

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



---

**“CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA UNIDAD DE  
ALBAÑILERÍA ECOLÓGICA A BASE DE PAPEL RECICLADO EN  
LA CIUDAD DE TRUJILLO”**

---

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: CONSTRUCCION Y MATERIALES**

**AUTOR: Br. MORENO PALACIOS, LINDA AMERICA  
Br. PONCE VARGAS, KEVIN DAVID**

**ASESOR: Ing. GALICIA GUARNIZ, WILLIAM CONRAD**

**TRUJILLO - PERÚ**

**2017**

# ACREDITACIONES

TÍTULO:

“CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA  
ECOLÓGICA A BASE DE PAPEL RECICLADO EN LA CIUDAD DE TRUJILLO”

AUTORES:

Br. Moreno Palacios, Linda América

Br. Ponce Vargas, Kevin David

APROBADO POR:

---

Ing. Jorge Luis Paredes Estacio

PRESIDENTE

N° CIP: 90402

---

Ing. Víctor Manuel Morán Guerrero

SECRETARIO

N° CIP: 50648

---

Ing. Rocío del Pilar Durand Orellana

VOCAL

N° CIP: 60518

---

Ing. William Conrad Galicia Guarniz

ASESOR

N° CIP: 96091

# **PRESENTACION**

Señores Miembros del Jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el reglamento de grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento Interno de la Facultad de Ingeniería, ponemos a vuestra disposición el presente Trabajo de Investigación titulado: “CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA ECOLÓGICA A BASE DE PAPEL RECICLADO EN LA CIUDAD DE TRUJILLO”, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Consideramos señores miembros del jurado que con vuestras sugerencias y recomendaciones este trabajo pueda mejorarse y contribuir a la difusión de la investigación de nuestra universidad.

Los Autores,  
Br. Moreno Palacios, Linda América  
Br. Ponce Vargas, Kevin David

## **DEDICATORIA**

Dedico de manera especial a mis padres, Juan y Marleni, que fueron el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, sentaron en mis las bases de responsabilidad y deseos de superación. A mis hermanos, Jhon y Lucía, para que les sea de ejemplo que detrás de todo sacrificio hay una recompensa y que por muy duro que se vea el camino siempre hay una solución.

Bach. Linda América Moreno Palacios

Dedico de manera especial a mi mamá Rosa, que fue la persona que estuvo conmigo perennemente en este camino en la construcción de mi vida profesional, y a mi papito Santiago, que estoy seguro de que se hubiera sentido orgulloso de mi en estos momentos tan cruciales de mi vida porque sentó en mi las bases de la responsabilidad. A mi mamá Charo, que también me apoyo en todo momento para que ahora sea quien soy ahora.

Bach. Kevin David Ponce Vargas

## **AGRADECIMIENTO**

El presente trabajo de tesis me gustaría agradecer en primer lugar a ti Señor Jesucristo por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque iluminaste siempre mi camino e hiciste realidad esta meta tan anhelada. A mis padres y hermanos que siempre estuvieron alado mío dando ánimo en todo momento y brindándome su apoyo incondicional. Agradezco a mi tía Nélida Palacios, por su apoyo hacia mí y mi familia, por sus consejos en esta etapa de mi vida.

A la Universidad Privada Antenor Orrego por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional. Son muchas las personas especiales las que me gustaría agradecer su amistad, apoyo, ánimo y compañía en las diferentes etapas de mi vida.

Bach. Linda América Moreno Palacios

Estoy muy agradecido en primer lugar, a ti Dios, por haberme bendecido tanto, llegar hasta donde he llegado, agradecido con mi familia y con mi enamorada, porque iluminaste siempre mi camino en aquellos momentos en que parecía ya no poder, tu siempre estuviste ahí dándome ánimos y apoyándome para que todo saliera bien. A mi alma mater, UPAO, por haberme formado como profesional.

Bach. Kevin David Ponce Vargas

# INDICE DE CONTENIDOS

ACREDITACIONES .....	ii
PRESENTACION .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
INDICE DE CONTENIDOS.....	vi
INDICE DE TABLAS .....	ix
INDICE DE FIGURAS .....	x
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT .....	xiii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1.  Realidad problemática .....	14
1.2.  Formulación del problema .....	16
1.3.  Justificación.....	16
1.4.  Limitaciones .....	17
1.5.  Objetivos .....	17
1.5.1.  Objetivo General .....	17
1.5.2.  Objetivos Específicos .....	17
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....	18
2.1.  Antecedentes .....	18
2.1.1.  Antecedentes Locales .....	18
2.1.2.  Antecedentes Internacionales .....	20
2.2.  Bases Teóricas .....	23
2.2.1.  Residuos sólidos domésticos .....	23
2.2.1.1.  Clasificación de los residuos sólidos domésticos .....	23
A) Residuos biodegradables.....	24
B) Materiales reciclables.....	24
C) Residuos Inertes.....	25
D) Residuos compuestos.....	25
E) Residuos Peligrosos .....	26
2.2.2.  Papel reciclado .....	26
2.2.2.1.  Papeles Blancos .....	28
2.2.2.2.  Revoltura .....	28
2.2.2.3.  Pasta Mecánica .....	28
2.2.3.  Cemento.....	29
2.2.3.1.  Hidratación del Cemento Portland.....	31

A) Etapa I: Período de pre – inducción.....	31
B) Etapa II: Período de inducción o periodo durmiente .....	32
C) Etapa III: Periodo de aceleración.....	32
D) Etapa IV y V: Periodo de desaceleración .....	32
2.2.4. Agua .....	34
2.2.5. Unidad de Albañilería .....	34
2.2.5.1. Propiedades de las Unidades de Albañilería .....	35
A) Propiedades Físicas.....	35
a) Variabilidad Dimensional .....	35
b) Alabeo .....	36
B) Propiedades Mecánicas .....	37
a) Resistencia a la compresión .....	37
b) Esfuerzo y Deformación .....	39
c) Absorción .....	43
2.2.5.2. Clasificación de la unidad para fines estructurales .....	44
2.2.5.3. Requisitos .....	45
2.3. Definición de términos básicos .....	46
2.3.1. Dosificación .....	46
2.3.2. Unidad de Albañilería Ecológica .....	46
2.3.2.1. Tipos de ladrillos ecológicos .....	47
2.3.2.2. Ventajas de los ladrillos ecológicos .....	48
2.3.2.3. Desventaja de los ladrillos ecológicos .....	49
2.3.3. Resistencia a la compresión.....	49
<b>CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS.....</b>	<b>50</b>
3.1. Formulación de la hipótesis .....	50
3.1.1. Variable Dependiente:.....	50
3.1.2. Variable Independiente:.....	50
3.2. Operacionalización de variables.....	50
<b>CAPÍTULO 4. MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>52</b>
4.1. Tipo de diseño de investigación .....	52
4.2. Material .....	52
4.2.1. Unidad de estudio.....	52
4.2.2. Población .....	52
4.2.3. Muestra.....	52
4.3. Métodos.....	52
4.3.1. Técnicas de recolección de datos y análisis de datos .....	52
4.3.1.1. Observación Directa:.....	52

4.3.1.2. Notas de Campo:.....	52
4.3.2. Procedimientos.....	53
<b>CAPÍTULO 5. DESARROLLO.....</b>	<b>54</b>
5.1. Proceso de elaboración de la unidad de Albañilería Ecológica.....	54
5.1.1. Equipo moldeador para la elaboración del ecoladrillo .....	54
5.1.1.1. Caja de Madera Prensada .....	54
5.1.1.2. Prensadora de Papel .....	56
5.1.2. Elaboración de la Unidad de Albañilería Ecológica .....	59
5.1.2.1. Trituración del Papel reciclado .....	59
5.1.2.2. Obtención de la masa de Papel reciclado .....	60
A) Por Licuadora .....	60
B) Por Molición.....	61
5.1.2.3. Obtención del Ecoladrillo .....	63
5.2. Diseño de mezclas .....	64
5.2.1. Diseño de Mezclas Papel – Agua.....	64
5.2.2. Diseño de mezclas Cemento – Papel – Agua .....	70
5.3. Ensayos de la unidad de albañilería prensada .....	76
5.3.1. Ensayo de Variación Dimensional .....	76
5.3.2. Ensayo de Alabeo.....	79
5.3.3. Ensayo de Absorción.....	80
5.3.4. Resistencia a la Compresión.....	83
<b>CAPÍTULO 6. RESULTADOS .....</b>	<b>89</b>
6.1. Prototipo de ladrillo ecológico .....	89
6.2. Equipo moldeador.....	89
6.3. Procedimiento de elaboración del eco ladrillo .....	89
6.4. Variación de dimensiones al realizar su confección.....	90
6.5. Ensayos de la unidad de albañilería ecológica .....	90
6.5.1. Variación Dimensional.....	90
6.5.2. Alabeo.....	91
6.5.3. Absorción.....	91
6.5.4. Resistencia de Compresión.....	91
6.6. Diseño de mezclas .....	92
<b>CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN.....</b>	<b>93</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>97</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>100</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>102</b>



## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Residuos Sólidos en Latinoamérica .....	14
Tabla 2 Clase de unidad de albañilería para fines estructurales .....	44
Tabla 3 Requisitos Obligatorios para Variación de dimensiones, alabeo, resistencia a la compresión y densidad.....	45
Tabla 4 Requisitos complementarios de Absorción .....	46
Tabla 5 Matriz de Operacionalización .....	50
Tabla 6 Procedimiento experimental del diseño de mezclas de papel - agua .....	66
Tabla 7 Pesos y dimensiones húmedo del diseño de mezclas papel - agua .....	67
Tabla 8. Pesos y dimensiones seco del diseño de mezclas papel - agua.....	68
Tabla 9. Diferencia de dimensiones del diseño de mezclas papel - agua .....	69
Tabla 10 Procedimiento experimental del diseño de mezclas de cemento – papel – agua..	72
Tabla 11 Pesos y dimensiones en húmedo del diseño de mezclas cemento - papel – agua.	73
Tabla 12. Pesos y dimensiones en seco del diseño de mezclas cemento - papel - agua .....	74
Tabla 13 Diferencia de dimensiones del diseño de mezclas cemento - papel - agua .....	75
Tabla 14 Promedio de longitudes de papel - agua.....	77
Tabla 15 Promedio de longitudes de cemento - papel - agua.....	78
Tabla 16 Variación dimensional de papel - agua.....	79
Tabla 17 Variación dimensional de cemento - papel -agua .....	79
Tabla 18 Ensayo de Alabeo de papel - agua .....	80
Tabla 19 Ensayo de Alabeo de cemento - papel - agua .....	80
Tabla 20 Absorción de unidades de papel - agua .....	81
Tabla 21 Absorción de unidades de cemento - papel - agua .....	81
Tabla 22 Acortamiento por compresión en unidades de papel - agua.....	84
Tabla 23 Deformación lineal por compresión de papel - agua.....	86
Tabla 24 Acortamiento por compresión en unidades de cemento-papel-agua.....	86
Tabla 25 Deformación lineal por compresión de cemento-papel-agua .....	88
Tabla 26 Variación de dimensiones al realizar su confección .....	90
Tabla 27 Variación dimensional de unidades.....	90
Tabla 28 Alabeo de unidades .....	91
Tabla 29 Absorción de unidades.....	91
Tabla 30 Resultados del ensayo a compresión .....	92

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Residuos biodegradables .....	24
Figura 2. Materiales reciclables .....	24
Figura 3. Residuos inertes .....	25
Figura 4. Residuos compuestos .....	25
Figura 5. Residuos peligrosos.....	26
Figura 6. Evolución de calor durante las etapas de hidratación del cemento Portland.....	33
Figura 7. Ensayo de Variabilidad Dimensional.....	35
Figura 8. Manera como calcular la Variación Dimensional.....	36
Figura 9. Ensayo de Alabeo .....	37
Figura 10. Ensayo de Resistencia a la compresión .....	38
Figura 11. Máquina de compresión ELE International ADR Touch Head.....	38
Figura 12. Compresión.....	39
Figura 13. Esfuerzo a Tracción.....	39
Figura 14. Esfuerzo a Compresión .....	40
Figura 15. Esfuerzo a Corte.....	40
Figura 16. Secciones transversales cargadas en compresión .....	41
Figura 17. Acortamiento relativo en Compresión .....	41
Figura 18. Acortamiento absoluto a compresión.....	42
Figura 19. Ensayo de Absorción.....	43
Figura 20. Ladrillo de Cenizas de carbón .....	47
Figura 21. Ladrillo de Cábano y paja.....	48
Figura 22. Ladrillo de Plástico usado y cáscaras de cacahuete .....	48
Figura 23. Caja de Madera Prensada .....	54
Figura 24. Ladrillo de Papel con 3cm de altura.....	55
Figura 25. Extracción del agua .....	55
Figura 26. Ecoladrillo con agua extraída en caja de madera.....	56
Figura 27. Primera pieza de la Prensadora de Papel.....	56
Figura 28. Segunda pieza de la Prensadora de Papel.....	57
Figura 29. Tercera pieza de la Prensadora de Papel .....	57
Figura 30. Prensadora de Papel .....	58
Figura 31. Ladrillo hecho por la Prensadora de Papel.....	58

Figura 32. Papel reciclado .....	59
Figura 33. 90024 Destructor de Documentos & CD .....	59
Figura 34. Destrucción de documentos por la Destrucción de Documentos .....	60
Figura 35. Tiras ilegibles de 4x50 mm .....	60
Figura 36. Licuando Papel.....	61
Figura 37. Masa líquida de papel reciclado.....	61
Figura 38. Papel remojado después de 24 horas.....	62
Figura 39. Etapas de molición de papel .....	62
Figura 40. Masa de papel reciclado .....	63
Figura 41. Colocación de la masa dentro de la Prensadora de papel.....	63
Figura 42. Presión de las barras de metal.....	64
Figura 43. Ecoladrillo con un diseño de mezclas Papel - Agua .....	64
Figura 44. Ladrillos de Papel - Agua a aire libre.....	65
Figura 45. Masa de papel reciclado con cemento .....	70
Figura 46. Ecoladrillo con un diseño de mezclas de Cemento - Papel - Agua .....	70
Figura 47. Ladrillos de Cemento - Papel – Agua a aire libre .....	71
Figura 48. Medición de las unidades de papel - agua.....	76
Figura 49. Ensayo de Alabeo.....	79
Figura 50. Unidades Colocadas en horno.....	81
Figura 52. Unidades papel - agua sumergidas 24 horas.....	82
Figura 51. Unidades cemento - papel - agua sumergidas 24 horas .....	82
Figura 53. Ecoladrillo ubicado en la máquina de rotura .....	83
Figura 54. Simulación gráfica de esfuerzo sobre un muro de tabiquería de papel - agua ...	85
Figura 55. Simulación gráfica de esfuerzo sobre un muro de tabiquería de cemento - papel - agua.....	87
Figura 56. Ecoladrillo sometido a 1000 kgf.....	95
Figura 57. Eco ladrillos sin falta a la compresión, pero con acortamiento de altura .....	96
Figura 58. Prototipo de ecoladrillo .....	97
Figura 59. Ecoladrillo a punto de ser sometido a una caída de 0.50 m aproximadamente ..	98
Figura 60. Caída del ecoladrillo sin registro de daños.....	99

## RESUMEN

El ser humano está siempre en búsqueda de nuevas soluciones a sus necesidades más básicas, soluciones prácticas y económicas. El mundo ha iniciado una fuerte propaganda a favor del reciclaje y en diferentes partes del mundo encontramos diversos métodos de construcción, en el Perú se ha construido esencialmente haciendo uso de concreto, adobe y madera.

Es así como el papel reciclado surge como alternativa, como material de construcción, ayudando a la bio construcción y a encontrar una nueva forma útil de reutilizar el papel, sin aplicar químicos que son tóxicos y dañan a nuestra capa de ozono. Además, acá en nuestro país, el papel es segundo residuo sólido más abundante.

En la presente investigación se realizaron dos diseños de mezclas, teniendo como base el papel reciclado, de los cuales se determinó las características físicas y mecánicas de las unidades de albañilería ecológica. Dentro de sus objetivos estaba definir el equipo moldeador, establecer el prototipo, plantear el procedimiento de elaboración, verificar la variación de dimensiones al realizar su confección, comprobar que puede clasificarse como una unidad de albañilería para fines de tabiquería no estructural y fijar el diseño de mezclas más óptimo del ecoladrillo; y así determinar sus características de la unidad más adecuada.

Se realizaron los ensayos necesarios en el laboratorio de la Universidad Privada Antenor Orrego, obteniendo datos válidos y confiables. Como resultado se determinó que el diseño de mezclas de cemento – papel – agua, es el ecoladrillo más eficaz.

## **ABSTRACT**

The human being is always in search of new solutions to their most basic needs, practical and economic solutions. The world has initiated a strong propaganda in favor of recycling and in different parts of the world we find different methods of construction, in Peru it has been constructed essentially making use of concrete, adobe and wood.

This is how recycled paper comes as an alternative, as a building material, helping bio-construction and find a new way to reuse paper, without applying chemicals that are toxic and damaging our ozone layer. In addition, here in our country, paper is the second most abundant solid waste.

In the present investigation two designs of mixtures were made, based on the recycled paper, from which the physical and mechanical characteristics of the ecological masonry units were determined. Within its objectives was to define the molding equipment, to establish the prototype, to propose the procedure of elaboration, to verify the variation of dimensions in the making, to make sure that it can be classified as a masonry unit for purposes of non-structural partitioning and to fix the design of More optimal blends of the ecoladrillo; And thus determine their characteristics of the most appropriate unit.

The necessary tests were carried out in the laboratory of the Universidad Privada Antenor Orrego, obtaining valid and reliable data. As a result it was determined that the design of cement - paper - water mixtures is the most effective greenhouse.

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Realidad problemática

Actualmente, son muchos los productos que el mundo consume, y cada uno genera un tipo de basura distinta. Normalmente es arrojada a los tachos ubicados a nuestro alrededor, para luego ser trasladados a los rellenos sanitarios.

En vista del notable incremento de productos, por una insatisfacción de las necesidades del hombre, se eleva el número de desechos. Muchos de éstos resultan muy perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana. Por esa razón, han iniciado una fuerte propaganda a favor del reciclaje en algunos lugares del mundo, sobre todo en los países más desarrollados; y nuestro país pretende no ser ajeno a esta práctica.

Según Alessandra Méndez D. (2013), nuestro país logra un 10% de residuos en cartón y papel, 2.1% en metal, 1.3% en vidrio, 1.4% en textiles, 3.2% en plásticos, 50% en residuos orgánicos y 32% en residuos inertes. En la Tabla 1 se ve los porcentajes sobre los residuos sólidos en Latinoamérica.

