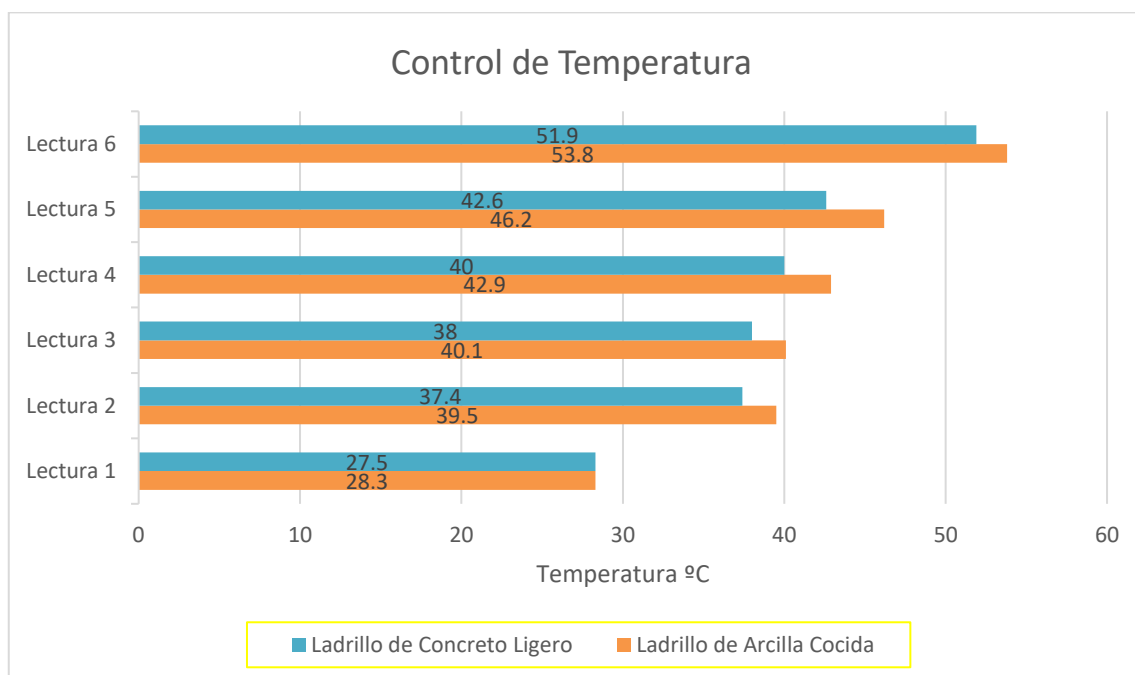
Los resultados mostrados en el Gráfico N°3, muestran la diferencia de conducción del calor entre uno y otro tipo de unidad a diferentes lecturas, siendo el ladrillo de concreto liviano el que presenta menor conducción del calor.

5.1.5 Cuadros resumen y gráficos

**Gráfico N° 4:** Resistencia compresión  $f'b$  (kg/cm<sup>2</sup>) de unidades de albañilería.



**Gráfico N° 5:** Comparativo de temperatura entre 2 unidades de distinto material.



## 5.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El objetivo principal de la investigación fue determinar cómo influiría las unidades de albañilería de concreto liviano en el confort de las viviendas, ya que por lo explicado teóricamente, el concreto ligero presenta propiedades térmicas; a nivel general se deduciría que las unidades elaboradas sí mejorarían las condiciones de confort y como sustento está el cuadro comparativo realizado entre el ladrillo de arcilla cocida y el ladrillo de concreto ligero donde ambos son sometidos al calor constante a través de una estufa, presentando diferencia de temperaturas; cabe mencionar que la prueba realizada para obtener los datos del cuadro comparativo en mención, se realizó con un ensayo no estandarizado debido a la falta de recursos, tomando las precauciones para disminuir los factores que podrían alterar el resultado.

Los resultados en cuanto a resistencia a la compresión fueron favorables, mostrando así que sí pueden ser utilizadas en muros portantes y no portantes de acuerdo a la norma de albañilería.

## **CAPÍTULO VI. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS**

### **6.1 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS GENERAL**

*“La aplicación de Normas para la elaboración de unidades de albañilería con concreto liviano influye en el confort de las viviendas de la ciudad de Ica”.*

Debido a los resultados de la prueba realizada, se podría deducir que la unidad de albañilería presenta menor conductividad térmica y por ende mejoraría el confort de las viviendas.

### **6.2 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

a) *“Con la dosificación óptima del diseño de mezcla de concreto liviano se pueden elaborar unidades de albañilería de muros portantes”.*

Según los ensayos de clasificación de las unidades de albañilería que determinan si una unidad de albañilería puede ser utilizada para muros portantes, la unidad sí cumple con los requerimientos.

b) *“Las unidades de albañilería elaboradas con concreto liviano cumplen con los requerimientos para muros no portantes”.*

Según las propiedades evaluadas a través de ensayos, las unidades de concreto liviano si cumplen con los requerimientos para muros no portantes.

c) *“Las unidades de albañilería elaboradas con concreto liviano cumplen con los requerimientos para muros portantes”.*

Según los resultados obtenidos de resistencia a la compresión, las unidades de concreto liviano sí cumplen con los requerimientos para muros portantes según las normas de albañilería.

d) *“La conductividad térmica de las unidades de albañilería elaboradas con concreto liviano es menor que las unidades de arcilla cocida”.*

Según los resultados de la toma de temperatura en la cara opuesta de la unidad sometida al calor constante, se podría definir que los ladrillos de concreto ligero presentan menor conductividad térmica que las de arcilla cocida.

## CONCLUSIONES

### CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

En el Reglamento Nacional de Edificaciones RNE, Norma E.070 Albañilería, en el Capítulo 3 “Componentes de Albañilería”, artículo 5 “Unidad de albañilería”, en el ítem 5.4 se menciona las pruebas o ensayos clasificatorios a considerarse de acuerdo a las normas NTP 399.613 (para unidades de arcilla) y la NTP 339.604 (para unidades de concreto). Revisando la NTP 339.604 nos menciona que el campo de aplicación del mencionado es para bloques y ladrillos de concreto utilizados como unidades de albañilería estructural.

La NTP 339.604 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA “Métodos de muestreo y ensayos de unidades de albañilería de concreto” referencia a:

- NTP 399.601 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Ladrillos de concreto. Requisitos.
- NTP 399.602 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Bloques de concreto para uso estructural. Requisitos.

La norma NTP 399.601 establece los requisitos que deberán cumplir los ladrillos de *peso normal* (se define en la misma norma a unidades que en condiciones de secado tienen una densidad de 2000 kg/m<sup>3</sup> o más) para su uso en la albañilería estructural u otros fines. La norma no menciona a los *ladrillos de peso ligero*, es por ello que se adaptó la aplicación de esta norma para la interpretación de los ensayos.

Cuadro extraído de la norma NTP 399.601:

**TABLA 1 - Requisitos de resistencia y absorción**

Resistencia a la compresión, mín, MPa, respecto al área bruta promedio			Absorción de agua, máx., % (Promedio de 3 unidades)
Tipo	Promedio de 3 unidades	Unidad Individual	
24	24	21	8
17	17	14	10
14	14	10	12
10	10	8	12

Según los resultados obtenidos en la Tabla N°35, tenemos como resultado promedio de 3 roturas disminuyendo la dispersión 130.50kg/cm<sup>2</sup> (**12.80MPa**). Asimismo, según la Tabla N°27, se tiene como absorción promedio de las unidades **11.80%**.

Por lo tanto, las unidades elaboradas de concreto ligero con poliestireno estarían clasificadas según esta norma en **TIPO 14** donde se indica que son “*para uso general donde se requiera moderada resistencia a la compresión*”. En resumidas palabras, el uso del ladrillo sería para muros portantes y no portantes.

En el ensayo de pilas la resistencia promedio  $f_m$  el resultado obtenido fue 86.79kg/cm<sup>2</sup>. Respecto a las variaciones permisibles de las dimensiones (largo, alto y ancho), la norma menciona que no deben diferir por más de +/- 3.2mm. Los resultados de la Tabla N°26 se encuentran dentro del rango permisible.

RESUMEN			
ENSAYO	REQUISITO	NORMA DE REFERENCIA	CUMPLIMIENTO
Variación dimensional	+/- 3.2mm	NTP 399.601	Cumple
Absorción máx. % (Prom. De 3 unidades)	≤12%	NTP 399.601	Cumple
Resistencia a la Compresión, mín. MPa (Prom. De 3 unidades)	12.8 MPa (130kg/cm <sup>2</sup> )	NTP 399.601	Cumple
Ensayo de Pilas	86.79 kg/cm <sup>2</sup>	NTP 399.605	Cumple
<b>USO:</b> Ladrillo de concreto ligero TIPO 14 (peso específico de 1488kg/m <sup>3</sup> ), para muros portantes y tabiquerías.			

Dentro de los resultados de los ensayos no clasificatorios tenemos que el contenido de humedad de las unidades fue de 11.20%, con una densidad o peso unitario promedio es de 1488.01kg/cm<sup>3</sup>.

#### CONCLUSIONES RESPECTO A LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Se realizó un análisis comparativo de unidades de arcilla cocida y concreto liviano expuestas al calor mediante estufa eléctrica determinándose que las unidades de concreto liviano presentaban menor temperatura, por lo que, debido a que la conductividad térmica está referida a la facilidad del paso del calor a través del material, se puede deducir que la conductividad térmica en un ladrillo de concreto liviano es menor que la de una de arcilla cocida.

## RECOMENDACIONES

Para la preparación de la mezcla de concreto liviano, se podría optimizar con la ayuda de una mezcladora que contenga una paleta giratoria para generar una mejor distribución de los componentes del concreto liviano.

Se podría obviar el uso del aditivo plastificante si es que la producción de estas unidades se realiza a través de mesas vibratorias, lo cual generaría una disminución del costo de elaboración.

Se recomienda, en una futura aplicación de las unidades de concreto liviano, que el mortero para el asentamiento debería ser con el llamado “mortero termoaislante”, para evitar el puente térmico. Estos morteros pueden ser elaborados a base de diversos materiales como las arcillas expandidas, aditivos incorporadores de aire u otros que tengan como característica ser materiales termoaislantes. Se ha encontrado que en Italia se produce morteros termoaislantes premezclados en seco a base de arcillas expandidas, donde incluso estas cuentan con certificación que lo acreditan como tal.

Se debería realizar un análisis exhaustivo respecto a las propiedades mecánicas (ensayos de tracción, flexión y corte), para estudiar el comportamiento del ladrillo de concreto ligero y tener un panorama más claro de cómo podría funcionar a escala mayor.

Se recomienda que los refuerzos de un sistema estructural confinado, tengan un revestimiento que brinde propiedades térmicas, para así obtener una unidad térmica sin elementos que generen una diferencia de conductividad térmica diferente al de la unidad. Estos revestimientos podrían ser morteros termoaislantes, fibra de vidrio entre otros.

Se recomienda profundizar esta investigación y aplicar las normas ASTM para calcular la conductividad térmica, normas tales como: ASTM C177 “Método de prueba estándar para mediciones de flujo de calor en estado estacionario y propiedades de transmisión térmica por medio del aparato de placa de protección en caliente”.

Finalmente, en una posterior investigación, se podría utilizar el poliestireno expandido reciclado como alternativa para contribuir al cuidado del planeta.

## REFERENCIAS

- Abanto Castillo, F. (2009). *Tecnología del Concreto*. Lima, Perú: San Marcos E.I.R.L.
- ACI Committee 213. (2003). *Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete - ACI 213R-03*. Farmington Hills, United States: American Concrete Institute - ACI.
- Almonacid Valdivia, F. G. (2010). *Caracterización y evaluación del comportamiento de hormigones livianos, usando como materia prima poliestireno expandido modificado (MEPS)*. Chile: Universidad Austral de Chile.
- Amasifuén Polo, H. M. (2018). *Diseño de bloques de concreto ligero con la aplicación de perlas de poliestireno, Distrito de Tarapoto, San Martín-2018*. San Martín, Perú: Universidad César Vallejo.
- American Society for Testing and Materials - ASTM. (2019). *Standard Practice for Sampling Aggregates ASTM D75 / D75M - 19*. West Conshohocken, United States.: ASTM Internacional.
- American Society For Testing And Materials - ASTM. (2014). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates ASTM C136 / C136M-14*. West Conshohocken: ASTM International.
- American Society for Testing and Materials - ASTM. (2015). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate ASTM C128 - 15*. West Conshohocken, United States.: ASTM International.
- American Society for Testing and Materials - ASTM. (2017). *Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete ASTM C330 / C330M - 17*. West Conshohocken: ASTM International.
- American Society for Testing and Materials - ASTM. (2017). *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate ASTM C29 / C29M - 17a*. West Conshohocken, United States.: ASTM International.
- American Society for Testing and Materials - ASTM. (2018). *Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units ASTM C140 / C140M - 18a*. West Conshohocken, United States: ASTM International.
- American Society for Testing and Materials - ASTM. (2019). *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field ASTM C31 / C31M-19*. West Conshohocken, United States: ASTM International.