*Tabla 1 Residuos Sólidos en Latinoamérica*

PAIS	CARTON Y PAPEL (%)	METAL (%)	VIDRIO (%)	TEXTIL (%)	PLASTICOS (%)	ORGANICOS (%)	OTROS E INERTE (%)
BRASIL	25%	4%	3%	0%	3%	0%	65%
MEXICO	20%	3.20%	3.20%	4.20%	6.10%	43%	27.10%
CHILE	18.80%	2.30%	1.60%	4.30%	10.30%	49.30%	13.40%
URUGUAY	8%	7%	4%	0%	13%	56%	12%
<b>PERU</b>	<b>10%</b>	<b>2.10%</b>	<b>1.30%</b>	<b>1.40%</b>	<b>3.20%</b>	<b>50%</b>	<b>32%</b>
COLOMBIA	18.30%	1.60%	4.60%	3.80%	14.20%	52.30%	5.20%
BOLIVIA	6.20%	2.30%	3.50%	3.40%	4.30%	59.50%	20.80%
PARAGUAY	10.20%	1.30%	3.50%	1.20%	4.20%	56.60%	23%
ARGENTINA	20.30%	3.90%	8.10%	5.50%	8.20%	53.20%	0.80%

FUENTE: Méndez, A. (2013). Residuos Sólidos en el Perú.

La ciudad de Trujillo carece de información sobre las cantidades de los Residuos Sólidos, pero se sabe que la Municipalidad Provincial de Trujillo por medio del SEGAT

(Servicio de Gestión Ambiental de Trujillo) se encuentra iniciando una investigación para la recolección de datos sobre los porcentajes de reciclaje de los RSD. En vista de ello, en base a la referencia que tenemos a nivel nacional sabemos que el papel y cartón son los que constituyen el segundo componente más abundante de los RSD (Residuos Sólidos Domiciliarios).

El papel, ha sido y es uno de los principales vehículos de transmisión de la cultura y el saber; en su fabricación se emplea madera y por medio de un proceso químico que consume grandes cantidades de agua, energía y productos químicos, se obtiene la pasta de papel. El problema es que la obtención de estos materiales implica la utilización de recursos como los árboles, y con la tala masiva de estos, se acaba con los bosques y con los beneficios que proporcionan, considerando que los árboles renuevan el oxígeno que respiramos, evitan la erosión y constituyen el hábitat de muchas especies. Los árboles son descortezados, troceados y en un proceso de digestión se obtiene la pasta. Ésta es lavada y blanqueada, y posteriormente se procede a la fabricación de la hoja de papel.

El proceso de reciclaje se inicia con el acopio de papel en cada casa hasta donde el espacio y la estética lo permitan, de manera que sea más provechoso su transporte a centros dedicados a ello. Los centros de acopio de papel reciclado, los atan en paquetes de preferencia con yute o rafia y no con cintas adhesivas de ningún tipo; luego se encargan de enviarlas a las empresas papeleras, que los convierten en nuevos artículos de papel, para volver a ser reutilizados.

Pero para volver a reutilizar este papel; las empresas papeleras primero añaden disolventes químicos a las fibras para que se separen, luego paso por un proceso de centrifugado, posteriormente en su proceso de flotación se elimina toda la tinta con burbujas de aire, luego se lava para poder eliminar todas las partículas que pudieran quedar y por último lo blanquean con peróxido de hidrógeno y en algunos casos con lejía, que es tóxico y daña la capa de ozono.

Es aquí donde empiezan a aparecer alternativas ecológicas de construcción; como en la mayoría de industrias, estas opciones han avanzado a un ritmo mucho más lento que la tecnología, por intereses económicos muy poderosos.

Esta investigación pretende contribuir a la industria de la construcción con un nuevo material, que satisfaga las necesidades del ser humano con un mínimo de impacto ambiental. La propuesta consiste en la elaboración de un nuevo material de construcción que ayude a reutilizar el papel reciclado pero que a la vez ya no intervenga la utilización de químicos, que llega a ser perjudicial para nuestro planeta, igual como si estuviéramos talando un árbol.

La elaboración de la unidad de albañilería ecológica a base de papel reciclado responde a la necesidad de aumentar la calidad medio ambiental y descubrir una nueva forma de reutilizar el papel reciclado.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuáles serán las características físicas y mecánicas de la unidad de albañilería ecológica con un diseño de mezclas adecuado a base de papel reciclado?

## **1.3. Justificación**

A partir del establecimiento del vínculo entre la ingeniería civil y la gestión de los residuos, se introducen aspectos como la transformación, que consiste en que los residuos de una localidad no se desechen y salgan de la ciudad, si no que se realicen el reciclaje de sus residuos para a partir de ello generar un nuevo material de construcción.

Entonces como futuros ingenieros civiles estamos en la obligación de innovar con nuevos productos de construcción de la mano con el medio ambiente y por eso proponemos la elaboración de un nuevo material de construcción a base de papel reciclado, en el cual seremos beneficiados en primera instancia los trujillanos, porque demostraremos que es posible encontrar una nueva forma de reutilizar este residuo sólido doméstico abundante en nuestra ciudad y que sobre todo no agote al planeta significativamente. Segundo, estos ladrillos ecológicos serán más ligeros que los convencionales y esto hará que sean manejables para el trabajador agilizando el tiempo de construcción.

Esta investigación es de importancia, porque generará información que permitirá la toma de decisiones dentro del rubro de la construcción y contribuirá directamente con los especialistas en temas relacionados al campo para futuras investigaciones, en



beneficio del medio ambiente. Por último, con la realización de esta investigación se aportará de significativamente ya que es un tema bastante nuevo y amplio que servirá de apoyo para la toma de decisiones.

#### **1.4. Limitaciones**

Para realizar la siguiente investigación; nos vimos limitados en el tiempo, ya que tomaba mucho rasgar el papel para lograr un ladrillo por eso es que decidimos adquirir una trituradora de papel para agilizar el proceso; luego se demoraba mucho licuando el papel para lograr la masa y fue donde decidimos remojar el papel para luego molerlo y obtener la masa que necesitábamos.

A pesar de estas dificultades, consideramos que nuestro trabajo sigue siendo válido porque somos conscientes de la gran ayuda que generaría este nuevo material tanto para el medio ambiente como para saber una forma más en la cual se pueda reutilizar el papel reciclado y confiamos en que fábricas, empresas mucho más grandes que apuestan por el reciclaje y por estar en armonía con nuestro medio ambiente inviertan en investigaciones más a profundo con maquinarias más grandes y adecuadas para facilitar el estudio.

#### **1.5. Objetivos**

##### **1.5.1. Objetivo General**

Determinar las características físicas y mecánicas de la unidad de albañilería ecológica con un diseño de mezclas óptimo a base de papel reciclado.

##### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Establecer el prototipo de ladrillo ecológico a base de papel reciclado.
- Definir el equipo moldeador para la elaboración del ecoladrillo.
- Plantear el procedimiento de elaboración del ecoladrillo.
- Verificar la variación de dimensiones de la unidad al realizar su confección.
- Comprobar que puede clasificarse como una unidad de albañilería para fines de tabiquería no estructural.
- Fijar el diseño de mezclas adecuado para la elaboración de la unidad de albañilería de papel reciclado.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Antecedentes Locales

**ANTECEDENTE 1: “CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA ECOLÓGICAS FABRICADAS CON SUELO-CEMENTO EN LA CIUDAD DE TRUJILLO”, 2014; Autor: Abanto Flores, Peter Jheryes; Akarley Poma, Luis Martín – Universidad Privada Antenor Orrego.**

#### **Resumen:**

Uno de los muchos problemas actuales de la contaminación ambiental es la fabricación del ladrillo artesanal, iniciando por la extracción del suelo agrícola hasta llegar a su cocción, representando un problema ecológico fundamental.

En la presente investigación se determinó las características físicas y mecánicas de unidades de albañilería ecológicas, en la ciudad de Trujillo. Los objetivos fueron determinar las características del suelo, realizar el diseño de mezclas, elaborar el prototipo y realizar las pruebas experimentales respectivas que indiquen las características de la unidad suelo-cemento. Se realizaron los ensayos requeridos en el laboratorio de la Universidad Privada Antenor Orrego, determinando datos válidos y confiables. Como resultado se llegó a superar todas las características físicas y mecánicas del ladrillo artesanal (King Kong). Según lo hallado en la presente investigación, se ha demostrado que las características del suelo influyen en los resultados de la investigación.

En un principio se identificó la composición granulométrica del mismo, ya que era requisito necesario para el futuro diseño de mezcla, obteniendo un valor de 69% de arena, el cual se encontraba por debajo de nuestro porcentaje proyectado, debido a ello añadimos un 6% del mismo material para cumplir con nuestro diseño de mezcla planeado. Las otras características halladas nos sirvieron como base en el desarrollo de

las unidades de albañilería, como es el caso del porcentaje de humedad que fue utilizado para saber en qué medida teníamos que añadir agua en la elaboración del ladrillo.

Para la elaboración del diseño de mezcla (cemento, suelo, arena y agua 1 : 5: 0.5 : 1) se tuvo como base la cantidad de cemento a utilizar (20% del peso del suelo), ya que es el factor más importante que nos brinda la resistencia de las unidades. Identificando este elemento como un factor clave, podemos entender como relación directa al cemento y la resistencia, de manera que el porcentaje del mismo podría variar y generar nuevos resultados.

Esto ocurre en la investigación desarrollada por el Departamento de Informática 2013 – SENCICO, el cual solo utilizó 10% de cemento en su diseño de mezclas obteniendo resultados aceptables y recomendados. En nuestro caso decidimos utilizar el 20 % de cemento con el fin de obtener grados más confiables y aumentar el grado de resistencia.

Durante la elaboración de las unidades de albañilería se tuvo como principal problema los defectos en la soldadura en el brazo de palanca de la máquina CINVA RAM. Esto originó retraso y pérdida de capital debido al traslado de la misma al taller para su reparación. Este problema se presentó en dos oportunidades generando un gran malestar y retraso.

Durante la etapa de roturas de unidades, pilas y muretes la principal dificultad que encontramos estuvo en no poder romper pilas mayores a 3 hileras. Esto debido a que la máquina de compresión ELE International ADR Touch Head no tenía la capacidad de albergar pilas mayores a 30 cm. Tenemos que resaltar que el uso de esta máquina es de gran confiabilidad puesto que es última en su generación y ha sido calibrada recientemente, arrojando datos exactos y confiable.

Como alternativa se pudo realizar estos ensayos en la máquina de compresión universal, pero en cuestión de rotura de pilas creímos conveniente mantenerla al margen y solo utilizarla en la rotura de muretes por no generar datos tan exactos como la máquina Touch Head.

En relación con los resultados obtenidos en los ensayos de la unidad de suelo-cemento, podemos decir que los resultados alcanzados son satisfactorios por el motivo de que

nuestras características alcanzadas superan y satisfacen los requisitos establecidos por el RNE E0.70. Según estas precisiones para que una unidad sea aceptada la dispersión de sus resultados no debe superar el 40% (unidades producidas artesanalmente), requisito que cumplimos en todos nuestros ensayos.

Además, nos exige que el porcentaje de absorción sea menor al 22%, exigencia que también cumplimos puesto que tenemos un porcentaje de 11.52%. Finalizando la resistencia promedio a compresión fue de 74.78 kg/cm<sup>2</sup>, este valor supera en 36% a la resistencia mínima exigida para ladrillos de arcilla King Kong artesanales (55 kg/cm<sup>2</sup>).

Con respecto al análisis de los resultados en los ensayos de pilas, debe indicarse que las construidas de dos hileras presentaron una esbeltez promedio de 1.28. Puesto que la misma no se encuentra en el rango comprendido de acuerdo a la Norma E.070 (Esbeltez 2 - 5), optamos por despreciar dichos datos por reflejar resultados incongruentes. En la compresión axial de 3 hileras se obtuvo la resistencia promedio final a de 37.23 kg/cm<sup>2</sup>, la cual supera ligeramente en 6.38% a la resistencia mínima exigida para ladrillos de arcilla King Kong artesanales (35 kg/cm<sup>2</sup>).

Finalizando los muretes sufrieron fallas por tracción diagonal, obteniendo una resistencia a corte puro de 5.0 kg/cm<sup>2</sup>, ligeramente inferior a lo establecido por la Norma E.070 (5.01kg/cm<sup>2</sup>). Ya que son valores muy parecidos decidimos dar por aceptado dicho resultado puesto que su diferencia es mínima.

### **2.1.2. Antecedentes Internacionales**

**ANTECEDENTE 2: “DETERMINACION DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA DE PINUS MAXIMINOI H. E. MOORE; COBÁN, ALTA VERAPAZ”, 2015; Autor: Campos Wellmann, Christian Alberto – Universidad Rafael Landívar.**

#### **Resumen:**

El objetivo del estudio fue determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera de Pinus maximinoi H. E. Moore, empleando la norma ASTM D-143-94. La madera utilizada provino de la Finca Choval, municipio de Cobán, Alta Verapaz, de dos

tratamientos silviculturales: segundo raleo y corta final, de 11y 30 años respectivamente. Las pruebas físicas se realizaron en el laboratorio del Campus “San Pedro Claver S. J.” y las pruebas mecánicas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad del Valle de Guatemala.

El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar con parcelas divididas, con dos factores y cinco repeticiones. Las variables de respuesta fueron: proporción albura – duramen, porcentaje de inclinación de la fibra, densidad, contracción dimensional y volumétrica, esfuerzo de compresión paralela y perpendicular a la fibra, flexión estática, dureza, esfuerzo de corte y resistencia a la extracción de clavos. Según los resultados obtenidos en este estudio, se clasificó la madera de raleo y de corta final por sus propiedades físicas y mecánicas, proponiendo posibles usos para la madera de *Pinus maximinoi* H. E. Moore.

Se concluye que la madera proveniente del duramen y la albura no presentan el mismo comportamiento en sus propiedades en estado verde y en estado seco. Para obtener madera estructural se recomienda el desrame de los árboles, ya que de esta forma, se garantiza la ausencia de nudos en la madera aserrada, pues éstos disminuyen la resistencia de la madera a los esfuerzos aplicados.

La madera de raleo y de corta final se clasifica como madera con fibra poco inclinada; con una inclinación promedio de 7 %. En relación a la densidad, la madera de raleo se clasifica como ligera (0.497 g/cm<sup>3</sup>) y la de corta final como pesada (0.682 g/cm<sup>3</sup>). Respecto a la contracción, la madera de raleo y de corta final se clasifican como de contracción dimensional baja ( $T/R < 2$ ), y de pequeña contracción volumétrica (< 10 %). En relación a la dureza, la madera de raleo en estado verde y seco se clasifica como muy blanda (< 300 kg/cm<sup>2</sup>). Por otra parte, la madera de corta final en estado verde y seco se clasifica como blanda (301 - 500 kg/cm<sup>2</sup>).

En flexión estática, la madera de raleo y de corta final en estado verde y seco se clasifica como madera con Módulo de Ruptura en flexión muy bajo ( $MOR < 500$  kg/cm<sup>2</sup>). Para el Módulo de Elasticidad, la madera de raleo en estado verde y seco se clasifica como madera con MOE en flexión muy bajo ( $MOE < 100000$  kg/cm<sup>2</sup>), mientras que la

madera de corta final en estado verde se clasifica como madera con MOE en flexión medio (121000 - 150000 kg/cm<sup>2</sup>), y en estado seco como madera con MOE en flexión muy bajo (< 100000 kg/cm<sup>2</sup>).

La madera de raleo en estado verde y seco se clasifica como de baja resistencia al esfuerzo de compresión perpendicular a la fibra (26 - 50 kg/cm<sup>2</sup>). La de corta final en estado verde, se clasifica como de baja resistencia al esfuerzo de compresión (26 - 50 kg/cm<sup>2</sup>) y en estado seco como de alta resistencia al esfuerzo de compresión perpendicular a la fibra (76 - 100 kg/cm<sup>2</sup>).

La madera de raleo en estado verde y seco se clasifica como de muy baja resistencia al esfuerzo de compresión paralela a la fibra (< 200 kg/cm<sup>2</sup>), y la madera de corta final en estado verde y en estado seco, se clasifica como de baja resistencia al esfuerzo de compresión paralela a la fibra (201 - 300 kg/cm<sup>2</sup>).

En la madera de raleo el contenido de humedad en la madera solamente influyó en la prueba de corte paralelo a la fibra. Diferencias significativas se observaron entre las secciones del tronco de la madera para las pruebas de dureza Janka y para el Módulo de Ruptura MOR en flexión. En las otras pruebas no se mostraron diferencias significativas para la sección o parte de la madera.

En la madera de corta final, el contenido de humedad en la madera influyó en las pruebas de dureza Janka, extracción de clavos, compresión perpendicular y compresión paralela a la fibra. La sección del tronco de la madera (albura y duramen) mostró diferencias significativas en las pruebas de extracción de clavos, Módulo de Ruptura MOR en flexión y en la compresión paralela a la fibra. En las otras pruebas no se mostraron diferencias significativas.

Con base en el análisis estadístico se concluye que la madera proveniente del duramen y de la albura no presentan el mismo comportamiento en sus propiedades físicas y mecánicas en estado verde y en estado seco, siendo esta última la que muestra mayores valores de las propiedades físicas y mecánicas evaluadas.

**ANTECEDENTE 3: “LADRILLOS DE PAPEL RECICLADO”, 2014; Autor: Gorriturbo (Canal de Youtube) – España.**

**Resumen:**

Uno de los trabajos que realizamos en EcoVega, es reciclar todo el papel que nos deja: la publicidad en nuestros buzones, el resultado son los ladrillos de papel para la chimenea.

Los papeles, publicitario, periódico de residuo lo pican y lo vierten en un depósito con agua y a partir de ello se empieza a llenar el molde al tope; y luego mediante una prensa artesanal lo empiezan a prensar.

Por consiguiente, obtiene una briqueta de ladrillo de papel para la chimenea.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Residuos sólidos domésticos**

Los residuos domésticos también llamados residuos sólidos urbanos, son un tipo de residuo que incluye principalmente los residuos domésticos (basura doméstica) a veces con la adición de productos industriales procedentes de un municipio o de una zona determinada.

Estos desechos, ya sean en estado sólido o en forma semisólida, en general, excluyendo los desechos peligrosos industriales, hacen referencia a los residuos que quedan procedentes de los hogares y que contienen materiales que no se han separado o enviado para su reciclaje. Los residuos domésticos, es decir, aquellos residuos que se generan en el hogar suelen ser generalmente de tipo sólido, a veces de tipo líquido (pinturas y similares) y rara vez de tipo gaseoso (como el humo de la chimenea).

#### **2.2.1.1. Clasificación de los residuos sólidos domésticos**

En el ámbito doméstico los residuos que más se suelen ver son los sólidos. Estos residuos sólidos están conformados por distintos materiales que no han sido separados y enviados para ser reciclados. Pueden ser organizados dentro de 5 categorías distintas, según, principalmente, su composición; estas categorías son las siguientes:

#### A) Residuos biodegradables

Como su nombre lo indica, son aquellos derivados de la alimentación y de la cocina, tales como sobras de alimentos y similares. No son un residuo contaminante ya que se degradan rápidamente.