- American Society For Testing And Materials - ASTM. (2019). *Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates ASTM C125 - 19*. West Conshohocken: ASTM INTERNATIONAL.
- American Society for Testing and Materials - ASTM. (2019). *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying ASTM C566 - 19*. West Conshohocken, United States.: ASTM International.
- Asociación Nacional del Poliestireno Expandido de España [ANAPE]. (s.f.). *Poliestireno expandido*. Obtenido de <http://www.anape.es/index.php?accion=producto>
- ASTM, A. S. (2019). *Standard Test Method for Bleeding of Concrete ASTM C232 / C232M - 14 (2019)*. West Conshohocken: ASTM INTERNATIONAL.
- Azqueta, P. E. (2014). *Manual Práctico del Aislamiento Térmico en Construcción. AAPE - Asociación Argentina del Poliestireno Expandido*, 153.
- Cachay Huamán, R. (Febrero de 2019). *Centro de Educación Continua, Facultad Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería*. Obtenido de CEC FIC UNI: <http://cecfic.uni.edu.pe/archivos/concreto/concreto/AGUA%20PARA%20EL%20CONCRETO.pdf>
- Canales Sectoriales - Interempresas. (11 de Junio de 2008). *El poliestireno expandido, el material con menor impacto medioambiental*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/22651-El-poliestireno-expandido-el-material-con-menor-impacto-medioambiental.html>
- Cementos Pacasmayo S.A.A. (Febrero de 2019). *DINO - Distribuidora Norte Pacasmayo*. Obtenido de [http://www.dino.com.pe/download/?file=100611\\_Cemento\\_y\\_sus\\_aplicaciones.pdf](http://www.dino.com.pe/download/?file=100611_Cemento_y_sus_aplicaciones.pdf)
- Cementos Tequendama. (Febrero de 2019). *Cementos Tequendama*. Obtenido de <http://www.cetesa.com.co/que-es-el-cemento-y-cual-es-su-composicion/#>
- Clarín ARQ - Construcción. (30 de Marzo de 2016). *Patologías habituales en el concreto armado*. Obtenido de [https://www.clarin.com/arq/construccion/Patologias-habituales-hormigon-armado\\_0\\_H1ehF3uDXx.html](https://www.clarin.com/arq/construccion/Patologias-habituales-hormigon-armado_0_H1ehF3uDXx.html)
- CONSTRUMÁTICA - Metaportal de Arquitectura, Ingeniería y Construcción. (s.f.). *CONSTRUMÁTICA - Confort térmico*. Obtenido de [https://www.construmatica.com/construpedia/Confort\\_T%C3%A9rmico](https://www.construmatica.com/construpedia/Confort_T%C3%A9rmico)
- EADIC. (s.f.). *EADIC - Arquitectura Bioclimática*. Obtenido de <http://eadic.com/wp-content/uploads/2013/09/Tema-3-Confort-Ambiental.pdf>

- Flores, Á. (05 de Mayo de 2011). *UNAMACOR*. Obtenido de Aislamiento térmico, tipos y recomendaciones (actualizado): <https://www.grupounamacor.com/aislamiento-termico-tipos-y-recomendaciones/>
- Gallegos, H., & Casabonne, C. (2005). *Albañilería Estructural* (3ra Edición ed.). Lima, Perú: Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Gonzales, E. (2016). *Estudio de la factibilidad del uso de perlas de poliestireno expandido como sustituto del aliven para la fabricación de bloques de concreto usados en la construcción de losas de techos y paredes*. Venezuela: Instituto Universitario de Tecnología Antonio José de Sucre.
- Grupo Estisol. (2019). *ESTISOL CONSTRUCCIÓN*. Obtenido de <https://grupoestisol.com/wp-content/themes/estisol/documentos/productos-construccion-isocret-ficha-tecnica.pdf>
- Herrera Góngora, M. A. (2015). *Propiedades mecánicas, térmicas y acústicas de un mortero aligerado con partículas de poliestireno expandido (EPS) de reciclaje para recubrimientos en muros y techos*. Yucatán, México: Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
- Hou, D., Caicedo, J., & Falconi, A. (s.f.). *Hormigones Livianos de Alto desempeño*. Guayaquil, Ecuador: Revista Tecnológica ESPOL.
- INACAL. (2002). *NTP 339.604 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto*. Lima, Perú: INACAL.
- INACAL. (2008). *NTP 300.011 AGREGADOS Definición y Clasificación de Agregados para uso en morteros y hormigones*. Lima, Perú.: INACAL.
- INACAL. (2014). *NTP 399.088 Requisitos de Calidad del Agua para el Concreto*. Lima, Perú: INACAL.
- INACAL. (2015). *NTP 334.088 CEMENTOS. Aditivos químicos en pastas, morteros y hormigón (concreto)*. Lima, Perú: INACAL, 3era Edición.
- INACAL. (2015). *NTP 334.089. CEMENTOS. Aditivos incorporadores de aire en pastas, morteros y hormigón (concreto)*. Lima, Perú: INACAL, 2da Edición.
- INACAL. (2015). *NTP 399.604 "UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de muestro y ensayos de unidades de albañilería de concreto"*. Lima, Perú: INACAL.
- INACAL. (2017). *NTP 399.613 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de ladrillos de arcilla usados en albañilería*. Lima, Perú: INACAL.
- INACAL. (2018). *NTP 399.605 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería*. Lima, Perú: INACAL, 3a Edición.

- INGENIERÍA CIVIL. (23 de Junio de 2011). *Ingeniería Civil*. Obtenido de Módulo de elasticidad del Hormigón: <https://www.ingenierocivilinfo.com/2011/06/modulo-de-elasticidad-del-hormigon.html>
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Paranes, W., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
- León Barria, J. G. (2013). *Diseño, fabricación y ensayo de una losa unidireccional de hormigón liviano con poliestireno expandido reciclado modificado para fines habitacionales*. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.
- Mena Ferrer, M. (1967). *Estudios de Concretos Ligeros*. Mexico: Instituto de Ingeniería - UNAM.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma E.070 "Albañilería"*. Lima, Perú: El Peruano.
- Oré Torre, J. (2014). Manual de Preparación, colocación y cuidados en el concreto. *Manual de Preparación, colocación y cuidados en el concreto*, 42.
- Pacheco Flores, L. M. (2017). *Propiedades del Concreto en Estado Fresco y Endurecido*. Moquegua, Perú: Universidad José Carlos Mariátegui.
- Paulino Fierro, J. C., & Espino Almeyda, R. A. (2017). *Análisis comparativo de la utilización del concreto simple y el concreto liviano con perlitas de poliestireno como aislante térmico y acústico aplicado a unidades de albañilería en el Perú*. Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas - UPC.
- Payá, M. (1970). *Aislamiento térmico y acústico* (4ta Edición ed.). Barcelona, España: Ediciones CEAC, S.A.
- Quezada Quezada, P. (2010). *Estudio técnico y económico para la elaboración de bloques de hormigón liviano en base a poliestireno expandido*. Chile: Universidad de Talca.
- Rivas Quezada, G. (2010). *Determinación de la resistencia, densidad aparente y docilidad de un concreto liviano con 10%, 20%, 30%, 40% y 50% en volumen de perlas de Aislapol*. Chile: Universidad Austral de Chile.
- Rivva López, E. (1992). *Diseño de Mezclas* (1era Edición ed.). Lima, Perú: Hozlo S.C.R.L.
- Rivva López, E. (2012). *Supervisión del Concreto en Obra* (4ta Edición ed.). Lima, Perú: Fondo Editorial ICG.
- Rivva López, E. (2014). *Ataques al Concreto* (3era Edición ed.). Lima, Perú: Fondo Editorial ICG.

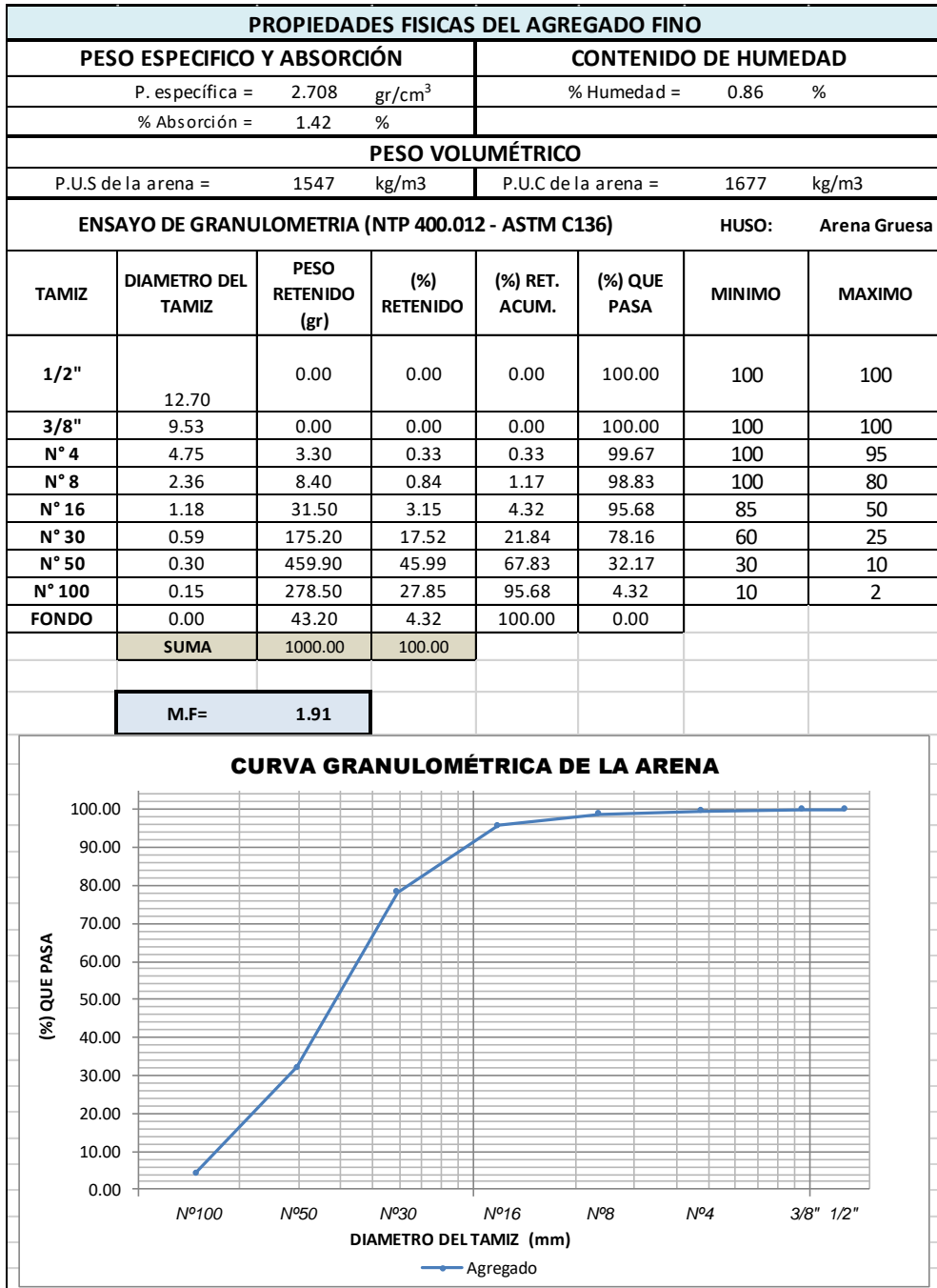
- Rodríguez Chico, H. E. (2017). *Concreto liviano a base de poliestireno expandido para la prefabricación de unidades de albañilería no estructural - Cajamarca*. Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.
- San Bartolomé Ramos, Á. F. (1994). *Construcciones de Albañilería - Comportamiento sísmico y estructural* (1era Edición ed.). Lima, Perú: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- San Bartolomé, Á., Quiun, D., & Silva, W. (2011). *Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería* (1era Edición ed.). Lima, Perú: Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú.
- San Bartolomé Ramos, Á. F. (2008). *Comentarios a la Norma Técnica de Edificación E.070 "Albanilería"*. Lima, Perú: SENCICO.
- SENAMHI PERÚ. (s.f). *SENAMHI*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/>
- Textos científicos*. (22 de Octubre de 2005). Obtenido de Textos científicos:  
<https://www.textoscientificos.com/polimeros/poliestireno-expandido>
- Torres Alayo, J. C. (2004). *Estudio de la influencia de aditivos acelerantes sobre las propiedades del concreto*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Valdez Guzmán, L., & Suarez Alcivar, G. (2010). *Hormigones Livianos*. Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

## ANEXOS

### ENSAYOS DE LABORATORIO

RESUMEN DE RESULTADOS DEL AGREGADO FINO:

**Tabla N°14: Resumen de Resultados**



ENSAYO NO NORMALIZADO PARA DETERMINAR PESO ESPECÍFICO DEL  
POLIESTIRENO EXPANDIDO:

**Tabla N°13:** *Resultados de ensayo no normalizado.*

PESO ESPECÍFICO DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO		
Peso muestra sss	7.3	g
Peso canastilla	884.6	g
Peso sumergido + canastilla	333.4	g
Peso sumergido	-551.2	g
Peso muestra seca	7.3	g
<b>P. Específico</b>	<b>0.01307</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>
<b>P. Específico</b>	<b>13.07</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>

RESULTADOS ROTURA DE PROBETAS 6in x 12in:

**Tabla N°22:** *Resultados del 1er Diseño en Probetas 6in x 12in*

Cod.	Fecha del Testigo	Fecha de Ensayo	Diámetro (cm)	Edad (días)	Carga Max. en Kg	Resistencia compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Descripción
1	15/07/19	18/07/19	14.94	3	15356.68	87.55	Diseño concreto liviano N°01 (60% Tecnopor + 40% Ag. Fino).
2	15/07/19	18/07/19	14.94	3	14867.23	84.76	Diseño concreto liviano N°01 (60% Tecnopor + 40% Ag. Fino).