*Figura 1. Residuos biodegradables*

FUENTE: Google

#### B) Materiales reciclables

Aquí incluimos todo lo que puede ser reciclado, es decir cosas como el papel, vidrios, botellas plásticas, latas, metales, algunas piezas de plástico en particular, etc.



*Figura 2. Materiales reciclables*

FUENTE: Google



### C) Residuos Inertes

Refiere a todos aquellos residuos que proceden de una construcción, tales como el caso de suciedad, escombros, piedras, bloques rotos, ladrillos, etc.



*Figura 3. Residuos inertes*

FUENTE: Google

### D) Residuos compuestos

Principalmente son las prendas de vestir y algunos juguetes plásticos.



*Figura 4. Residuos compuestos*

FUENTE: Google

## E) Residuos Peligrosos

Los residuos domésticos peligrosos son más que nada desechos tóxicos, como es el caso de medicamentos, aparatos electrónicos, pinturas, bombillas y tubos de luz, aerosoles, fertilizantes y plaguicidas, pilas y baterías, etc.



*Figura 5. Residuos peligrosos*

FUENTE: Google

### 2.2.2. Papel reciclado

El uso de residuos o de papel reciclado como materia prima para la preparación de pasta ha aumentado en el transcurso de las últimas décadas, hasta el punto de que algunas papeleras dependen casi completamente del papel de desecho. En algunos países, este último se separa del resto de los residuos domésticos, en origen, antes de su recogida. En otros se realiza una separación por clases (por ejemplo, cartón ondulado, papel prensa, papel de calidad, papel mezclado) en plantas especiales de reciclaje.

El papel reciclado se puede retransformar en pasta en un proceso relativamente suave, que utiliza agua y a veces NaOH. Los pequeños trozos de metal y de plástico se separan durante o después de la reconversión en pulpa, utilizando detritus sedimentados, ciclones o centrifugación. Las sustancias de relleno, colas y resinas se eliminan en la fase de lavado por corriente de aire a través de los lodos de la pasta, en ocasiones con la adición de agentes floculantes. La espuma contiene sustancias químicas indeseables y se retira. La pulpa se destinta empleando una serie de lavados

que pueden incluir o no el uso de reactivos químicos (por ejemplo, detergentes tensioactivos) para disolver las impurezas restantes, y agentes blanqueantes que aclaran la pulpa.

El blanqueo tiene la desventaja de que puede reducir la longitud de la fibra y, por consiguiente, disminuir la calidad final del papel. Los agentes blanqueantes utilizados en la producción de pasta reciclada son en general similares a los empleados en las operaciones de abrillantado de la pasta mecánica. Después de las operaciones de rebatido de la pasta y de destintado, la producción de hojas de papel continúa de una forma muy semejante a la utilizada empleando pasta de fibra virgen.

Los productos finales de la fábrica de pasta y de papel dependen del proceso de preparación de la pasta, pero pueden incluir pasta papelería y varios tipos de productos de papel y cartón. Por ejemplo, la pasta mecánica, relativamente frágil, se transforma en productos de un solo uso, como papel prensa y papel de seda. La pasta kraft se transforma en productos de papel de uso múltiple, como papel de escritorio de alta calidad, libros o bolsas para comestibles. La pulpa al sulfito, que es celulosa fundamentalmente, se puede utilizar en diversos productos finales, tales como papeles especiales, rayón, película fotográfica, TNT, plásticos, adhesivos y hasta componentes para helados y dulces. Las pastas mecano-químicas son excepcionalmente consistentes, ideales para la estructura necesaria para los recipientes de cartón ondulado. Las fibras de la pasta de papel reciclado son generalmente más cortas, menos flexibles y menos permeables; por consiguiente, no pueden utilizarse en productos de papel de alta calidad. El papel reciclado se utiliza, por tanto, para fabricar productos suaves y blandos, como el papel de seda, el papel higiénico, las toallitas y las servilletas de papel.

Conforme vamos incrementando nuestros conocimientos en el cuidado del medio ambiente también nuestras acciones y hábitos se hacen más detallados con la finalidad de recuperar la mayor cantidad de materiales para un aprovechamiento posterior. El papel se considera dentro de la clasificación de los residuos inorgánicos, sin embargo, no todos son aptos para su reciclaje debido a que en su fabricación se utilizaron componentes tóxicos o contienen materiales que no pueden disociarse adecuadamente en el proceso de recuperación de fibras.

Durante el proceso de recolección se lleva a cabo la mayor parte de la clasificación de los papeles de desperdicio, en algunas de las siguientes categorías:

- Fibras oscuras y fuertes de pulpas Kraft (cartón corrugado, bolsas, papeles envoltura).
- Fibras débiles de blancura media, mezcla de pulpa mecánica y química (periódicos, revistas).
- Fibras blancas y fuertes de pulpas químicas (papeles blancos de escritura e impresión).

A continuación, se mostrará la siguiente lista de los diferentes tipos de papeles que se utilizan cotidianamente y cómo es que se agrupan.

#### **2.2.2.1. Papeles Blancos**

- Libros sin goma
- Hojas blancas
- Cuadernos con espiral metálico sin pastas
- Archivos blancos
- Viruta de papel blanco

#### **2.2.2.2. Revoltura**

- Revistas
- Folletos
- Papel o cartoncillos de colores
- Recopiladores

#### **2.2.2.3. Pasta Mecánica**

- Papel periódico
- Papel revolución

No está de más mencionar que existen papeles no reciclables, por poseer materiales contaminantes, los que serán mencionados a continuación:

- Carbón
- Auto copiante
- Fotográfico
- Heliográfico
- Plastificado
- Encerado
- Fax
- Sanitario
- Servilletas
- Facial

### **2.2.3. Cemento**

El cemento se ha consolidado como el material de construcción por excelencia y su importancia queda constatada por el hecho de ser el material que más se produce en el mundo con cerca de 80 millones de toneladas al año.

El crecimiento del cemento está directamente relacionado con el aumento de la población mundial y con el desarrollo de los países (obras de ingeniería civil, infraestructura, etc.). Se puede pensar que al menos en el corto plazo, el concreto y el mortero de cemento, seguirán siendo los medios más económicos de construir y su consumo continuará incrementándose en función del crecimiento de la población mundial, debido a sus principales características:

- Resistencia y durabilidad.
- Versatilidad.
- Bajo costo de mantenimiento.
- Resistente al fuego.
- Eficiencia energética en su producción. Producir concreto utiliza menos energía que la que se emplea en producir cualquier otro material de construcción; en comparación, 1 ton de concreto requiere 1.4 GJ/t mientras que el acero requiere de 30 GJ/t y la producción de madera requiere de 2 GJ/t.
- Altamente disponible.

Este material no solo es impulsador de industrias como la de productos de cemento, sino también es fuente demandante de servicios y productos de otras industrias.

El cemento Portland se puede entender como “cementante” a aquella sustancia adhesiva que es capaz de unir fragmentos o masas de materiales y conjuntarlos en un “todo”. Otra definición indica que los cementos inorgánicos son materiales en polvo que, si se les permite reaccionar con una fase líquida (usualmente agua o alguna solución acuosa de un reactante adecuado), comienzan a desarrollar reacciones químicas asociadas a determinada relación líquido/sólido, con la formación de una estructura firme.

La norma ASTM-C-219, define como cemento Portland al material hidráulico producto de la molienda de clinker, el cual consiste de al menos dos tercios en masa de silicatos de Calcio  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  y  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ , el resto contiene óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Usualmente contiene una o más formas mineralógicas del sulfato de calcio como adición en la molienda.

En algunas pastas de cemento, el endurecimiento toma lugar únicamente en contacto con el aire y está asociado con una pérdida del agua libre y/o con una reacción con el  $\text{CO}_2$  presente en el aire. Tales aglutinantes se conocen como no-hidráulicos, contrariamente a los cementantes hidráulicos en donde el proceso de endurecimiento puede también llevarse a cabo bajo el agua, y está asociado a un proceso de hidratación.

Los materiales o constituyentes que reaccionan espontáneamente con el agua causando el fraguado y endurecimiento de la mezcla original, son considerados hidráulicamente activos. Este tipo de materiales son los que exhiben propiedades hidráulicas.

El clinker de cemento Portland es el producto de la calcinación de una mezcla de materiales los cuales contienen los óxidos de  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , además de otros óxidos en menor proporción a temperaturas donde se promueve una fusión incipiente. Bajo estas condiciones, el  $\text{CaO}$  presente originalmente como  $\text{CaCO}_3$  es convertido inicialmente en  $\text{CaO}$  y reacciona posteriormente con el resto de los elementos para formar los minerales de clinker. La fase más importante producida

durante el proceso de clinkerización es el silicato tricálcico, ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  o  $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$ , de manera comúnmente aceptada C3S). Las otras fases principales presentes en el clinker Portland son el silicato dicálcico (C2S o  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  o  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ , o en su forma corta C2S), el aluminato tricálcico ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  o  $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ , o C3A) y el ferroaluminato de calcio (fase ferrita,  $2\text{CaO}(\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3)$  o C2(A,F) también descrita como C4AF). En los cementos industriales, estos minerales contienen porcentajes variables de otros iones en la estructura cristalina.

### 2.2.3.1. Hidratación del Cemento Portland

Químicamente, el proceso de hidratación del cemento Portland consiste de una serie de reacciones que ocurren entre los minerales individuales del clinker, el sulfato de calcio y el agua, las cuales suceden de manera simultánea a diferentes velocidades. El progreso del proceso depende de:

- La velocidad de disolución de las fases involucradas.
- La velocidad de nucleación y el crecimiento de los cristales de los hidratos a formarse.
- La velocidad de difusión del agua y la disolución de los iones a través del material hidratado ya formado.

El mecanismo de hidratación de una pasta de cemento a temperatura ambiente se caracteriza por diferentes etapas y son descritas a continuación:

#### A) Etapa I: Período de pre – inducción

Inmediatamente al tener contacto el cemento con el agua ocurre una rápida disolución de las especies iónicas en la fase líquida y la formación de las fases hidratadas da comienzo. Los sulfatos alcalinos presentes en el cemento, se disuelven completamente en segundos, contribuyendo con iones  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ . El sulfato de calcio se disuelve hasta saturación contribuyendo también con iones  $\text{Ca}^{+2}$  y iones  $\text{SO}_4^{2-}$  adicionales. El silicato tricálcico se disuelve congruentemente y una capa de C-S-H precipita en la superficie de las partículas de cemento. En esta fase, la concentración de iones  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{OH}^-$  incrementan. Al mismo tiempo, iones de silicato entran en la fase líquida,

aunque su concentración es muy baja. La fracción de C3S hidratado en la fase de pre-inducción permanece en niveles de 2 y 10%.

El C3A se disuelve y reacciona con los iones  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{SO}_4^{-2}$  presentes en la fase líquida formando etringita (AFt) que también precipita en la superficie de la partícula de cemento. El contenido de C3A que se hidrata en el periodo de pre-inducción puede variar entre 5% y 25%. Solo una ínfima fracción de  $\beta$ -C2S reacciona en esta fase.

#### B) Etapa II: Período de inducción o periodo durmiente

Justo después del periodo inicial de hidratación acelerada, la velocidad de las reacciones de hidratación de todos los minerales del clinker se desarrolla a una velocidad muy baja. En este periodo el consumo de agua y la cantidad de hidratos formados es mínimo, lo que explica que el cemento adquiera plasticidad y sea trabajable durante un determinado tiempo. La concentración de hidróxido de calcio (CH) presenten en la fase líquida alcanza su máximo e inicia a disminuir, el pH alcanza valores de 12.5. Hay indicios de que la terminación del periodo de inducción y el inicio de la reacción principal se debe principalmente a la nucleación de una segunda etapa de formación de C-S-H proveniente de la fase líquida.

#### C) Etapa III: Periodo de aceleración

Después de 1-3 horas, es decir, al final del período de inducción, empieza la solidificación o fraguado inicial. En este periodo, la reacción de hidratación se acelera nuevamente y está controlada por la nucleación y crecimiento de los productos de hidratación. La velocidad del C3S se acelera y el C-S-H de la segunda fase comienza a formarse. En este periodo se inicia también la hidratación del C2S. Una vez que cierto valor crítico de iones  $\text{Ca}^{+2}$  e hidroxilo se alcanzan, comienza la precipitación de C-S-H y CH. El fraguado final se alcanza al finalizar esta etapa.

#### D) Etapa IV y V: Periodo de desaceleración

En este periodo hay una continua formación de productos de hidratación. A partir de este momento, mientras el espesor de la capa sigue creciendo y el movimiento a través de la capa C-S-H determina la velocidad de la reacción

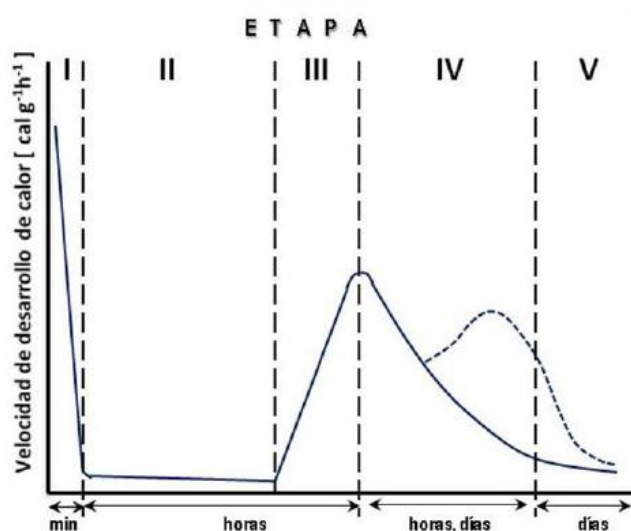


y la hidratación queda controlada por la velocidad de difusión dentro de la capa. Posteriormente, la velocidad de reacción empieza a disminuir hasta alcanzar un estado estable (etapa V) después de 12 a 24 horas.

A relaciones de agua/cemento altas, el proceso de hidratación continuará hasta que todo el cemento sea consumido. Sin embargo, residuos de partículas grandes de cemento pueden persistir aún en pastas endurecidas. A relaciones agua/cemento bajas, las reacciones pueden detenerse aún en presencia de grandes porcentajes de material sin reaccionar, este debido al agua insuficiente para llevar a cabo las reacciones de hidratación.

La hidratación, como otras reacciones químicas, es sensible con respecto a la temperatura. La velocidad de reacción aumenta con la temperatura. Pero la dependencia entre la velocidad y la temperatura está relacionada con el grado de reacción. La etapa en la que la temperatura tiene más importancia es en el período de aceleración (etapa III) donde la velocidad de reacción es controlada químicamente.

En la siguiente figura, se presentan las 5 etapas de la hidratación del cemento Portland determinadas por calorimetría de conducción.



*Figura 6. Evolución de calor durante las etapas de hidratación del cemento Portland.*

FUENTE: CASTILLO, C. (2015). Modificación de las propiedades de matrices cementantes mediante la adicción de nanopartículas de sílice

#### **2.2.4. Agua**

Podemos comenzar diciendo que el agua es uno de los elementos naturales que se encuentra en mayor cantidad en el planeta Tierra. Además, podemos agregar que el agua es uno de esos elementos que más directamente tienen que ver con la posibilidad del desarrollo de distintas formas.

El agua es un componente esencial en las mezclas, pues permite que el desarrollo de su capacidad ligante. Una cantidad de agua adecuada servirá para aumentar la fluidez de la pasta para que cumpla la función de lubricante de los materiales y así se pueda obtener la manejabilidad adecuada de las mezclas frescas. El agua adicional es una masa que queda dentro de la mezcla.

El agua es una sustancia que químicamente se formula como  $H_2O$ , es decir, que una molécula de agua se compone de dos átomos de hidrógeno enlazados covalentemente a un átomo de oxígeno.

Fue Henry Cavendish quien descubrió en 1781 que el agua es una sustancia compuesta y no un elemento, como se pensaba desde la antigüedad. Los resultados de dicho descubrimiento fueron desarrollados por Antoine Laurent de Lavoisier, dando a conocer que el agua estaba formada por oxígeno e hidrógeno.

El término agua generalmente se refiere a la sustancia en su estado líquido, aunque la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo y en su forma gaseosa denominada vapor. Es una sustancia bastante común en el universo y el sistema solar, donde se encuentra principalmente en forma de vapor o de hielo. Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida.

#### **2.2.5. Unidad de Albañilería**

Se conoce como unidad e albañilería al ladrillo de arcilla, bloque o ladrillo sílico calcáreo y bloque de concreto; esta unidad puede ser sólida, hueca o tubular. La unidad de albañilería sólida es cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área equivalente al 75% o más del área bruta en el mismo plano. La unidad de albañilería hueca es cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área equivalente a menos del 75%

del área bruta en el mismo plano. Por último, la unidad de albañilería tubular es aquella con huecos paralelos a la superficie de asiento.

La unidad de albañilería conocido como ladrillo o bloque es el componente básico para la construcción de la albañilería. Actualmente tenemos variedad de estas, por lo que se ve la necesidad de establecer clasificaciones de acuerdo a sus principales propiedades.

### 2.2.5.1. Propiedades de las Unidades de Albañilería

#### A) Propiedades Físicas

##### a) *Variabilidad Dimensional*

Para determinar de la variación dimensional de las unidades de albañilería, se seguirá el procedimiento indicado en las Normas NTP 399.613 y 399.604, donde nos dice que se medirán las unidades individualmente con una regla de acero graduada, de 30cm, con divisiones de un milímetro, o un calibrador que tenga una escala de 25 mm a 300 mm, y que tenga cabezales paralelos, véase la Figura 7.

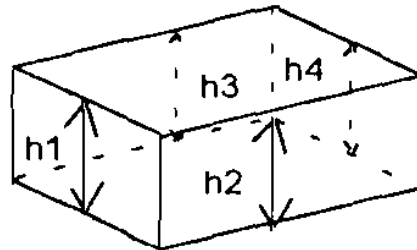


*Figura 7. Ensayo de Variabilidad Dimensional*

FUENTE: Google

Se tiene que medir 10 unidades enteras y secas, cabe resaltar que estos mismos especímenes pueden ser usados para determinar otras propiedades. Para las medidas individuales de ancho, longitud y altura; se tiene que medir el ancho a través de los dos extremos y ambas caras, desde el punto medio de los bordes que limitan las caras y se registrará estas cuatro medidas con una aproximación de mm y con un ancho promedio de las medidas con una aproximación de 0.5mm.

Por último, medir la altura a través de ambas caras y ambos extremos desde los puntos medios de los bordes que limitan las caras (Figura 8), registrar estas cuatro medidas con una aproximación de 1mm, y registrar como altura su promedio con una aproximación de 0.5mm.



*Figura 8. Manera como calcular la Variación Dimensional*

FUENTE: BARTOLOMÉ, A (1994). Construcciones de Albañilería

Para hallar su variación dimensional en porcentaje, por cada arista, se calcula el valor promedio ( $D_p$ ) de toda la muestra; este valor se resta de la dimensión especificada por el fabricante ( $D_e$ ) y luego se divide entre “ $D_e$ ”; como se ve a continuación:

$$V(\%) = 100(D_e - D_p)/D_e$$

Donde:

$D_e$  = Dimensión nominal.

$D_p$  =Dimensión promedio.

#### b) *Alabeo*

Para la determinación del alabeo de las unidades de albañilería, se seguirá el procedimiento indicada en la Norma NTP 399.613, en donde nos explica que se va a utilizar una regla graduada de acero con divisiones desde un extremo, de 1mm, o alternativamente una cuña de medición de 60mm de longitud por 12.5mm de ancho por 12.5mm de espesor en un extremo, el que va reduciéndose hasta llegar a cero en el otro extremo, véase en la Figura 9.

Usar como especímenes las 10 unidades y con una brocha eliminar el polvo adherido a las superficies.



*Figura 9. Ensayo de Alabeo*

FUENTE: Google

Esta prueba se realiza colocando la superficie de asiento de la unidad sobre una mesa plana, para luego introducir una cuña metálica graduada al milímetro en la zona más alabeada, para después introducir la cuña en el punto de mayor deflexión. El resultado promedio se expresa en milímetros.

## B) Propiedades Mecánicas

### a) *Resistencia a la compresión*

Para la determinación de la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería, se efectuará los ensayos de laboratorio correspondientes, de acuerdo a lo indicado en las Normas NTP 399.613 y 339.604, en donde nos dice que el espécimen de prueba se obtendrá por cualquier método de corte que produzca un espécimen con extremos aproximadamente planos y paralelos, sin astillas ni rajaduras. Se deberá ensayar como mínimo cinco especímenes.

Para el refrentado del espécimen cuando las unidades estén completamente secas se deberá cubrir una de las superficies con una capa delgada de yeso calcinado (yeso hemihidratado), que será distribuida. La superficie de refrenado debe ser plana con margen de 0.08mm en 400mm, y suficientemente rígida y apoyada de tal manera que no tenga deformación detectable durante el proceso. Se dejará reposar el refrenado por lo menos 24 horas antes de ensayar los especímenes.

Se calculará la resistencia a la compresión de cada espécimen con la ecuación que se indica a continuación, debiendo darse los resultados con aproximación de 0,01 MPa.

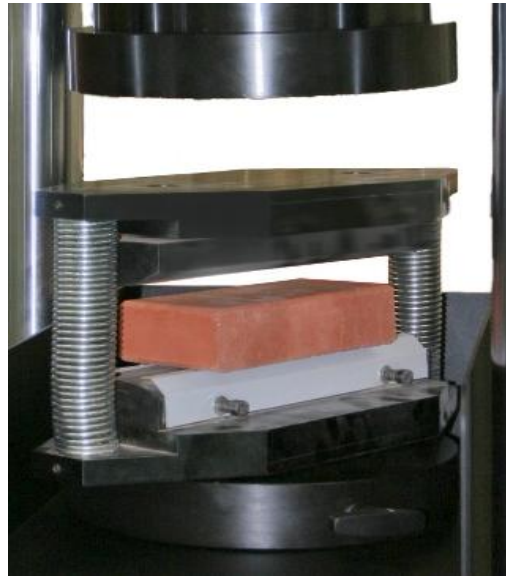
$$C = W/A$$

Donde:

C = Resistencia a la compresión del espécimen.

W= Máxima carga en N, indica por la máquina de ensayo.

A= Promedio del área bruta de las superficies de contacto superior e inferior del espécimen.



*Figura 10. Ensayo de Resistencia a la compresión*

FUENTE: Google



*Figura 11. Máquina de compresión ELE International ADR Touch Head*

FUENTE: ABANTO, P. y AKARLEY, L. (2014). Características físicas y mecánicas de unidades de albañilería ecológicas fabricados con suelo – cemento en la ciudad de Trujillo.

### b) Esfuerzo y Deformación

En la figura 12 se muestra un caso sencillo de compresión, donde las fuerzas internas son elásticas y surgen en las secciones transversales.

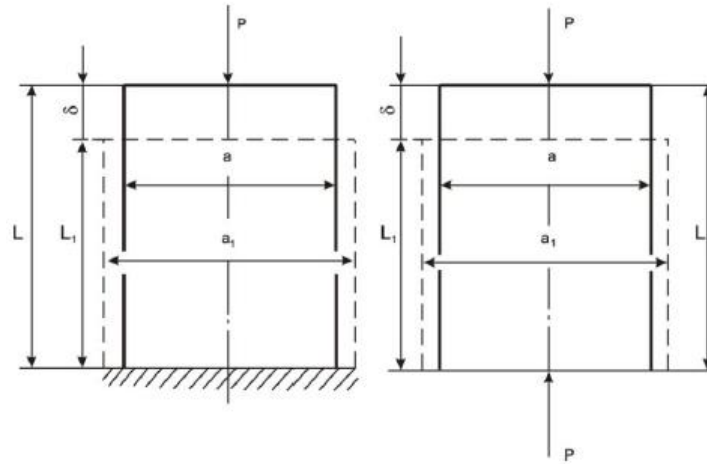


Figura 12. Compresión

FUENTE: VILLARREAL, G. (2010). Resistencia de Materiales.

El esfuerzo es la intensidad de las fuerzas internas distribuidas que resisten un cambio en la forma de un cuerpo, se necesita tanto un diseño adecuado como unos elementos que sean capaces de soportar las fuerzas y acciones a las que va a estar sometida, existen tres clases básicas de esfuerzos:

#### - Tracción

Hace que se separen entre sí las distintas partículas que componen una pieza, tendiendo a alargarla. Por ejemplo, cuando se cuelga de una cadena una lámpara, la cadena queda sometida a un esfuerzo de tracción, tendiendo a aumentar su longitud.

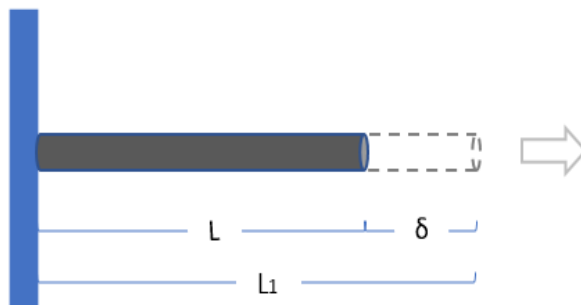
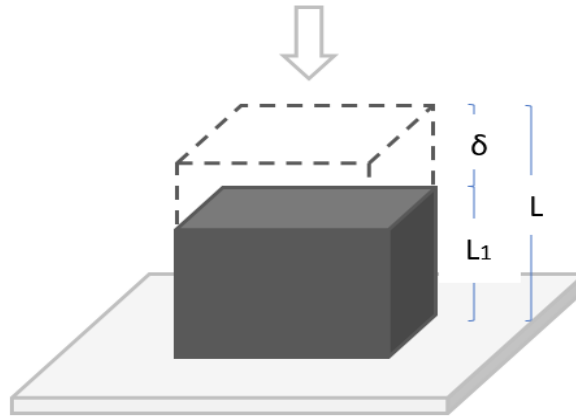


Figura 13. Esfuerzo a Tracción

FUENTE: Elaboración propia

- Compresión

Hace que se aproximen las diferentes partículas de un material, tendiendo a producir acortamientos o aplastamientos; por ejemplo, cuando nos sentamos sometemos a las patas a un esfuerzo de compresión, con lo que tiende a disminuir su altura.



*Figura 14. Esfuerzo a Compresión*

FUENTE: Elaboración propia

- Corte

Se produce cuando se aplican fuerzas perpendiculares a la pieza, haciendo que las partículas del material tiendan a resbalar o desplazarse las unas sobre las otras.



*Figura 15. Esfuerzo a Corte*

FUENTE: Elaboración propia

En las secciones transversales cargadas en compresión, surgen esfuerzos normales, los cuales se determinan por la fórmula siguiente:

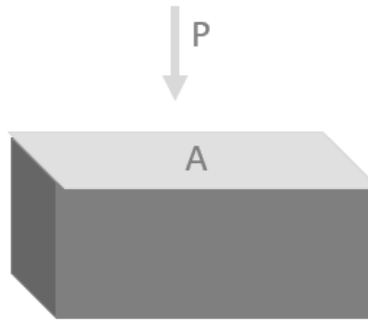


$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

A= Área de la sección transversal del elemento.

P= Carga axial.



*Figura 16. Secciones transversales cargadas en compresión*

FUENTE: Elaboración propia

El alargamiento relativo en tracción (o acortamiento relativo en compresión) del elemento, se le conoce como deformación longitudinal en la fórmula:

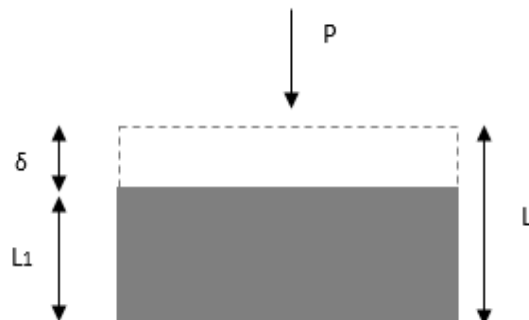
$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

Donde:

$\delta = (L_1 - L)$  = Alargamiento o acortamiento absoluto del elemento.

L= Longitud inicial del elemento.

$L_1$ = Longitud final del elemento.



*Figura 17. Acortamiento relativo en Compresión*

FUENTE. Elaboración propia

En tracción se considera que  $\varepsilon > 0$  y en compresión  $\varepsilon < 0$ , donde sucede lo opuesto. También se les conoce como deformaciones lineales. El alargamiento o acortamiento absoluto, cuando  $A = \text{cont.}$  y  $P = \text{cont.}$ , se determina por la siguiente fórmula:

$$\delta = \frac{P \times L}{E \times A}$$

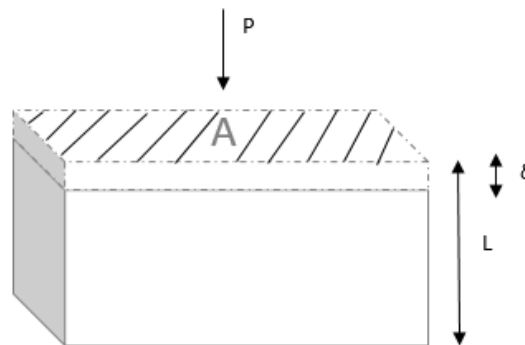
Donde:

$P =$  Carga Axial.

$L =$  Longitud del elemento.

$E =$  Módulo de elasticidad.

$A =$  Área de la sección transversal del elemento.



*Figura 18. Acortamiento absoluto a compresión*

FUENTE: Elaboración propia

La condición de resistencia es:

$$\sigma = \frac{P}{A} \leq [\sigma]$$

Donde:

$\sigma =$  Esfuerzo normal máximo en la sección más peligrosa.

$P =$  Fuerza axial máxima en la sección más peligrosa.

$A =$  Área de la sección transversal más peligrosa.

$[\sigma] =$  Esfuerzo normal permisible o admisible.

c) *Absorción*

Los ensayos de absorción se harán de acuerdo a lo indicado en las Normas NTP 399.604 y 399.613, en donde nos señala que según los requerimientos se ensayarán 5 especímenes. De las cuales se realizará la siguiente prueba.

- Prueba de sumersión de 5 y 24 horas

En donde se sumergirá parcialmente el espécimen en agua limpia por el tiempo especificado, luego se limpiará el agua superficial con un paño y se pesará el espécimen. Se debe pesar todos los especímenes dentro de los cinco minutos siguientes luego de ser retirados del agua, véase la Figura 19.



*Figura 19. Ensayo de Absorción*

FUENTE: Google

Se calculará la absorción de cada espécimen con la siguiente expresión:

$$\text{Absorción}\% = 100(W_s - W_d)/W_d$$

Donde:

$W_d$  = Peso seco del espécimen

$W_s$  = Peso del espécimen saturado, después de la sumersión en agua fría.

### 2.2.5.2. Clasificación de la unidad para fines estructurales

Para ello se tomará como referencia la E.070; en donde para efectos del diseño estructural, las unidades de albañilería tendrán las características indicadas en la Tabla 2 que presentamos a continuación.

*Tabla 2 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 100mm	Hasta 150mm	Más de 150mm		
<b>Ladrillo I</b>	± 8	± 6	± 4	10	4,9 (50)
<b>Ladrillo II</b>	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
<b>Ladrillo III</b>	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
<b>Ladrillo IV</b>	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
<b>Ladrillo V</b>	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)
<b>Bloque P (1)</b>	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
<b>Bloque NP (2)</b>	± 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.

FUENTE: Norma E.070

- Muros portantes: Diseñado en forma tal que pueda transmitir cargas horizontales y verticales de un nivel a otro. Tienen continuidad vertical.
- Muros no portantes: Sólo lleva cargas provenientes de su peso propio y cargas transversales a su plano. Son, por ejemplo, los parapetos y los cercos.

Según la NTP 331.017, los ladrillos se clasificarán en 5 tipos:

TIPO I: Estos ladrillos tienen una resistencia y durabilidad muy baja; son aptos para ser empleados bajo condiciones de exigencias mínimas.

TIPO II: En esa categoría los ladrillos de baja resistencia y durabilidad; son aptos para usarse bajo condiciones de servicio moderadas.

TIPO III: Son ladrillos de mediana resistencia y durabilidad, aptos para emplearse en construcciones sujetas a condiciones de bajo intemperismo.

TIPO IV: Estos ladrillos son de alta resistencia y durabilidad; aptos para ser utilizados bajo condiciones de servicio rigurosas. Pueden estar sujetos a condiciones de intemperismo moderado, en contacto con lluvias intensas, suelo y agua.

TIPO V: Tienen una resistencia y durabilidad elevada; son aptos para emplearse en condiciones de servicio muy rigurosas, pueden estar sujetos a condiciones de intemperismo similares al TIPO IV.

### 2.2.5.3. Requisitos

- Variación de dimensiones, alabeo, resistencia a la compresión y densidad:  
El ladrillo ensayado mediante los procedimientos descritos en la NTP 399.613, deberá cumplir con las especificaciones indicadas en la Tabla 3.

*Tabla 3 Requisitos Obligatorios para Variación de dimensiones, alabeo, resistencia a la compresión y densidad*

Tipo	Variación de la Dimensión (1) (máx. en %)			Alabeo (2) (máx. en mm)	Resistencia a la Compresión (mín. en kg/cm <sup>2</sup> )	Densidad (mín. en g/cm <sup>3</sup> )
	Hasta 100mm	Hasta 150mm	Más de 150mm			
I	± 8	± 6	± 4	10	Sin límite	1.50
					50	Sin límite
II	± 7	± 6	± 4	8	Sin límite	1.60
					70	1.55
III	± 5	± 4	± 3	6	95	1.60
IV	± 4	± 3	± 2	4	130	1.65
V	± 3	± 2	± 1	2	180	1.70

(1) Aplica para todas y cada una de las dimensiones del ladrillo.

(2) Se aplica para concavidad o convexidad.

FUENTE: NTP 331.017

○ Absorción:

El ladrillo ensayado mediante el procedimiento descritos en la NTP 399.613, deberá cumplir con las especificaciones indicadas en la Tabla 4.

*Tabla 4 Requisitos complementarios de Absorción*

<b>TIPO</b>	<b>ABSORCIÓN</b> <sup>(1)</sup> <i>(máx. en %)</i>
<b>I</b>	Sin Limite
<b>II</b>	Sin Límite
<b>III</b>	25
<b>IV</b>	22
<b>V</b>	22

(1) El ensayo de absorción máxima sólo es exigible cuando el ladrillo estará en contacto directo con lluvia intensa, terreno o agua.

FUENTE: NTP 331.017

## **2.3. Definición de términos básicos**

### **2.3.1. Dosificación**

Implica establecer las proporciones apropiadas de los materiales que compone alguna unidad, a fin de obtener la resistencia, o bien, para obtener un acabado o pegado correctos. Generalmente se encuentra expresado en gramos por metro (g/m).

En conclusión, es la relación entre los elementos de una mezcla. La dosificación correcta se consigue cuando las proporciones de los elementos son las adecuadas.

### **2.3.2. Unidad de Albañilería Ecológica**

Los ladrillos ecológicos son otra alternativa para tener un mundo menos contaminado y un uso más sostenible de los recursos, sin perder calidad. Estos son contruidos con materiales que no degradan el medio ambiente y cuya fabricación también es respetuosa con este, frente a los ladrillos habituales cuya fabricación y materiales no es tan inocua. Los ladrillos ecológicos tienen cualidades similares a los tradicionalmente utilizados para la construcción de las casas.

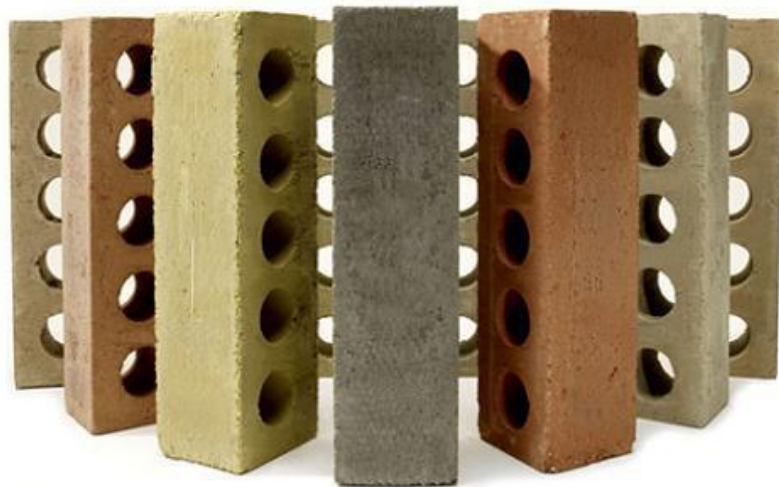
Por tanto, su uso no se deriva en pérdida de calidad puesto que, como la mayoría de productos ecológicos, sufren más pruebas de su viabilidad que los tradicionales. La bio construcción no está en absoluto reñida con una casa confortable, bonita y segura.

### 2.3.2.1. Tipos de ladrillos ecológicos

Diferenciaremos los ladrillos ecológicos por los materiales con que están contruidos ya que existen varias propuestas (en vía o ya en marcha) de ladrillos con diferentes componentes y estos son alguno de ellos:

- Cenizas de carbón:

Esta fue una idea de un ingeniero civil, Henry Liu, en 1999, con un doble beneficio ecológico. Con este material los ladrillos se obtienen a 212 grados en 10 horas y se aprovechan los 45 millones de toneladas de residuos del mismo que generan las centrales térmicas de carbón.