Cod.	Fecha del Testigo	Fecha de Ensayo	Diámetro (cm)	Edad (días)	Carga Max. en Kg	Resistencia compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Descripción
1	15/07/19	22/07/19	14.95	7	18446.37	105.11	Diseño concreto liviano N°01 (60% Tecnopor + 40% Ag. Fino).
2	15/07/19	22/07/19	14.95	7	18793.07	107.08	Diseño concreto liviano N°01 (60% Tecnopor + 40% Ag. Fino).

Cod.	Fecha del Testigo	Fecha de Ensayo	Diámetro (cm)	Edad (días)	Carga Max. en Kg	Resistencia compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Descripción
1	15/07/19	12/08/19	14.95	28	23035.02	131.03	Diseño concreto liviano N°01 (60% Tecnopor + 40% Ag. Fino).
2	15/07/19	12/08/19	14.95	28	23728.42	134.97	Diseño concreto liviano N°01 (60% Tecnopor + 40% Ag. Fino).

**Tabla N°23: Resultados del 2do diseño en Probetas 6inx12in**

Cod.	Fecha del Testigo	Fecha de Ensayo	Diámetro (cm)	Edad (días)	Carga Max. en Kg	Resistencia compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Descripción
1	15/07/19	18/07/19	15.09	3	19425.29	108.64	Diseño concreto liviano N°02 (50% Tecnopor + 50% Ag. Fino).
2	15/07/19	18/07/19	15.09	3	19975.92	111.72	Diseño concreto liviano N°02 (50% Tecnopor + 50% Ag. Fino).

Cod.	Fecha del Testigo	Fecha de Ensayo	Diámetro (cm)	Edad (días)	Carga Max. en Kg	Resistencia compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Descripción
1	15/07/19	22/07/19	15.15	7	23024.83	127.77	Diseño concreto liviano N°02 (50% Tecnopor + 50% Ag. Fino).
2	15/07/19	22/07/19	15.15	7	23473.49	130.26	Diseño concreto liviano N°02 (50% Tecnopor + 50% Ag. Fino).

Cod.	Fecha del Testigo	Fecha de Ensayo	Diámetro (cm)	Edad (días)	Carga Max. en Kg	Resistencia compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Descripción
1	15/07/19	12/08/19	15.12	28	28388.45	158.06	Diseño concreto liviano N°02 (50% Tecnopor + 50% Ag. Fino).
2	15/07/19	12/08/19	15.12	28	29275.59	163.00	Diseño concreto liviano N°02 (50% Tecnopor + 50% Ag. Fino).

**RESULTADOS DE ENSAYOS UNIDADES ALBAÑILERÍA:**

**Tabla N°26: Variación de dimensiones**

VARIACION DE DIMENSIONES - NTP 399.604 / ASTM C140							
N° MUESTRAS		LARGO (mm)		ANCHO (mm)		ALTO (mm)	
Código	# Mediciones	Medidas	Promedio	Medidas	Promedio	Medidas	Promedio
M-1	1	252.50	252.80	126.50	125.95	94.10	93.90
	2	253.10		125.40		93.70	
	3	252.50		126.50		94.10	
	4	253.10		125.40		93.70	
M-2	1	253.10	253.30	122.10	125.75	93.00	93.90
	2	253.50		129.40		94.80	
	3	253.10		122.10		93.00	
	4	253.50		129.40		94.80	
M-3	1	253.00	252.65	126.70	125.65	93.50	93.55
	2	252.30		124.60		93.60	
	3	253.00		126.70		93.50	
	4	252.30		124.60		93.60	
M-4	1	253.90	253.10	127.30	126.85	93.60	93.60
	2	252.30		126.40		93.60	
	3	253.90		127.30		92.70	
	4	252.30		126.40		92.70	
M-5	1	253.10	252.60	122.40	122.80	94.50	93.95
	2	252.10		123.20		93.40	
	3	253.10		122.40		93.40	
	4	252.10		123.20		93.60	
M-6	1	252.40	252.75	126.00	125.00	93.90	93.75
	2	253.10		124.00		93.60	
	3	252.40		126.00		93.90	
	4	253.10		124.00		93.60	

**Tabla N°27: Ensayo de absorción**

<b>ABSORCIÓN - NTP 399.004 / ASTM C140</b>			
<b>MUESTRAS</b>	<b>M-1</b>	<b>M-5</b>	<b>M-6</b>
<b>PESO ESTADO NATURAL (W<sub>r</sub>)</b>	3.529	3.303	3.560
<b>PESO SATURADO (W<sub>s</sub>)</b>	3.546	3.331	3.588
<b>PESO SUMERGIDO (W<sub>i</sub>)</b>	1.434	1.324	1.417
<b>PESO SECO (W<sub>d</sub>)</b>	3.169	2.990	3.200
<b>ABSORCIÓN (%)</b>	11.90	11.41	12.11
<b>ABSORCIÓN PROMEDIO (%)</b>	<b>11.80</b>		
<b>ABSORCIÓN (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	178.48	169.93	178.50
<b>ABSORCIÓN PROMEDIO (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>175.64</b>		

**Tabla N°28: Contenido humedad.**

<b>CONTENIDO HUMEDAD - NTP 399.004 / ASTM C140</b>			
<b>MUESTRAS</b>	<b>M-1</b>	<b>M-5</b>	<b>M-6</b>
<b>PESO ESTADO NATURAL (W<sub>r</sub>)</b>	3.529	3.303	3.560
<b>PESO SATURADO (W<sub>s</sub>)</b>	3.546	3.331	3.588
<b>PESO SUMERGIDO (W<sub>i</sub>)</b>	1.434	1.324	1.417
<b>PESO SECO (W<sub>d</sub>)</b>	3.169	2.990	3.200
<b>CONTENIDO HUMEDAD %</b>	11.36	10.46	11.25
<b>CONTENIDO HUMEDAD PROMEDIO (%)</b>	<b>11.02</b>		