*Figura 20. Ladrillo de Cenizas de carbón*

FUENTE: Google

- Caamo y paja:

Este ladrillo ecológico ya ha sido usado por empresas españoladas. Pese a la aparente fragilidad de los materiales su dureza es semejante a los convencionales. Cuentan con la desventaja de ser mas caros, pero asolan muy bien de la temperatura exterior. Ello supone un ahorro del gasto de energía en calefacción y aire acondicionado, por lo que se amortiza pronto su precio.



*Figura 21. Ladrillo de Cáñamo y paja*

FUENTE: Google

- Plástico usado y cáscaras de cacahuate:

Los ladrillos ecológicos de este material son una creación del Centro Experimental de la Vivienda Económica de Argentina quien asegura que son duros, aislantes ligeros y económicos. Además de producir un ahorro energético posibilitan un reciclaje de residuos para su producción.



*Figura 22. Ladrillo de Plástico usado y cáscaras de cacahuate*

FUENTE: Google

### **2.3.2.2. Ventajas de los ladrillos ecológicos**

En general sus ventajas son:

- Menor perjuicio para la naturaleza, ya que su fabricación requiere menos energía y residuos, así como el reciclaje de otros materiales de desecho. Son



mejores aislantes del frío y del calor exterior, con lo que se gasta menos energía en el hogar.

- En algún caso son más económicos que los convencionales, pero cuando no es así, al ser mejores aislantes, el ahorro de energía amortiza la diferencia.
- Los materiales de los ladrillos ecológicos hacen que éstos sean más ligeros y manejables para el trabajador agilizando el tiempo de construcción y disminuyendo los gastos.

### **2.3.2.3. Desventaja de los ladrillos ecológicos**

La desventaja de los ladrillos ecológicos es que están empezando a entrar en el mercado y en algunas zonas aún no se consiguen y hay que pedirlos. También tienen otra desventaja derivada de lo nuevo de este producto y es que, de momento, no existen variedades decorativas como los convencionales para decorar fachadas, muros, jardines, etc.

### **2.3.3. Resistencia a la compresión**

Esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento. La resistencia a la compresión de un material que falla debido a la rotura de una fractura se puede definir, en límites bastante ajustados, como una propiedad independiente. Sin embargo, la resistencia a la compresión de los materiales que no se rompen en la compresión se define como la cantidad de esfuerzo necesario para deformar el material una cantidad arbitraria.

La resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima por el área transversal original de una probeta en un ensayo de compresión.

## CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

### 3.1. Formulación de la hipótesis

Con una dosificación correcta se obtendrá la unidad de albañilería ecológica a base de papel reciclado con una resistencia a la compresión de 3.34 Kg/cm<sup>2</sup>.

De acuerdo a la hipótesis, tenemos las siguientes variables:

#### 3.1.1. Variable Dependiente:

- Dosificación correcta.

#### 3.1.2. Variable Independiente:

- Unidad de albañilería ecológica a base de papel reciclado.
- Resistencia a la compresión de 20 Kg/cm<sup>2</sup>.

### 3.2. Operacionalización de variables

La matriz de operacionalización de variables describe las relaciones de las variables con la dimensión y el indicador de la variable.

*Tabla 5 Matriz de Operacionalización*

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Dosificación correcta	Implica determinar la cantidad o la proporción correcta de un material.	Diseño de mezclas	Que insumos voy a utilizar
			Las cantidades que se deben de usar
Unidad de albañilería ecológica a base de papel reciclado.	Es ecológicamente amigable, que permite realizar algún tipo de construcción con él.	Prensadora de papel	Dimensiones del ecoladrillo
			Calidad del ecoladrillo

<b>VARIABLE</b>	<b>DEFINICION CONCEPTUAL</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>
Resistencia a la compresión	Es el resultado de las presiones que existen dentro de un sólido deformable.	Resistencia del material	La viabilidad del ecoladrillo a base de papel reciclado Clasificación de unidad de albañilería para fines estructurales

FUENTE: Elaboración propia

## **CAPÍTULO 4. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **4.1. Tipo de diseño de investigación**

Nuestra investigación es Experimental Puro.

### **4.2. Material**

#### **4.2.1. Unidad de estudio**

La unidad de estudio serán las características físicas y mecánicas de los eco ladrillos que se obtendrán de los ensayos.

#### **4.2.2. Población**

La población del estudio está constituida por el papel reciclado que es un residuo sólido doméstico.

#### **4.2.3. Muestra**

La muestra está representada por la unidad de albañilería ecológica a base de papel reciclado.

### **4.3. Métodos**

#### **4.3.1. Técnicas de recolección de datos y análisis de datos**

Para la recolección de datos se realizó las siguientes técnicas:

##### **4.3.1.1. Observación Directa:**

Mediante esta técnica observaremos atentamente como el ecoladrillo se va secando y así sabremos el momento en el cual será indicado para realizarle los ensayos correspondientes que nos determinaran sus características.

##### **4.3.1.2. Notas de Campo:**

Aquí recogeremos datos importantes para nuestra investigación como por ejemplo las cantidades que usaremos de papel reciclado, dimensiones que tomaremos a la unidad de albañilería ecológica al instante de ser retirada de la prensadora de papel, el peso que tendrá este ecoladrillo, etc.; que luego nos servirá para el desarrollo de la investigación.

### **4.3.2. Procedimientos**

Para ello se describirá de manera ordenada las actividades que realizaremos para desarrollar la investigación, las cuales a continuación nombraremos:

- Se recolectará el papel reciclado.
- Realizará diferentes diseños de mezclas, para encontrar una dosificación idónea.
- Elaboración de unidades de albañilería con diseño de mezclas.
- Ensayo para las características físicas: Variación dimensional y alabeo.
- Ensayo para las características mecánicas: Resistencia a la compresión y absorción.
- Toma de datos experimentales.
- Procesamiento de datos.
- Discusión de resultados.

## CAPÍTULO 5. DESARROLLO

### 5.1. Proceso de elaboración de la unidad de Albañilería Ecológica

#### 5.1.1. Equipo moldeador para la elaboración del ecoladrillo

##### 5.1.1.1. Caja de Madera Prensada

La madera prensada es un producto prefabricado hecho de partículas de madera, aserrín y otros derivados de la madera. A veces está laminado con un acabado de papel. La madera prensada, también conocida como aglomerada, se usa con frecuencia para hacer muebles económicos que puedas armar en casa. El material es más poroso que la madera sólida y es susceptible a la hinchazón cuando se expone a la humedad excesiva y al desconchado ante los impactos fuertes.

Lo primero que hicimos fue mandar a hacer una caja con los 4 lados de madera prensada y la base de triplay como se ve en la Figura 23, y así mediante este se pueda filtrar el agua excedente de la masa y quede la forma de un ladrillo de papel de 24cm de largo, 13 cm de ancho y 10cm de alto.



*Figura 23. Caja de Madera Prensada*

FUENTE: Propia

Así que como prueba inicial colocamos la masa que se había obtenido en la Caja de Madera Prensada y efectivamente poco a poco el agua filtraba, así que lo dejamos secar a temperatura ambiente por un periodo de 20 días y como resultado tuvimos un ladrillo papel superficialmente seco, pero con medidas reducidas como se ve en la Figura 24. En donde su altura redujo de 10cm a 3cm, una reducción que es más del 50% que su altura inicial.



*Figura 24. Ladrillo de Papel con 3cm de altura*

FUENTE: Propia

Con este equipo moldeador conseguimos filtrar el agua excedente de la masa, logrando que llegue el sol sólo por el lado superior para su secado obteniendo un ecoladrillo con lados uniformes, pero notando una reducción en todos sus lados, pero con una evidencia totalmente notoria en su altura.

Luego probamos colocando la masa de papel, pero esta vez ya sustraído el agua, a la caja de madera; pero el resultado no fue el esperado. El fin de extraer el agua antes de vertirlo a la caja de madera era para evitar que se reduzca de manera significativa su altura, dato que no se pudo corroborar debido a que con el pasar de los días nos dimos cuenta de que nuestro ecoladrillo no tenía buena consistencia y era muy fácil su rompimiento, con solo sacarlo de la caja.



*Figura 25. Extracción del agua*

FUENTE: Propia



*Figura 26. Ecoladrillo con agua extraída en caja de madera*

FUENTE: Propia

### **5.1.1.2. Prensadora de Papel**

La prensadora es un moldeador de papel, el cual es retirado manualmente para ser puesto a secar al aire libre, facilitando la llegada del sol por todas sus caras. Este aparato metálico es de funcionamiento manual, prensando la sección transversal de la unidad de albañilería. La presión se ejerce sobre la tapa metálica de arriba hacia abajo. No obstante, se trata de un aparato sumamente portátil, de gran simplicidad mecánica, bajo costo, fácil manejo y mantenimiento sencillo.

Básicamente la Prensadora de papel consta de 3 piezas; el primero es una caja o molde, el cual tiene dos barras de metal móviles que servirán para hacer presión a la masa de papel que será introducida dentro de esta, como se puede ver en la Figura 27 que se presenta a continuación.



*Figura 27. Primera pieza de la Prensadora de Papel*

FUENTE: Propia



La segunda pieza tiene 3 lados que servirán para dentro de ello colocar la masa que se obtendrá de papel reciclado y por medio de ello escurrir el agua, por ello en su cara inferior presenta huecos que ayudarán con esta tarea, también es necesario mencionar que en su interior presenta dos barras de metal lo que le dará la forma a los dos huecos de ladrillo que tendrá esta unidad de albañilería ecológica como se ve en la Figura 28.



*Figura 28. Segunda pieza de la Prensadora de Papel*

FUENTE: Propia

La última pieza, es la tapa que va encima en el cual se ejerce la presión para que se comprima el ladrillo y pueda escurrir por el también el agua, porque esta pieza también presenta orificios para que pueda salir el líquido por este lado también, como se logra apreciar en la Figura 29.



*Figura 29. Tercera pieza de la Prensadora de Papel*

FUENTE: Propia

Por consiguiente, tenemos una prensadora de papel con medidas internas de 24 cm de largo, 13 cm de ancho y 10 cm de alto.



*Figura 30. Prensadora de Papel*

FUENTE: Propia

Como prueba colocamos la masa de papel reciclado en la prensadora y con ayuda de los dos brazos que tiene esta herramienta retiramos el agua excedente, y así de esta manera nos aseguramos de que quede el máximo de papel de contenido. Al retirar manualmente el ladrillo de papel, nos brinda la ventaja de que le pueda llegar el sol por todos sus lados, aparte de notar que al dejarlo secar a temperatura ambiente por 20 días sus lados se reducen en un mínimo y obteniendo como resultado un ladrillo con medidas parecidas a las comerciales.



*Figura 31. Ladrillo hecho por la Prensadora de Papel*

FUENTE: Propia

## 5.1.2. Elaboración de la Unidad de Albañilería Ecológica

### 5.1.2.1. Trituración del Papel reciclado

Mediante la operación de trituración, destruimos el papel reciclado en tiras ilegibles de 4x50 mm por medio de la maquina 90024 DESTRUCTOR DE DOCUMENTOS &CD, que fue diseñado para uso liviano en la oficina y el hogar, el cual facilita la destrucción con seguridad de todos los documentos reciclados.



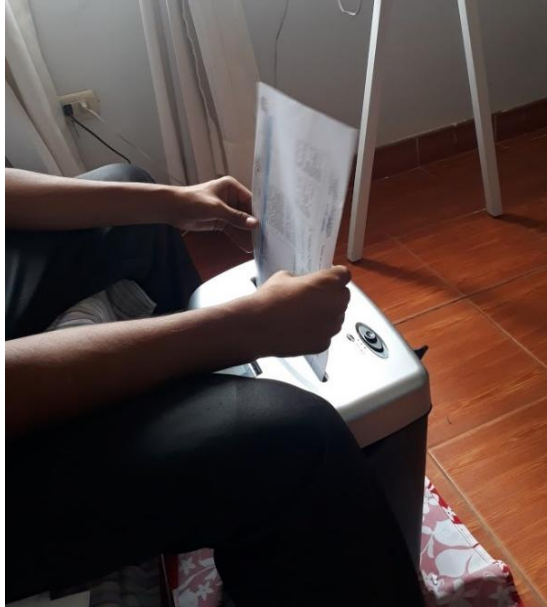
*Figura 32. Papel reciclado*

FUENTE: Propia



*Figura 33. 90024 Destructor de Documentos & CD*

FUENTE: Propia



*Figura 34. Destrucción de documentos por la Destructora de Documentos*

FUENTE: Propia



*Figura 35. Tiras ilegibles de 4x50 mm*

FUENTE: Propia

#### **5.1.2.2. Obtención de la masa de Papel reciclado**

A) Por Licuadora

Con el papel triturado, lo que hicimos fue vertirlo en la licuadora con agua y procedimos a licuarlo y por consiguiente obtuvimos una masa líquida de papel reciclado.



*Figura 36. Licuando Papel*

FUENTE: Propia



*Figura 37. Masa líquida de papel reciclado*

FUENTE: Propia

#### B) Por Molición

Por un periodo de 24 horas lo dejamos remojar, para que básicamente sea más fácil su manejo y pueda transformarse en una masa. Una vez pasado este tiempo, con ayuda de un colador y una piedra empezaremos a moler el papel formando esta pasta

que posteriormente verteremos en la prensadora de papel. El colador nos ayudará a escurrir gran parte del agua y con la piedra es que haremos presión sobre este para moler las tiras de papel y quitar el exceso de agua. Terminado este proceso obtuvimos una masa adecuada de papel reciclado.



*Figura 38. Papel remojado después de 24 horas*

FUENTE: Propia



*Figura 39. Etapas de molición de papel*

FUENTE: Propia



*Figura 40. Masa de papel reciclado*

FUENTE: Propia

### **5.1.2.3. Obtención del Ecoladrillo**

Ahora, tomamos esta masa y la colocamos dentro de la prensadora y cada tercera parte lo apisonamos con una varilla. Luego procedemos a presionar las barras de metal hacia abajo. La presión que haremos hará que el agua se escurra completamente y luego lo dejamos secar al aire libre. Terminado este proceso ya tendremos nuestro propio ladrillo de papel reciclado que lo retiraremos manualmente.



*Figura 41. Colocación de la masa dentro de la Prensadora de papel*

FUENTE: Propia



*Figura 42. Presión de las barras de metal*

FUENTE: Propia

## **5.2. Diseño de mezclas**

Se realizaron 2 diseños de mezclas para la elaboración de este ecoladrillo, teniendo como protagonista al papel reciclado.

### **5.2.1. Diseño de Mezclas Papel – Agua**

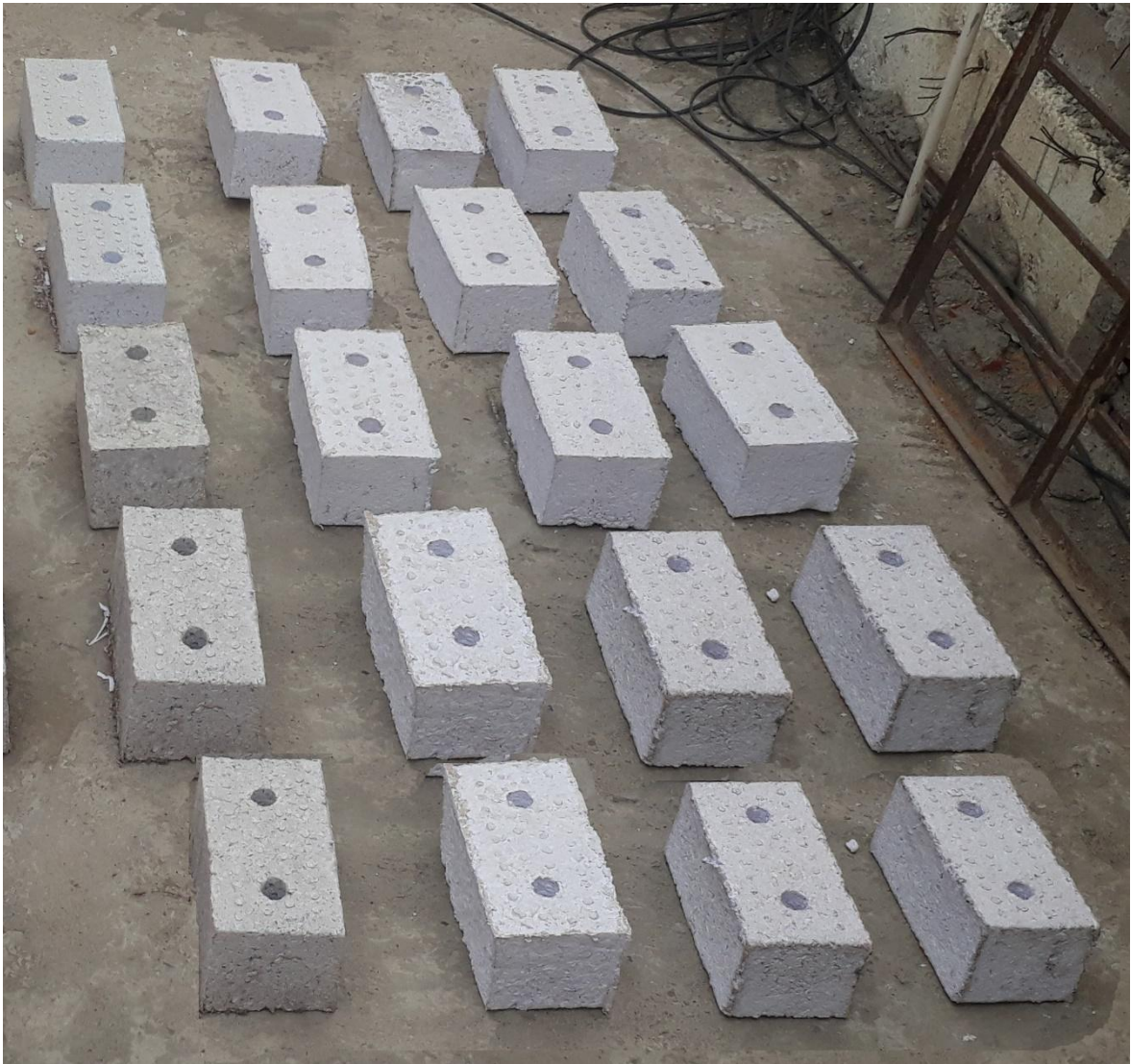
Para este diseño de mezclas se utilizó 1720gr. de papel reciclado y para remojarlo 40 litros de agua, y rindió para 3 ladrillos. Pero para la obtención del ladrillo se coló el agua, teniendo una relación de 1 : 0.5 de papel y agua para un ladrillo. En total se fabricaron 20 unidades de albañilería, los cuales dejamos secar al aire libre en un mínimo de 28 días antes de ser empleados en los ensayos. Pudo observarse que a los 7 días de elaborado el ladrillo estaban superficialmente secos. En la Tabla 6 se hará un recuento del procedimiento experimental que se realizará, en la Tabla 7 presentaremos los pesos y dimensiones en húmedo que hemos tomado y en la Tabla 8 los pesos y dimensiones en seco.



*Figura 43. Ecoladrillo con un diseño de mezclas Papel - Agua*

FUENTE: Propia

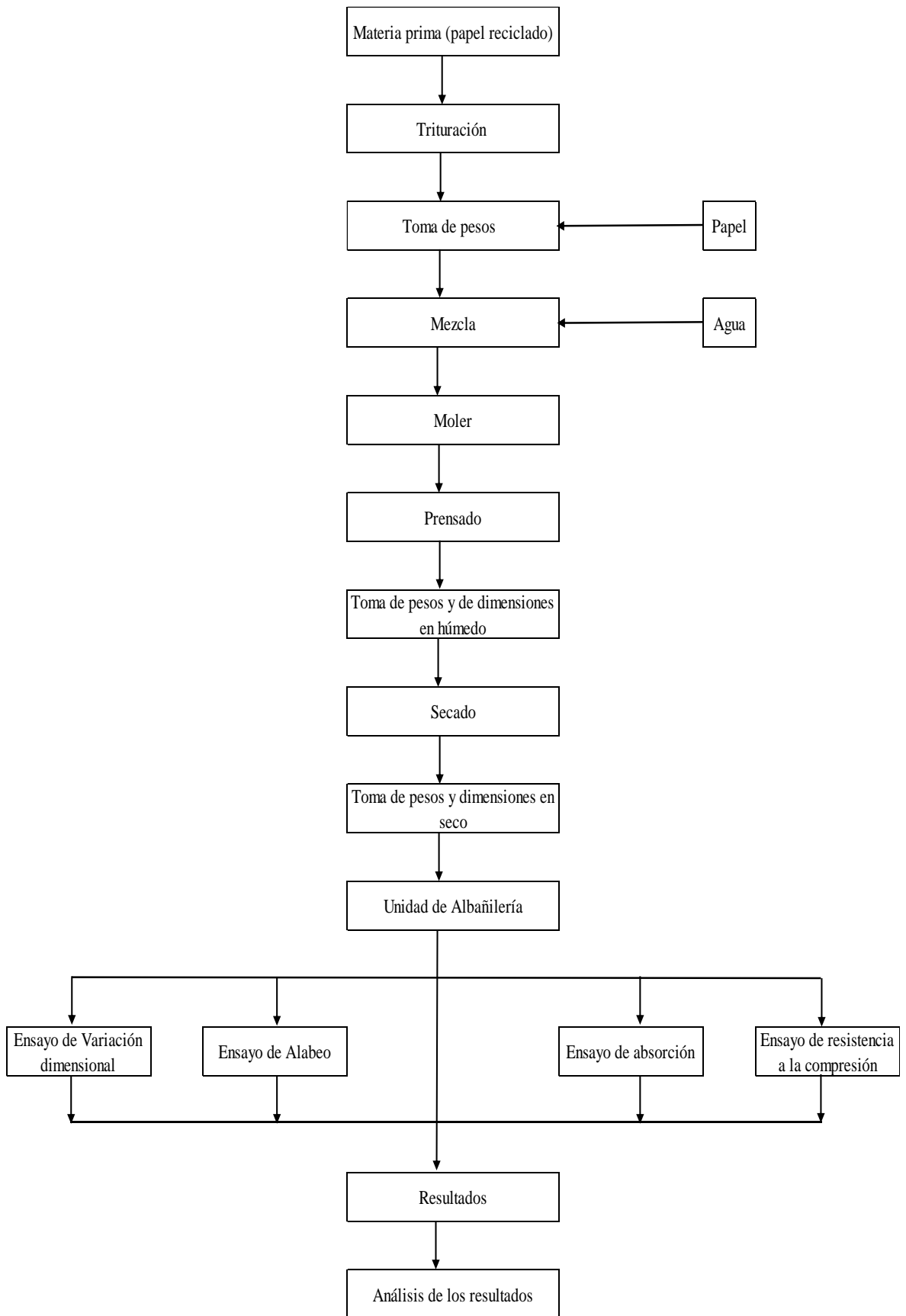




*Figura 44. Ladrillos de Papel - Agua a aire libre*

FUENTE: Propia

Tabla 6 Procedimiento experimental del diseño de mezclas de papel - agua



FUENTE: Propia

Tabla 7 Pesos y dimensiones húmedo del diseño de mezclas papel - agua

<b>DIMENSIONES EN HÚMEDO (PAPEL – AGUA)</b>					
N° de Ladrillo	Dimensiones			Peso	Densidad
	Medidas				
	Largo	Ancho	Alto	gr	kg/m <sup>3</sup>
	cm	cm	cm		
A1	23.2	13.0	10.0	3389.2	1123.74
A2	23.0	12.6	10.2	3384.6	1145.01
A3	23.0	12.9	10.0	3372.5	1136.67
A4	23.6	12.9	11.0	3349.6	1000.23
A5	24.0	13.0	10.5	3338.4	1019.05
A6	23.7	12.8	10.4	3369.6	1068.04
A7	23.8	13.1	10.7	3289.8	986.14
A8	23.7	13.0	10.2	3180.5	1012.05
A9	23.3	12.9	10.5	3382.5	1071.77
A10	24.2	13.0	10.5	3397.7	1028.58
A11	23.6	12.7	10.4	3371.4	1081.59
A12	23.9	12.9	10.7	3372.2	1022.21
A13	24.0	13.0	10.5	3326.1	1015.29
A14	23.8	13.0	11.0	3349.8	984.25
A15	24.2	12.9	10.9	3388.6	995.84
A16	23.7	12.8	10.6	3189.7	991.94
A17	23.8	12.9	10.4	3170.5	992.95
A18	24.0	12.6	10.2	3187.1	1033.27
A19	23.8	12.4	10.0	3168.3	1073.56
A20	23.7	12.4	10.8	3180.5	1002.08

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 8. Pesos y dimensiones seco del diseño de mezclas papel - agua

<b>DIMENSIONES EN SECO (PAPEL – AGUA)</b>					
N° de Ladrillo	Dimensiones			Peso	Densidad
	Medidas				
	Largo	Ancho	Alto		
	cm	cm	cm		
A1	22.9	12.5	9.2	1003.6	383.17
A2	22.6	12.2	9.0	788.6	317.79
A3	22.6	12.5	9.5	937.1	349.18
A4	22.8	12.8	9.8	996.8	348.53
A5	22.8	12.6	9.9	976.5	343.35
A6	22.8	12.1	9.9	970.6	355.37
A7	22.9	12.9	9.9	945.5	323.30
A8	22.9	12.9	9.6	1025.9	363.64
A9	22.8	12.6	9.6	1010.5	366.40
A10	22.0	12.9	10.2	975.1	336.85
A11	21.9	12.3	9.1	854.4	348.55
A12	22.0	11.7	9.7	854.9	342.40
A13	22.4	12.2	9.7	767.1	289.38
A14	22.5	12.3	9.9	853.6	311.55
A15	22.4	12.3	9.8	887.5	328.69
A16	22.4	12.0	9.7	807.7	309.78
A17	22.3	11.9	9.4	744.7	298.54
A18	22.4	11.9	9.3	809.9	326.70
19	22.1	11.4	9.5	737.7	308.22
A20	22.5	11.6	9.4	845.2	345.27

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 9. Diferencia de dimensiones del diseño de mezclas papel - agua

<b>DIFERENCIA DE DIMENSIONES (PAPEL - AGUA)</b>				
N° de Ladrillo	Diferencia de Dimensiones			Diferencia de Densidades
	Medidas			
	Largo	Ancho	Alto	
	%	%	%	
A1	-1.29	-3.85	-8.50	-65.90
A2	-1.74	-3.17	-11.76	-72.25
A3	-1.74	-3.10	-5.00	-69.28
A4	-3.39	-0.78	-10.91	-65.16
A5	-5.00	-3.08	-5.71	-66.31
A6	-3.80	-5.47	-4.81	-66.73
A7	-3.78	-1.53	-7.48	-67.22
A8	-3.38	-0.77	-6.37	-64.07
A9	-2.15	-2.33	-8.57	-65.81
A10	-9.09	-0.77	-2.86	-67.25
A11	-7.20	-3.15	-12.50	-67.77
A12	-7.95	-9.30	-9.35	-66.50
A13	-6.67	-6.15	-7.62	-71.50
A14	-5.46	-5.38	-10.00	-68.35
A15	-7.44	-4.65	-10.09	-66.99
A16	-5.49	-6.25	-8.49	-68.77
A17	-6.30	-7.75	-9.62	-69.93
A18	-6.67	-5.56	-8.82	-68.38
A19	-7.14	-8.06	-5.00	-71.29
A20	-5.27	-6.45	-12.96	-65.54
<b>PROMEDIO</b>	<b>-5.05 %</b>	<b>-4.38 %</b>	<b>-8.32 %</b>	<b>-67.75%</b>

FUENTE: Elaboración propia

### 5.2.2. Diseño de mezclas Cemento – Papel – Agua

Para este diseño de mezclas se utilizó 1720gr. de papel reciclado, para remojarlo 40 litros de agua, y usamos 600 gr. de cemento para obtener la mezcla. Al igual que el primer diseño de mezclas este rinde para 3 ladrillos. Pero para la obtención del ladrillo se coló el agua, teniendo una relación de 1 : 3 : 1.5 de cemento, papel y agua para un ladrillo. En total se fabricaron 20 unidades de albañilería, que se dejaron secar al aire libre por un mínimo de 28 días antes de ser empleados en los ensayos. Se pudo observar que a los 5 días de elaborado el ladrillo estaban superficialmente secos. En la Tabla 10 se hará un recuento del procedimiento experimental que se realizará, en la Tabla 11 presentaremos los pesos y dimensiones en húmedo que hemos tomado y en la Tabla 12 estarán los pesos y dimensiones en seco.



*Figura 45. Masa de papel reciclado con cemento*

FUENTE: Propia



*Figura 46. Ecoladrillo con un diseño de mezclas de Cemento - Papel - Agua*

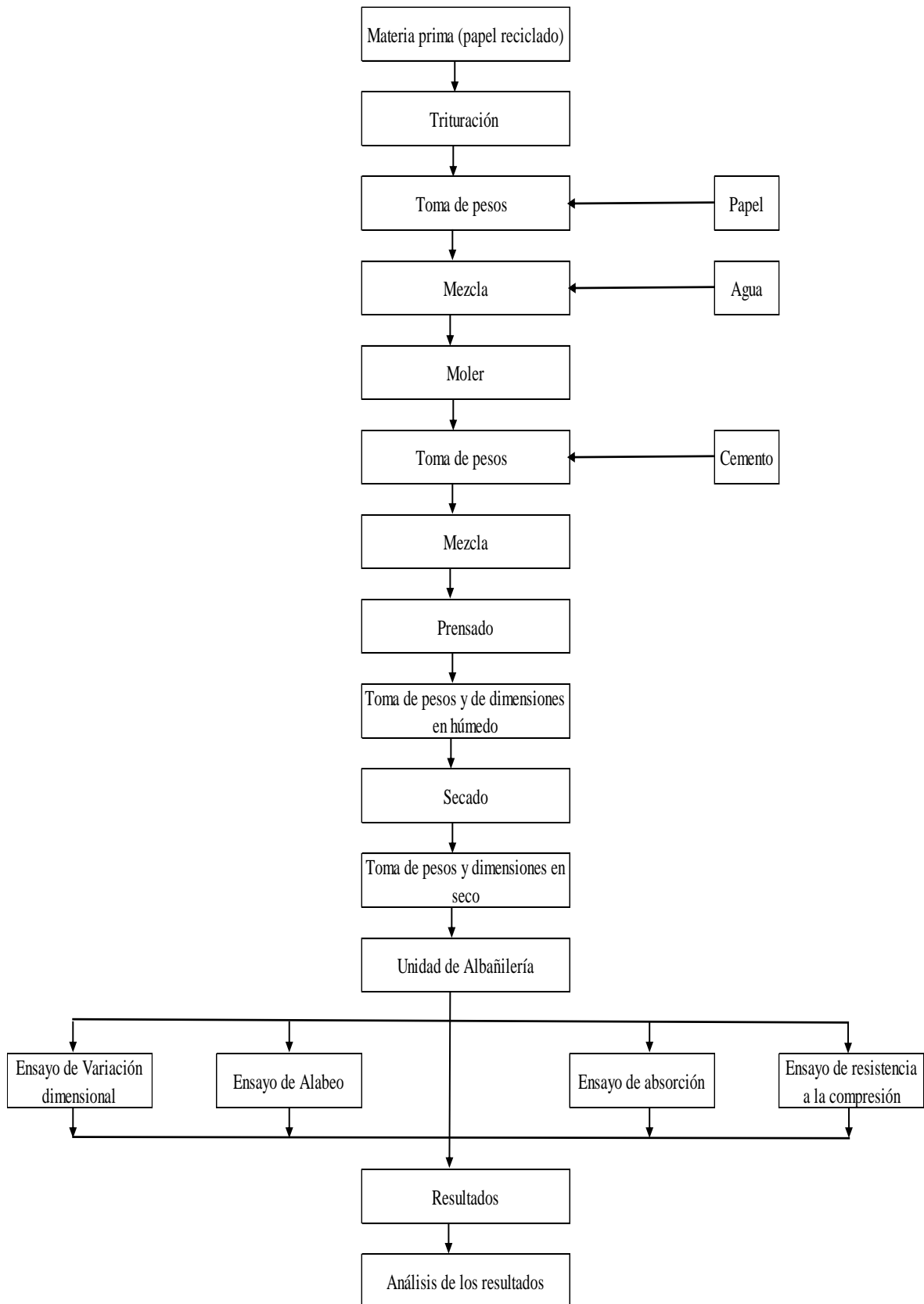
FUENTE: Propia



*Figura 47. Ladrillos de Cemento - Papel – Agua a aire libre*

FUENTE: Propia

Tabla 10 Procedimiento experimental del diseño de mezclas de cemento – papel – agua



FUENTE: Propia



Tabla 11 Pesos y dimensiones en húmedo del diseño de mezclas cemento - papel – agua

<b>DIMENSIONES EN HUMEDO (CEMENTO - PAPEL - AGUA)</b>					
N° de Ladrillo	Dimensiones			Peso	Densidad
	Medidas				
	Largo	Ancho	Alto	gr	kg/m <sup>3</sup>
	cm	cm	cm		
B1	24.0	13.0	10.5	3322.6	1014.22
B2	23.7	12.9	10.3	3261.4	1035.69
B3	23.8	12.8	10.2	3248.5	1045.43
B4	23.8	12.6	10.6	3390.4	1066.59
B5	23.8	12.6	10.3	3349.5	1084.41
B6	23.8	12.6	10.4	3274.8	1050.04
B7	23.8	12.4	10.0	3312.5	1122.42
B8	23.8	12.5	10.0	3225.4	1084.17
B9	23.7	12.3	10.0	3253.3	1116.02
B10	23.5	12.6	10.1	3285.4	1098.57
B11	23.8	12.9	10.4	3292.0	1031.00
B12	23.7	12.8	10.2	3254.9	1051.91
B13	23.8	12.7	10.4	3319.4	1055.96
B14	23.8	12.6	10.4	3369.9	1080.53
B15	23.8	12.6	10.3	3312.1	1072.31
B16	23.8	12.5	10.2	3293.6	1085.38
B17	23.8	12.4	10.0	3268.9	1107.65
B18	23.7	12.4	10.0	3239.3	1102.25
B19	23.6	12.4	10.0	3269.3	1117.17
B20	23.6	12.7	10.2	3288.7	1075.74

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 12. Pesos y dimensiones en seco del diseño de mezclas cemento - papel - agua

<b>DIMENSIONES EN SECO (CEMENTO - PAPEL - AGUA)</b>					
N° de Ladrillo	Dimensiones			Peso	Densidad
	Medidas				
	Largo	Ancho	Alto	gr	kg/m <sup>3</sup>
	cm	cm	cm		
B1	22.6	12.2	10.0	1050.2	380.89
B2	22.2	11.8	9.7	927.3	364.93
B3	22.2	11.7	9.7	919.9	365.12
B4	23.1	12.3	10.3	1251.4	427.60
B5	22.9	12.2	10.0	1112.5	398.20
B6	23.0	12.4	9.4	945.3	352.61
B7	23.2	12.1	9.8	1353.5	491.99
B8	22.9	12.3	9.7	1150.2	420.98
B9	23.2	12.1	9.5	1150.7	431.48
B10	22.9	12.5	9.6	1092.4	397.53
B11	22.4	12.0	9.8	988.7	375.33
B12	22.2	11.7	9.7	923.6	366.58
B13	22.6	12.0	10.0	1085.6	400.29
B14	23.0	12.2	10.1	1181.9	417.03
B15	22.9	12.3	9.7	1028.9	376.58
B16	23.1	12.2	9.6	1149.4	424.84
B17	23.0	12.2	9.7	1251.8	459.91
B18	23.0	12.2	9.6	1150.4	427.06
B19	23.0	12.3	9.5	1121.5	417.29
B20	22.6	12.2	9.7	1040.5	389.05

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 13 Diferencia de dimensiones del diseño de mezclas cemento - papel - agua

<b>DIFERENCIA DE DIMENSIONES (CEMENTO - PAPEL - AGUA)</b>				
N° de Ladrillo	Diferencia de dimensiones			Diferencia de Densidades
	Medidas			
	Largo	Ancho	Alto	
	%	%	%	
B1	-5.83	-6.15	-4.76	-62.44
B2	-6.33	-8.53	-5.83	-64.76
B3	-6.72	-8.59	-4.90	-65.08
B4	-2.94	-2.38	-2.83	-59.91
B5	-3.78	-3.17	-2.91	-63.28
B6	-3.36	-1.59	-9.62	-66.42
B7	-2.52	-2.42	-2.00	-56.17
B8	-3.78	-1.60	-3.00	-61.17
B9	-2.11	-1.63	-5.00	-61.34
B10	-2.55	-0.79	-4.95	-63.81
B11	-5.88	-6.98	-5.77	-63.60
B12	-6.33	-8.59	-4.90	-65.15
B13	-5.04	-5.51	-3.85	-62.09
B14	-3.36	-3.17	-2.88	-61.40
B15	-3.78	-2.38	-5.83	-64.88
B16	-2.94	-2.40	-5.88	-60.86
B17	-3.36	-1.61	-3.00	-58.48
B18	-2.95	-1.61	-4.00	-61.26
B19	-2.54	-0.81	-5.00	-62.65
B20	-4.24	-3.94	-4.90	-63.83
<b>PROMEDIO</b>	<b>-4.02 %</b>	<b>-3.69 %</b>	<b>-4.59 %</b>	<b>-62.43%</b>

FUENTE: Elaboración propia

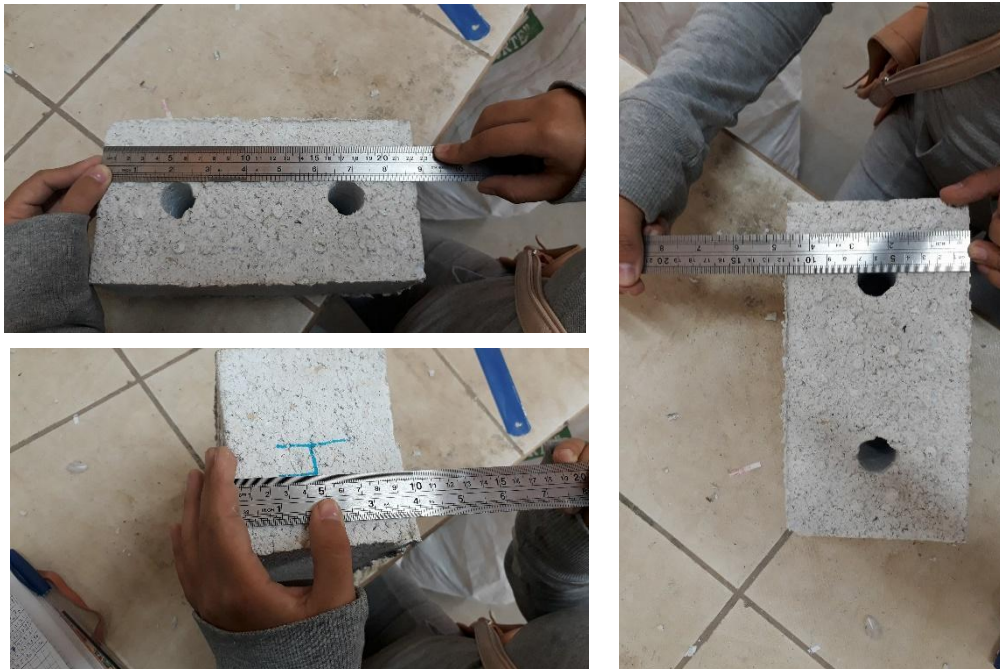
### 5.3. Ensayos de la unidad de albañilería prensada

En total se ensayaron 10 unidades de albañilería a variación dimensional y alabeo, mientras que a compresión se ensayaron 5 unidades y 3 unidades de albañilería a absorción para cada diseño de mezclas.