**Tabla N°29: Densidad de unidades.**

DENSIDAD SECA AL HORNO - NTP 399.004 / ASTM C140			
MUESTRAS	M-1	M-5	M-6
PESO ESTADO NATURAL (Wr)	3.529	3.303	3.560
PESO SATURADO (Ws)	3.546	3.331	3.588
PESO SUMERGIDO (Wi)	1.434	1.324	1.417
PESO SECO (Wd)	3.169	2.990	3.200
DENSIDAD (Kg/m3)	1500.26	1489.71	1474.04
DENSIDAD PROMEDIO (Kg/m3)	1488.01		

**Tabla N°30: Resistencia a la compresión unidades a los 7 días**

Muestra	Medidas	1	2	3	4	Promedio	Área Bruta	Carga KN	Carga Kg	Resistencia compresión f'b (kg/cm2) 7 días
Ladrillo M-1	Largo	25.25	25.31	25.25	25.31	25.28	318.40	246.1	25095.21	78.82
	Ancho	12.65	12.54	12.65	12.54	12.60				
	Alto	9.41	9.37	9.41	9.37	9.39				
Ladrillo M-4	Largo	25.39	25.23	25.39	25.23	25.31	321.06	240.5	24524.17	76.39
	Ancho	12.73	12.64	12.73	12.64	12.69				
	Alto	9.36	9.36	9.27	9.27	9.37				
Ladrillo M-5	Largo	25.31	25.21	25.31	25.21	25.26	310.19	235.8	24044.90	77.52
	Ancho	12.24	12.32	12.24	12.32	12.28				
	Alto	9.45	9.34	9.34	9.36	9.37				

**Tabla N° 31: Resultados promedios a los 7 días sin descontar una Desviación Estándar ( $\sigma$ )**

Muestra	Resistencia compresión fb (kg/cm2) 7 días
Ladrillo M-1	78.82
Ladrillo M-4	76.39
Ladrillo M-5	77.52

**Tabla N° 32:** Resultado promedio de Resistencia a la compresión  $f'b$  de ladrillos a los 7 días.

Muestra	Resistencia compresión $f'b$ (kg/cm <sup>2</sup> ) 7 días	$\overline{f'b}$ (kg/cm <sup>2</sup> ) Promedio 7 días	$f'b - \overline{f'b}$	$(f'b - \overline{f'b})^2$	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(f'b - \overline{f'b})^2}{n - 1}}$	$f'b = \overline{f'b} - \sigma$ Resistencia compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) 7 días
Ladrillo M-1	78.82	77.58	0.74	0.548	0.99	76.59
Ladrillo M-4	76.39		-1.19	1.416		
Ladrillo M-5	77.52		-0.06	0.004		
			$\Sigma$	1.968		

**Tabla N° 33:** Resistencia a la compresión unidades a los 28 días

Muestra	Medidas	1	2	3	4	Promedio	Área Bruta	Carga KN	Carga Kg	Resistencia compresión $f'b$ (kg/cm <sup>2</sup> ) 28 días
Ladrillo M-2	Largo	25.31	25.35	25.31	25.35	25.33	318.52	408.1	41614.61	130.65
	Ancho	12.21	12.94	12.21	12.94	12.58				
	Alto	93	94.8	93	94.8	93.90				
Ladrillo M-3	Largo	25.3	25.23	25.3	25.23	25.27	317.45	412.5	42063.29	132.50
	Ancho	12.67	12.46	12.67	12.46	12.57				
	Alto	93.5	93.6	93.5	93.6	93.55				
Ladrillo M-6	Largo	25.24	25.31	25.24	25.31	25.28	315.94	418.8	42705.71	135.17
	Ancho	12.6	12.4	12.6	12.4	12.50				
	Alto	9.39	9.36	9.39	9.36	9.38				

**Tabla N°34:** Resultados promedios a los 28 días sin descontar una Desviación Estándar ( $\sigma$ )

Muestra	Resistencia compresión $f'b$ (kg/cm <sup>2</sup> ) 28 días
Ladrillo M-2	130.65
Ladrillo M-3	132.50
Ladrillo M-6	135.17

**Tabla N°35:** Resultado promedio de Resistencia a la compresión  $f'b$  de ladrillos a los 28 días.

Muestra	Resistencia compresión $f'b$ (kg/cm <sup>2</sup> ) 28 días	$\overline{f'b}$ (kg/cm <sup>2</sup> ) Promedio 28 días	$f'b - \overline{f'b}$	$(f'b - \overline{f'b})^2$	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(f'b - \overline{f'b})^2}{n - 1}}$	$f'b = \overline{f'b} - \sigma$ Resistencia compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) 28 días
Ladrillo M-2	130.65	132.77	-2.12	4.494	2.27	130.50
Ladrillo M-3	132.50		-0.27	0.073		
Ladrillo M-6	135.17		2.40	5.760		
			$\Sigma$	10.327		

**Tabla N°37: Ensayo de pilas descontando una desviación estándar**

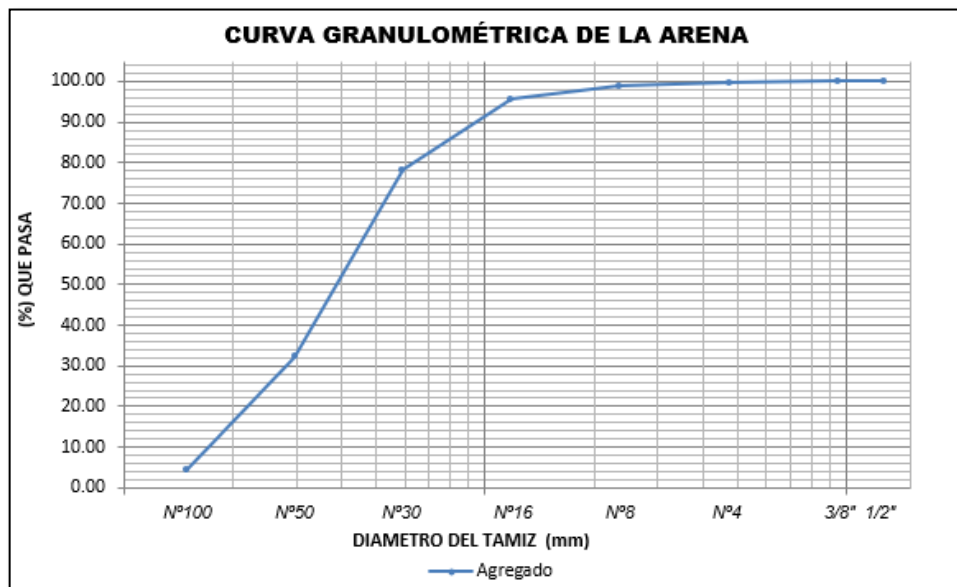
Muestra	Resistencia individual fm1 (kg/cm2)	fm (kg/cm2) Promedio	fm1 - fm	(fm1 - fm) <sup>2</sup>	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(fm1 - f'm)^2}{n - 1}}$	f'm = fm - $\sigma$ Resistencia compresión (kg/cm2) 14 días
Ladrillo M-1	90.28	88.49	1.79	3.192	1.70	86.79
Ladrillo M-2	86.90		-1.59	2.539		
Ladrillo M-3	88.30		-0.19	0.037		
			$\Sigma$	5.768		