#### 5.3.1. Ensayo de Variación Dimensional

Para este ensayo se tomaron 10 unidades representativas secas, de cada diseño de mezclas, y usamos una regla de acero de 30cm, con divisiones de 1mm. Se midió el ancho a través de los extremos en ambas caras, desde el punto medio de los bordes que limitan las caras, registramos estas cuatro medidas con una aproximación de 1mm y luego se obtuvo el ancho promedio de las medidas. Se repitió el ensayo, midiendo a través de ambas caras y ambos extremos, para medir la altura y el largo; obteniendo su promedio de ambas.

En las siguientes tablas se presentan los resultados promedios y la dispersión de los mismos obtenidos en las pruebas de variación dimensional según las NTP 399.613 y 399.604.



*Figura 48. Medición de las unidades de papel - agua*

FUENTE: Propia

Tabla 14 Promedio de longitudes de papel - agua

<b>ENSAYO DE VARIACION DIMENSIONAL</b>															
N° de Ladrillo	Largo					Ancho					Altura				
	L1	L2	L3	L4	Promedio	L1	L2	L3	L4	Promedio	L1	L2	L3	L4	Promedio
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
A1	230.0	229.0	228.0	229.0	<b>229.0</b>	126.0	129.0	125.0	125.0	<b>126.3</b>	98.0	96.0	95.0	95.0	<b>96.0</b>
A3	226.0	227.0	222.0	226.0	<b>225.3</b>	124.0	125.0	127.0	128.0	<b>126.0</b>	96.0	93.0	95.0	95.0	<b>94.8</b>
A8	228.0	229.0	230.0	230.0	<b>229.3</b>	121.0	123.0	127.0	128.0	<b>124.8</b>	95.0	96.0	95.0	96.0	<b>95.5</b>
A9	228.0	228.0	227.0	227.0	<b>227.5</b>	127.0	127.0	122.0	124.0	<b>125.0</b>	97.0	95.0	95.0	95.0	<b>95.5</b>
A11	222.0	221.0	225.0	225.0	<b>223.3</b>	120.0	121.0	123.0	123.0	<b>121.8</b>	91.0	92.0	95.0	95.0	<b>93.3</b>
A16	224.0	225.0	227.0	228.0	<b>226.0</b>	122.0	121.0	118.0	119.0	<b>120.0</b>	92.0	92.0	97.0	97.0	<b>94.5</b>
A17	228.0	225.0	224.0	223.0	<b>225.0</b>	117.0	120.0	119.0	120.0	<b>119.0</b>	92.0	95.0	92.0	93.0	<b>93.0</b>
A18	224.0	224.0	226.0	228.0	<b>225.5</b>	120.0	119.0	119.0	121.0	<b>119.8</b>	93.0	92.0	94.0	94.0	<b>93.3</b>
A19	222.0	221.0	227.0	226.0	<b>224.0</b>	115.0	116.0	120.0	121.0	<b>118.0</b>	94.0	91.0	92.0	93.0	<b>92.5</b>
A20	224.0	225.0	229.0	230.0	<b>227.0</b>	117.0	117.0	122.0	122.0	<b>119.5</b>	93.0	93.0	93.0	95.0	<b>93.5</b>
	<b>PROMEDIO</b>				<b>226.2</b>	<b>PROMEDIO</b>				<b>122.0</b>	<b>PROMEDIO</b>				<b>94.2</b>

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 15 Promedio de longitudes de cemento - papel - agua

ENSAYO DE VARIACION DIMENSIONAL															
N° de Ladrillo	Largo					Ancho					Altura				
	L1	L2	L3	L4	Promedio	L1	L2	L3	L4	Promedio	L1	L2	L3	L4	Promedio
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
B6	231.0	231.0	230.0	230.0	<b>230.5</b>	119.0	120.0	125.0	124.0	<b>122.0</b>	95.0	94.0	98.0	96.0	<b>95.8</b>
B7	231.0	232.0	235.0	234.0	<b>233.0</b>	126.0	125.0	123.0	122.0	<b>124.0</b>	98.0	99.0	100.0	103.0	<b>100.0</b>
B8	230.0	231.0	232.0	234.0	<b>231.8</b>	129.0	128.0	121.0	121.0	<b>124.8</b>	100.0	98.0	98.0	98.0	<b>98.5</b>
B9	234.0	233.0	229.0	229.0	<b>231.3</b>	120.0	121.0	126.0	126.0	<b>123.3</b>	98.0	98.0	95.0	98.0	<b>97.3</b>
B10	230.0	229.0	226.0	226.0	<b>227.8</b>	120.0	121.0	124.0	126.0	<b>122.8</b>	96.0	95.0	99.0	98.0	<b>97.0</b>
B12	231.0	232.0	233.0	232.0	<b>232.0</b>	123.0	123.0	124.0	123.0	<b>123.3</b>	97.0	97.0	99.0	100.0	<b>98.3</b>
B13	231.0	232.0	234.0	234.0	<b>232.8</b>	128.0	127.0	122.0	122.0	<b>124.8</b>	99.0	99.0	99.0	101.0	<b>99.5</b>
B15	232.0	232.0	231.0	232.0	<b>231.8</b>	125.0	125.0	124.0	124.0	<b>124.5</b>	99.0	98.0	97.0	98.0	<b>98.0</b>
B15	232.0	231.0	228.0	228.0	<b>229.8</b>	120.0	121.0	125.0	126.0	<b>123.0</b>	97.0	97.0	97.0	98.0	<b>97.3</b>
B16	231.0	231.0	230.0	229.0	<b>230.3</b>	122.0	122.0	124.0	125.0	<b>123.3</b>	97.0	96.0	99.0	99.0	<b>97.8</b>
	<b>PROMEDIO</b>				<b>231.1</b>	<b>PROMEDIO</b>				<b>123.6</b>	<b>PROMEDIO</b>				<b>97.9</b>

FUENTE: Elaboración propia

*Tabla 16 Variación dimensional de papel - agua*

<b>VARIACION DIMENSIONAL</b>				
	Promedio	Nominal	VD	VD
	mm	mm	mm	%
Largo	226.2	230.0	± 4	1.66
Ancho	122.0	130.0	± 8	6.15
Altura	94.2	100.0	± 6	5.83

FUENTE: Elaboración propia

*Tabla 17 Variación dimensional de cemento - papel - agua*

<b>VARIACION DIMENSIONAL</b>				
	Promedio	Nominal	VD	VD
	mm	mm	mm	%
Largo	231.1	230.0	± 1	-0.47
Ancho	123.6	130.0	± 6	4.96
Altura	97.9	100.0	± 2	2.08

FUENTE: Elaboración propia

### **5.3.2. Ensayo de Alabeo**

En este ensayo usamos las mismas unidades que fueron usadas para el ensayo de variación dimensional y usamos una cuña de medición graduada y numerada en divisiones de 1mm. Se colocó la regla diagonalmente a lo largo de la superficie a ser medida y con la cuña medimos la distancia mayor de la superficie del espécimen a la regla de borde recto y registramos la distorsión de la superficie con precisión de 1mm.

En las siguientes tablas se presentarán los resultados promedios que se obtuvo del ensayo de alabeo según las NTP 399.613 y 399.604.



*Figura 49. Ensayo de Alabeo*

FUENTE: Propia

*Tabla 18 Ensayo de Alabeo de papel - agua*

<b>ENSAYO DE ALABEO</b>	
N° de Ladrillo	Alabeo
	mm
A1	5
A3	8
A8	5
A9	5
A11	4
A16	7
A17	4
A18	5
A19	5
A20	7
<b>Promedio</b>	<b>5.5</b>

FUENTE: Elaboración propia

*Tabla 19 Ensayo de Alabeo de cemento - papel - agua*

<b>ENSAYO DE ALABEO</b>	
N° de Ladrillo	Alabeo
	mm
B6	7
B7	5
B8	5
B9	4
B10	7
B12	5
B13	4
B15	6
B15	7
B16	4
<b>Promedio</b>	<b>5.4</b>

FUENTE: Elaboración propia

### **5.3.3. Ensayo de Absorción**

Para este ensayo se tomaron como muestra 3 unidades de albañilería, de cada diseño de mezclas, guiándonos del procedimiento lo establecido por la NTP 399.604 y 399.613.



Primero secamos los ladrillos en un horno ventilado de 110°C a 115°C, por 24 horas, luego procedimos al enfriamiento durante 4 horas colocándolas separadas, no amontonadas, a temperatura ambiente. Después se sumergió los ladrillos en agua limpia y pasada las 24 horas, retiramos los especímenes y lo limpiamos del agua superficial con un paño. Finalmente, procedimos a pesar los ladrillos.

En las siguientes tablas mostramos los resultados y el promedio con el contenido de agua absorbida de los ladrillos ensayados, con una aproximación a 0.1%.

*Tabla 20 Absorción de unidades de papel - agua*

<b>ENSAYO DE ABSORCION</b>			
N° de Ladrillo	Peso seco	Peso saturado	Absorción
	gr	gr	%
A11	745.0	2,785.0	273.8%
A19	650.4	2,795.6	329.8%
A20	760.6	2,824.9	271.4%
<b>PROMEDIO</b>			<b>291.7%</b>

FUENTE: Elaboración propia

*Tabla 21 Absorción de unidades de cemento - papel - agua*

<b>ENSAYO DE ABSORCION</b>			
N° de Ladrillo	Peso seco	Peso saturado	Absorción
	gr	gr	%
B6	595.4	2,620.7	340.2%
B7	780.4	2,869.4	267.7%
B10	767.1	2,528.0	229.6%
<b>PROMEDIO</b>			<b>279.1%</b>

FUENTE: Elaboración propia



*Figura 50. Unidades Colocadas en horno*

FUENTE: Propia



*Figura 51. Unidades papel - agua sumergidas 24 horas*

FUENTE: Propia



*Figura 52. Unidades cemento - papel - agua sumergidas 24 horas*

FUENTE: Propia

#### 5.3.4. Resistencia a la Compresión

Para este ensayo usamos 5 ladrillos, de cada diseño de mezclas, y cubrimos la superficie con una capa delgada de yeso calcinado (yeso hemihidratado), se dejó reposar el refrentado por 24 horas antes de ensayar los ladrillos.

Luego se colocó el espécimen con una de sus caras mayores sobre el apoyo de la máquina para que empiece a andar el ensayo (Figura 53); sólo que nos dimos cuenta de que nuestros ladrillos no presentaban fisuras al exponerse a cargas, sino que por lo contrario presentaba deformación., produciendo un acortamiento en su altura.



*Figura 53. Ecoladrillo ubicado en la máquina de rotura*

FUENTE: Propia

Como nosotros con esta investigación lo que buscamos es clasificar a este ladrillo para una tabiquería no estructural, para muros no portantes, lo que haremos será verificar que el esfuerzo máximo en la sección sea menor que es esfuerzo permisible. Y con el acortamiento que se genera al someter una carga al ladrillo, hallaremos el módulo de elasticidad, como también obtendremos su deformación relativa de las dimensiones transversales del ladrillo.

A continuación, mostraremos el procesamiento de datos, para cada diseño de mezclas.

- Para un diseño de mezclas Papel – Agua

Para este ensayo los ladrillos fueron sometidos a una carga de 500 Kgf, teniendo un acortamiento de 0.50 cm de promedio en su altura; como se puede ver en la tabla 22.

Tabla 22 Acortamiento por compresión en unidades de papel - agua

<b>ACORTAMIENTO ABSOLUTO POR COMPRESIÓN</b>			
N° de Ladrillo	Altura inicial	Altura final	Acortamiento (δ)
	cm	cm	cm
A6	9.90	9.30	0.60
A12	9.70	9.20	0.50
A13	9.70	9.30	0.40
A14	9.90	9.30	0.60
A15	9.80	9.40	0.40
<b>PROMEDIO</b>			<b>0.50</b>

FUENTE: Elaboración propia

Ahora verificaremos que el esfuerzo máximo en la sección sea menor que es esfuerzo permisible, con la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{P}{A} \leq [\sigma]$$

$$\frac{(Peso_{viga} + Peso_{tabiquería})}{\text{área}_{sección transversal del ladrillo}} \leq \frac{Carga indicada por el ensayo}{\text{área}_{superficie de contacto}}$$

$$\frac{(0.23m \times 0.15m \times 0.50m \times 2400kg/m^3) + (0.23m \times 0.15m \times 2.50m \times 334.83kg/m^3)}{23cm \times 13cm} \leq \frac{500 kg}{23cm \times 13cm}$$

$$\frac{70.28 kg}{299 cm^2} \leq \frac{500 kg}{299 cm^2}$$

$$0.24 \frac{kg}{cm^2} \leq 1.67 \frac{kg}{cm^2}$$

(OK)

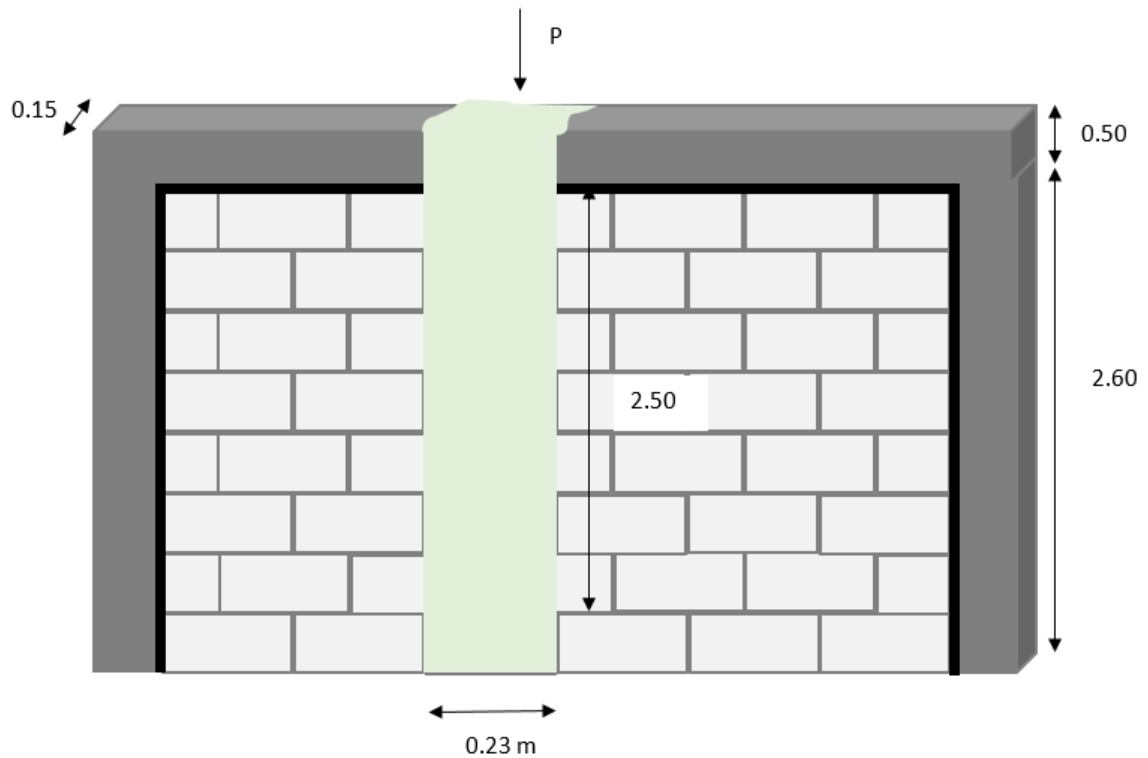


Figura 54. Simulación gráfica de esfuerzo sobre un muro de tabiquería de papel - agua

FUENTE: Elaboración propia

Hallaremos el módulo de elasticidad en base a la siguiente fórmula:

$$\delta = \frac{P \times L}{E \times A}$$

$$E = \frac{P \times L}{\delta \times A}$$

$$E = \frac{500 \text{ kg} \times 10 \text{ cm}}{0.50 \text{ cm} \times 299 \text{ cm}^2}$$

$$E = \frac{5000 \text{ kg} - \text{cm}}{149.50 \text{ cm}^3}$$

$$E = 33.44 \text{ kg/cm}^2$$

Comprobamos que la deformación unitaria es 0.05 con la siguiente fórmula:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$$\varepsilon = \frac{1.67 \text{ kg/cm}^2}{33.44 \text{ kg/cm}^2}$$

$$\varepsilon = 0.05$$

Finalmente, en la tabla 23 se muestra la deformación promedio de la sección transversal del ladrillo.