**Tabla N°38: Control de temperatura de unidades de albañilería**

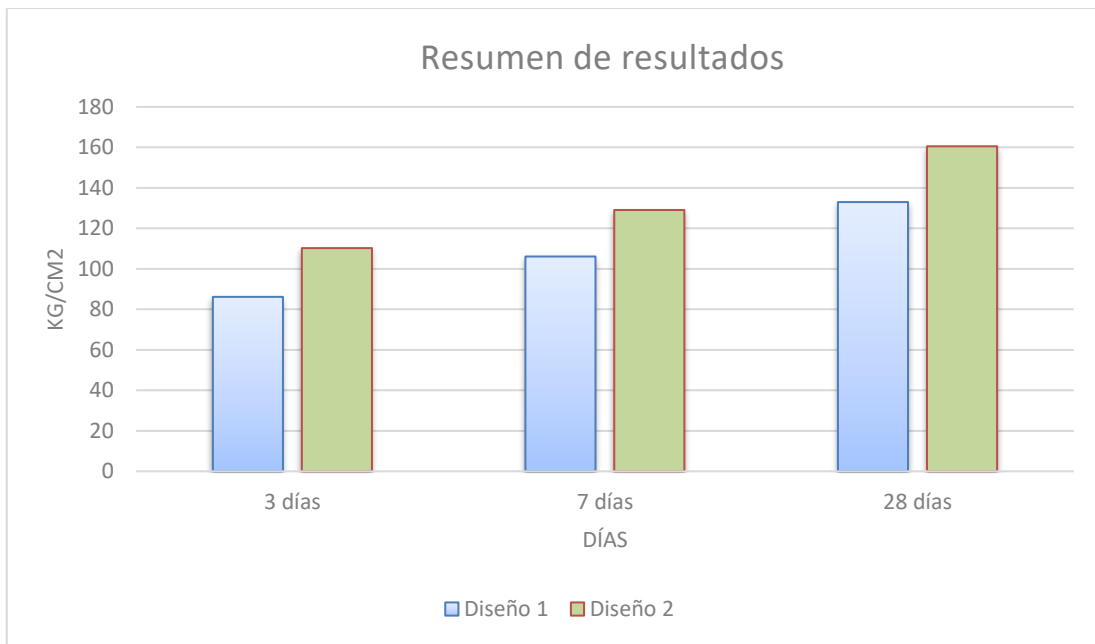
Control de temperatura a unidades expuestas a calor de estufa eléctrica					Hora inicial	23:30
Lectura N°	Hora	Tiempo transcurrido	Temperatura Ambiente	Temperatura Unidad de Albañilería de Arcilla °C	Temperatura Unidad de Albañilería de C.L.	
1	23:40	00:10	25.2	28.3	27.5	
2	23:55	00:25	25.9	39.5	37.4	
3	00:10	00:40	26.4	40.1	38.0	
4	00:25	00:55	26.8	42.9	40.0	
5	00:40	01:10	29.0	46.2	42.6	
6	00:55	01:25	31	53.8	51.9	

## GRÁFICOS DE RESULTADOS

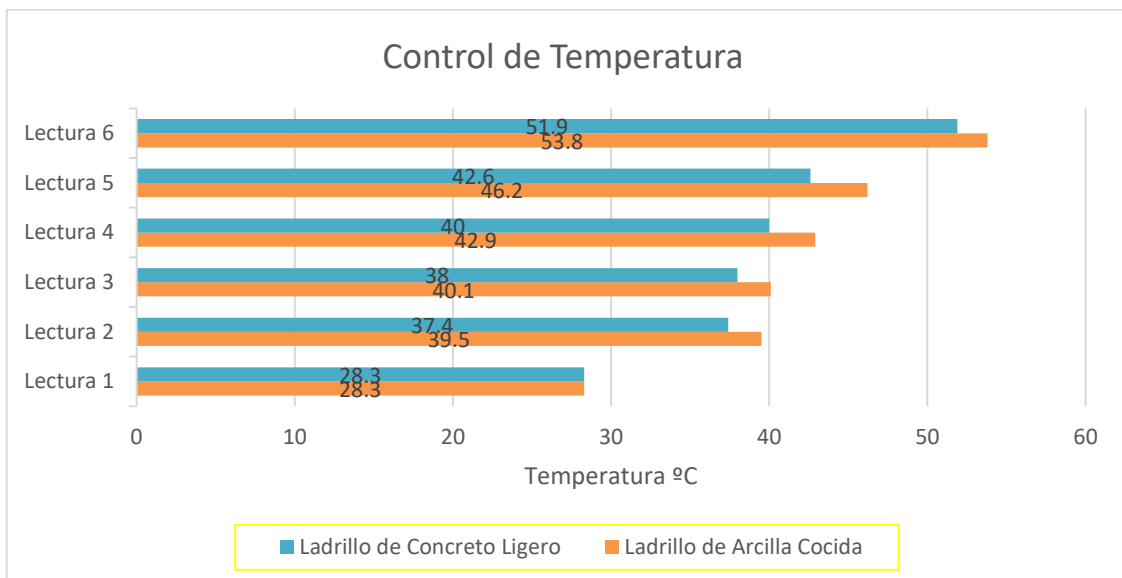
**Gráfico N° 1: Curva Granulométrica**



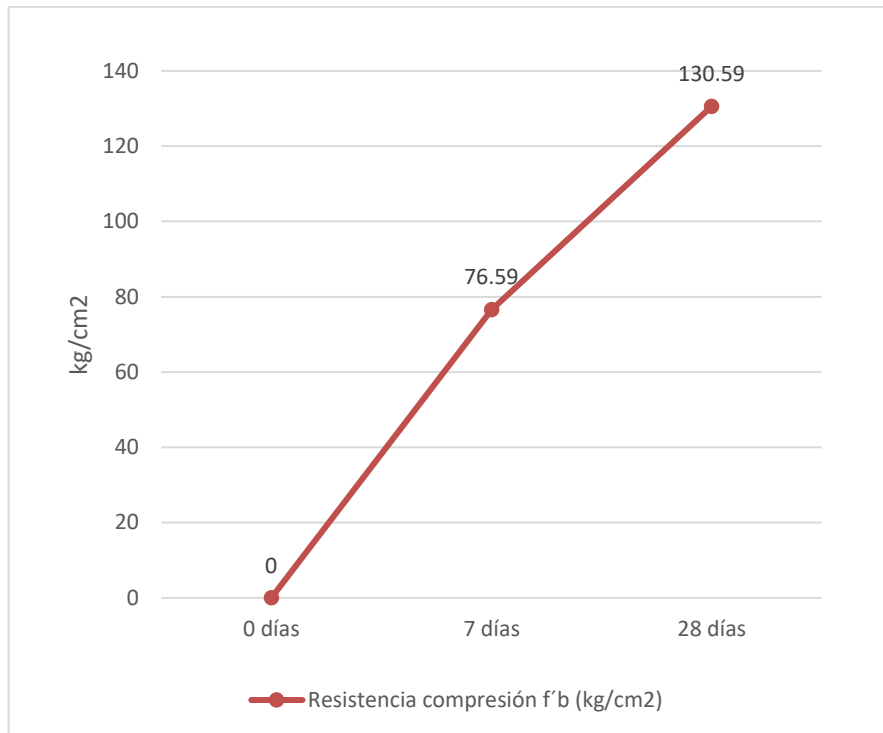
**Gráfico N° 2:** Resumen de resultados Diseño N°1 y N°2



**Gráfico N° 3:** Comparativo de temperatura entre 2 unidades de distinto material.



**Gráfico N° 4:** Resistencia compresión  $f'b$  (kg/cm<sup>2</sup>) de unidades de albañilería.



## GALERÍA FOTOGRÁFICA

**Imagen N° 1:** *Ensayo PUC, PUS de agregado fino.*



**Imagen N° 2:** *Granulometría de agregado fino*



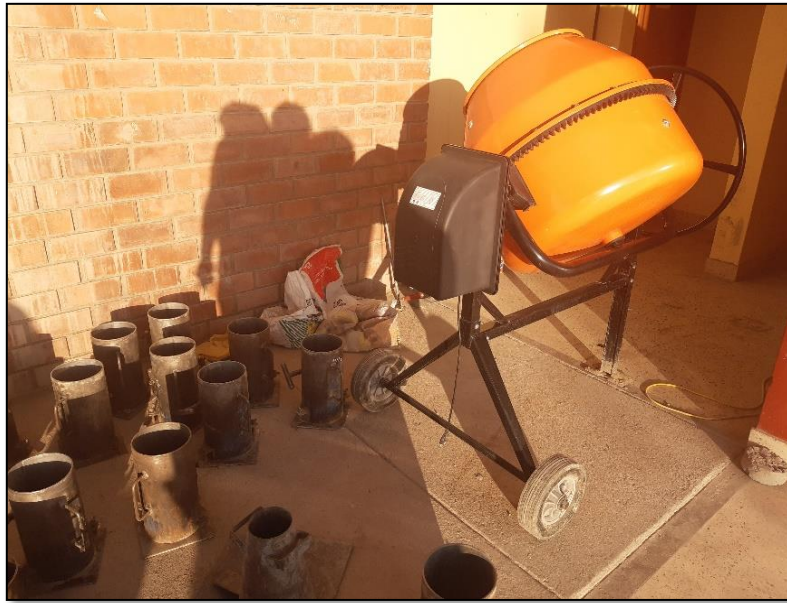
**Imagen N° 3:** *Peso específico y grado de absorción de agregado fino*



**Imagen N° 4:** *Peso específico y grado de absorción de agregado fino.*



**Imagen N° 5:** *Preparación de moldes cilíndricos de 6in x 12in.*



**Imagen N° 6:** *Dosificación de agua.*



**Imagen N° 7:** *Realización de la mezcla manual.*



**Imagen N° 8:** *Moldeado de testigos cilíndricos.*



**Imagen N° 9:** *Identificación de diseños.*



**Imagen N° 10:** *Toma de temperatura del concreto y uso de termohigrómetro para lectura de temperatura ambiente y humedad relativa.*



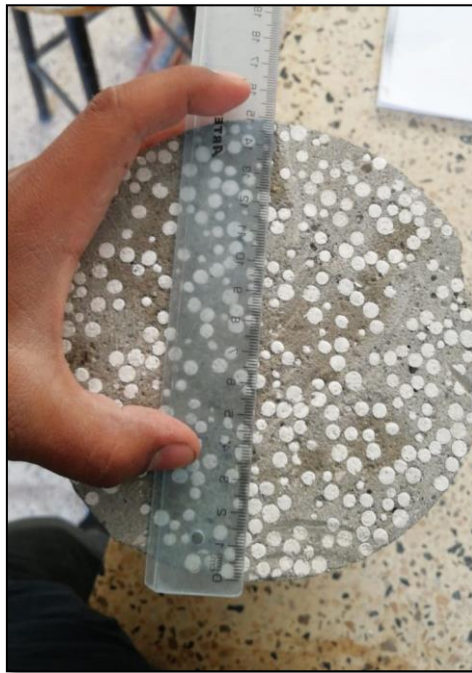
**Imagen N° 11:** *Determinando la temperatura ambiente, humedad relativa y temperatura del concreto.*



**Imagen N° 12:** *Enrasado de probetas.*



**Imagen N° 13:** *Medición de diámetros de las probetas de 6inx12in*



**Imagen N° 14:** *Preparación de moldes para unidades de albañilería*



**Imagen N° 15:** Mezclado y llenado de unidades de albañilería.



**Imagen N° 16:** Saturación de unidades de albañilería



**Imagen N° 17:** *Mezclado y llenado de unidades.*



**Imagen N° 18:** *Refrentado adherido utilizando azufre para pilas.*



**Imagen N° 19:** *Saturación de unidades de albañilería.*



**Imagen N° 20:** *Unidad luego de haber sido expuesta al horno por 24h.  
(Peso seco)*



**Imagen N° 21:** *Preparación para ensayo de compresión.*



**Imagen N° 22:** *Ensayo de compresión.*



**Imagen N° 23:** *Testigos ensayados por compresión.*



**Imagen N° 24:** *Ensayo no normalizado de control de temperatura entre dos materiales de diferente procedencia.*



**Imagen N° 25:** *Toma de temperaturas.*