*Tabla 23 Deformación lineal por compresión de papel - agua*

<b>DEFORMACION UNITARIA LINEAL POR COMPRESIÓN</b>			
N° de Ladrillo	Altura inicial	Altura final	Deformación Lineal ( $\epsilon$ )
	cm	cm	cm
A6	9.90	9.30	-0.06
A12	9.70	9.20	-0.05
A13	9.70	9.30	-0.04
A14	9.90	9.30	-0.06
A15	9.80	9.40	-0.04
<b>PROMEDIO</b>			<b>-0.05</b>

FUENTE: Elaboración propia

- Para un diseño de mezclas Cemento – Papel – Agua

Para este ensayo los ladrillos fueron sometidos a una carga de 1000 Kgf, teniendo un acortamiento de 0.52 cm de promedio en su altura; como se puede ver en la tabla 24.

*Tabla 24 Acortamiento por compresión en unidades de cemento-papel-agua*

<b>ACORTAMIENTO ABSOLUTO POR COMPRESIÓN</b>			
N° de Ladrillo	Altura inicial	Altura final	Acortamiento ( $\delta$ )
	cm	cm	cm
B1	10.00	9.60	0.40
B2	9.70	9.20	0.50
B3	9.70	9.10	0.60
B4	10.30	9.80	0.50
B5	10.00	9.40	0.60
<b>PROMEDIO</b>			<b>0.52</b>

FUENTE: Elaboración propia

Verificaremos la condición de resistencia, con la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{P}{A} \leq [\sigma]$$

$$\frac{(Peso_{viga} + Peso_{tabiquería})}{\text{área}_{\text{sección transversal del ladrillo}}} \leq \frac{\text{Carga indicada por el ensayo}}{\text{área}_{\text{superficie de contacto}}}$$

$$\frac{(0.23\text{m} \times 0.15\text{m} \times 0.50\text{m} \times 2400\text{kg/m}^3) + (0.23\text{m} \times 0.15\text{m} \times 2.50\text{m} \times 404.71\text{kg/m}^3)}{23\text{cm} \times 13\text{cm}} \leq \frac{1000\text{ kg}}{23\text{cm} \times 13\text{cm}}$$

$$\frac{70.31\text{ kg}}{299\text{ cm}^2} \leq \frac{1000\text{ kg}}{299\text{ cm}^2}$$

$$0.24 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \leq 3.34 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

(OK)

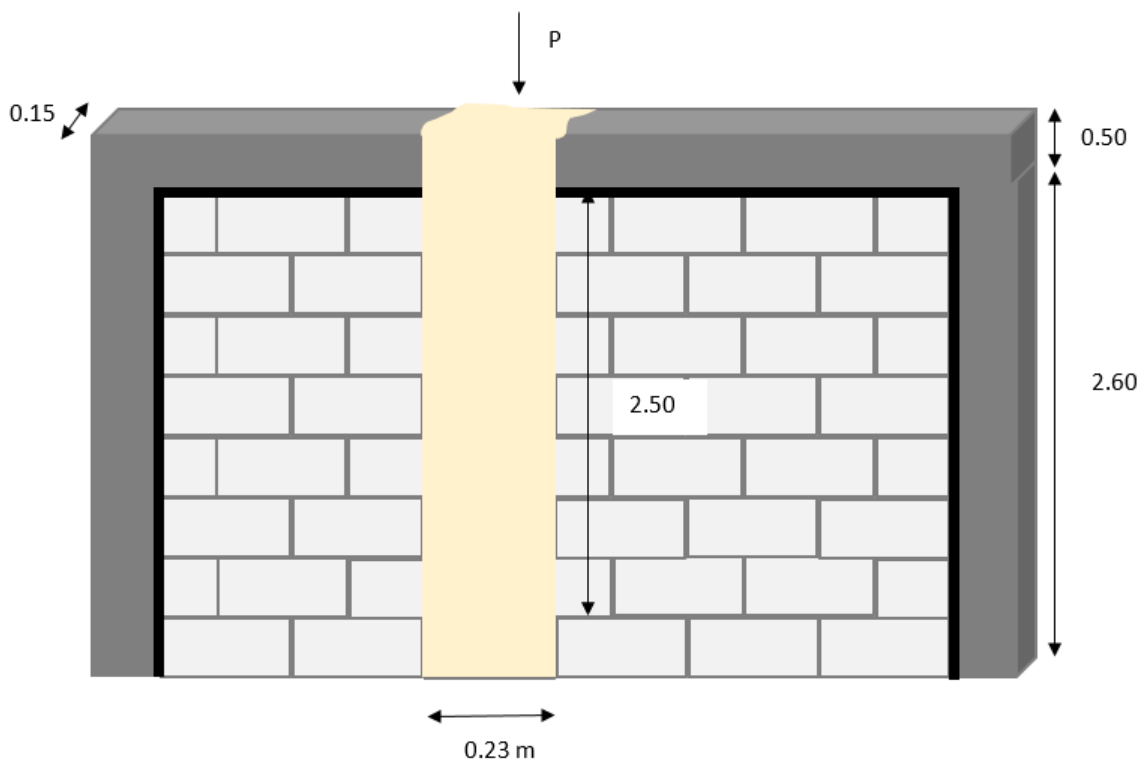


Figura 55. Simulación gráfica de esfuerzo sobre un muro de tabiquería de cemento - papel - agua

FUENTE: Elaboración propia

Hallaremos el módulo de elasticidad en base a siguiente fórmula:

$$E = \frac{P \times L}{\delta \times A}$$

$$E = \frac{1000 \text{ kg} \times 10 \text{ cm}}{0.52 \text{ cm} \times 299 \text{ cm}^2}$$

$$E = \frac{10000 \text{ kg} - \text{cm}}{155.48 \text{ cm}^3}$$

$$E = 64.32 \text{ kg/cm}^2$$

Comprobamos que la deformación unitaria es 0.05 con la siguiente fórmula:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$$\varepsilon = \frac{3.34 \text{ kg/cm}^2}{64.32 \text{ kg/cm}^2}$$

$$\varepsilon = 0.05$$

Finalmente, en la tabla 25 se muestra la deformación promedio de la sección transversal del ladrillo.

*Tabla 25 Deformación lineal por compresión de cemento-papel-agua*

<b>DEFORMACION LINEAL UNITARIA POR COMPRESIÓN</b>			
N° de Ladrillo	Altura inicial	Altura final	Deformación Lineal ( $\varepsilon$ )
	cm	cm	
B1	10.00	9.60	-0.04
B2	9.70	9.20	-0.05
B3	9.70	9.10	-0.06
B4	10.30	9.80	-0.05
B5	10.00	9.40	-0.06
<b>PROMEDIO</b>			<b>-0.05</b>

FUENTE: Elaboración propia



## **CAPÍTULO 6. RESULTADOS**

### **6.1. Prototipo de ladrillo ecológico**

Tendremos un ladrillo ecológico de 2 huecos, con un diámetro, con un diámetro de 3 cm en cada uno, con 23 cm de largo, 13 cm de ancho y 10 cm de alto.

### **6.2. Equipo moldeador**

Por ser una investigación nueva se probó con 2 equipos para la elaboración de este eco ladrillo y estos fueron los resultados.

- Caja:
  - Obtenemos un ladrillo con gran cantidad de agua, en el instante de su confección.
  - Tenemos un ladrillo que reduce su altura de 10 cm a 3 cm.
  - Obtenemos un ladrillo con medidas alejadas al ladrillo convencional.
  
- Prensadora de papel:
  - Obtenemos un ladrillo prensador húmedo, en el momento de su confección.
  - Tenemos un ladrillo que reduce en lo mínimo su altura.
  - Logramos un ladrillo con medidas semejantes a las convencionales.

### **6.3. Procedimiento de elaboración del eco ladrillo**

Para plantear el procedimiento de elaboración del eco ladrillo, es necesario primero saber cómo obtener la masa de papel reciclado, para ello probamos con 2 procesos y obtuvimos los siguientes resultados.

- Licuadora:
  - Obtenemos una masa muy líquida.
  - Es necesario pasar la masa por una malla para eliminar la mayor cantidad de agua y así obtener una masa más consistente.
  
- Por molição (papel y colador):
  - Obtenemos una masa equilibrada, apta para ser vertida en la prensadora de papel y así obtener nuestro eco ladrillo.

#### 6.4. Variación de dimensiones al realizar su confección

Nuestro eco ladrillo al contener gran cantidad de agua al momento de ser confeccionado, verificamos la variación de dimensiones que se pudo obtener después de sus 28 días de edad de ser fabricada, por ambos diseños de mezclas y estos fueron nuestros resultados.

*Tabla 26 Variación de dimensiones al realizar su confección*

DISMINUCION DE LAS DIMENSIONES		
	Papel-Agua	Cemento-Papel-Agua
Largo	-5.05 %	-4.02 %
Ancho	-4.38 %	-3.69 %
Alto	-8.32 %	-4.59 %
Densidad	-67.75 %	-62.43 %

FUENTE: Elaboración propia

#### 6.5. Ensayos de la unidad de albañilería ecológica

Se realizaron diferentes ensayos a la unidad de albañilería y estos fueron sus resultados.

##### 6.5.1. Variación Dimensional

Se observa que las unidades presentan dimensiones que varían un poco respecto a las dimensiones nominales, 23x13x10 cm, para cada diseño.

*Tabla 27 Variación dimensional de unidades*

VARIACION DIMENSIONAL				
	Papel-Agua		Cemento-Papel-Agua	
	mm	%	mm	%
Largo	± 4	1.66	± 1	-0.47
Ancho	± 8	6.15	± 6	4.96
Alto	± 6	5.83	± 2	2.08
Dispersión	39%		35%	

FUENTE: Elaboración propia

### 6.5.2. Alabeo

Así mismo, su alabeo está dentro de lo normal, como se ve en el cuadro de resultados de los diseños de mezclas de ladrillos al cual fueron aplicados, en la siguiente tabla.

*Tabla 28 Alabeo de unidades*

<b>ALABEO</b>		
	Papel-Agua	Cemento-Papel-Agua
Promedio	5.5	5.4
Dispersión	23%	20%

FUENTE: Elaboración propia

### 6.5.3. Absorción

Se observa que su porcentaje de absorción es mayor al 100%, para cada diseño de mezclas en la tabla 29.

*Tabla 29 Absorción de unidades*

<b>ABSORCIÓN</b>		
	Papel-Agua	Cemento-Papel-Agua
Promedio	291.7%	279.1%

FUENTE: Elaboración propia

### 6.5.4. Resistencia de Compresión

A los ladrillos del primer diseño de mezclas se les aplico una carga distribuida de 500kgf, los cuales sufrieron una deformación de -0.05, logrando un acortamiento de altura de 0.50cm. Mientras que los ladrillos del segundo diseño de mezclas se les aplico 1000kgf, los cuales sufrieron una deformación de -0.05, logrando un acortamiento de altura de 0.52cm.

En la tabla 30, se ve los demás resultados que pudieron ser obtenidos, por no haber presentado rotura el ladrillo.

Tabla 30 Resultados del ensayo a compresión

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN</b>		
	Papel-Agua	Cemento-Papel-Agua
Carga aplicada	500 kgf	1000 kgf
$\delta$	0.50	0.52
$\varepsilon$	-0.05	-0.05
E	33.44 kg/cm <sup>2</sup>	64.32 kg/cm <sup>2</sup>
$\sigma$	0.24 kg/cm <sup>2</sup>	0.24 kg/cm <sup>2</sup>
[ $\sigma$ ]	1.67 kg/cm <sup>2</sup>	3.34 kg/cm <sup>2</sup>
Condición de resistencia	OK	OK

FUENTE: Elaboración propia

### 6.6. Diseño de mezclas

Se ensayó con 2 diseños de mezclas que tuvieron como base el papel reciclado; el cual se detalla a continuación:

- Papel - agua:
  - Un ladrillo tiene una dosificación en peso de 1:05.
  - Para un ladrillo se usa 570gr. De papel con 320gr. De agua.
  - Se obtiene un peso promedio de 889.65gr.
  
- Cemento – papel - agua:
  - Un ladrillo tiene una dosificación en peso de 1:3:1.5.
  - Para un ladrillo se usa 570gr. De papel, 200gr. de cemento y 320gr. de agua.
  - Se obtiene un peso promedio de 1093.79gr.

## CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN

Es importante remarcar que los niveles de fiabilidad de los resultados son altos, ya que se llevó el mayor control posible durante el desarrollo de cada etapa de esta investigación, y darán garantía para su uso en el presente estudio.

Como nuestro proyecto es experimental y **no hay registro alguno** de este tipo de investigación, lo que se hizo fue hacer pruebas iniciales para determinar el procedimiento y equipos que se necesitarían para la elaboración de este eco ladrillo.

Por ser una investigación nueva, estamos proponiendo un nuevo tipo de ladrillo, del cual quisimos que sus dimensiones se asemejen lo más pronto a las medidas de un ladrillo convencional; planteando 23 cm de largo, 13 cm de ancho y 10 cm de alto, así mismo incluimos dos huecos de 3 cm de diámetro por cada uno, con el fin de ayudar a futuras investigaciones para reforzar el asentado de ladrillo.

Para definir el equipo moldeador que se usará para la elaboración del eco ladrillo, se probó con dos equipos y según sus resultados se pudo ver que la prensadora de papel es la más indicada porque nos da la facilidad de retirar el ladrillo manualmente y llevarlo a un lugar adecuado para su secado, mientras que con la caja tenemos que esperar que se seque el ladrillo para recién desmoldarlo y voltearlo para que siga secándose por los lados que no han sido expuestos a la luz natural, cosa que no ocurre con la prensadora de papel porque ni bien obtenemos el ladrillo, los rayos de luz llegan a él por todos sus lados y eso permite acopiarlo en un lugar adecuado para esperar sus 28 días de edad.

Además de ello se observó que usando la caja como equipo moldeador es necesario verter la masa en un estado líquido, para que las paredes de este sirvan como filtrador del agua que contiene de más y así sólo quede la masa neta de papel para que luego seque; pero al realizarlo de esta manera obtuvimos un ladrillo que reduce su altura de 10 cm a 3 cm, obteniendo una unidad con medidas alejadas al ladrillo convencional. Esto no pasa si usamos la prensadora de papel porque con sus brazos que tiene ayuda a retirar el agua al máximo, compactándolo nuestro ladrillo y así nos queda una unidad húmeda pero compuesta solo de

masa de papel, además de ello su altura se reduce en lo mínimo logrando medidas semejantes a las convenciones después de sus 28 días de edad.

Es necesario plantear un procedimiento para la elaboración del eco ladrillo; lo que primero se debe de hacer es triturar el papel, luego de esto para obtener la masa de papel reciclado probamos con dos métodos que según sus resultados se pueden ver que usando la licuadora obtenemos una masa muy líquida en la que es necesario pasarlo por una malla para eliminar la mayor cantidad de agua y así nos quede una masa con mejor consistencia para que pueda ser vertido en la prensadora de papel y a la hora de ser compactada no se escurra por los huecos que tiene este. En cambio si lo hacemos por molición, es decir usando una piedra y un colador al mismo tiempo, previamente remojando el papel por un tiempo no menor a 24 horas, obtenemos una masa lista para ser vertida en la prensadora sin tener que trabajarla dos veces. Lo mejor de este método de molición es que nos aseguramos de que no queden grumos en nuestra masa, como sucede con la licuadora que llega a un punto donde las cuchillas no alcanzan al papel y quedan algunos grumos de este; aparte de ello usando el método de la piedra y el colador nos ahorramos energía eléctrica y trabajamos lo más ecológicamente posible, también nos ahorramos tiempo en la elaboración de esta masa realizando dos pasos en un solo método.

Se realizaron dos diseños de mezclas, en que ambos contienen agua y que por lo tanto a la hora de secarse por un periodo de 28 días se verificó que este se evapora reduciendo sus medidas con las que fueron confeccionadas y según los resultados que fueron presentados los ladrillos compuestos de papel – agua reducen sus medidas en un 5.92%, mientras que los de cemento – papel – agua reducen en un 4.10%, dándose notar que los del segundo diseño sus dimensiones se aproximan más a las medidas convencionales, que es lo que se quiere con esta investigación.

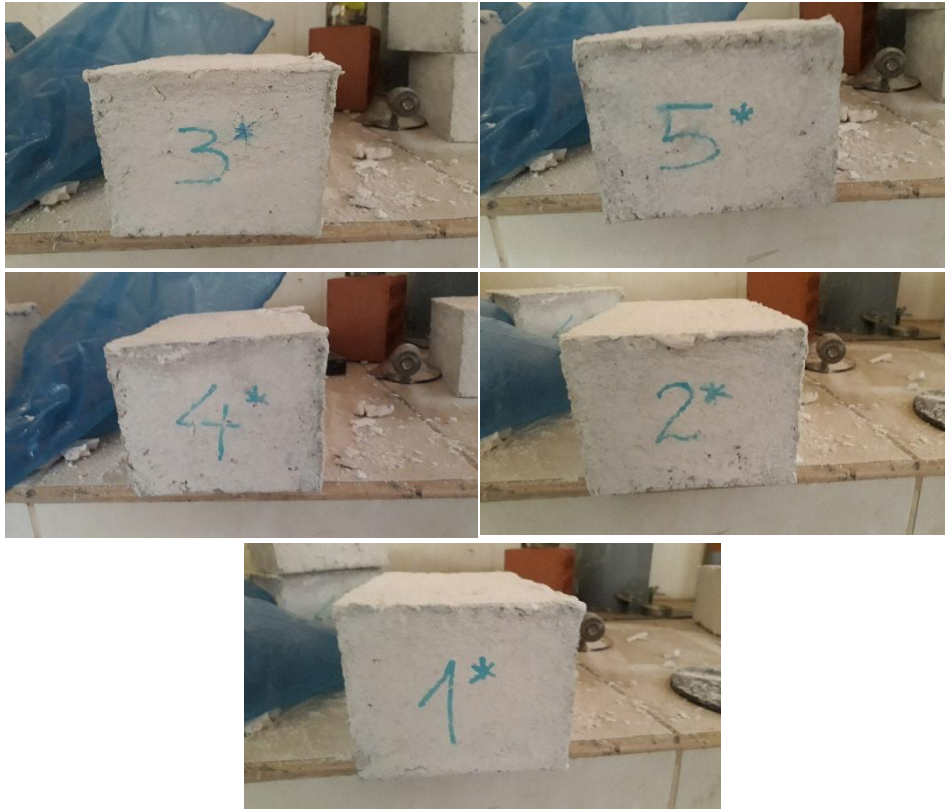
Para comprobar que la unidad de albañilería ecológica a base de papel reciclado puede clasificarse para fines de tabiquería no estructural se realizaron ensayos que nos indica la norma E.070 de Albañilería, usamos esta norma sólo como referencia ya que es para ladrillos de arcilla y nosotros estamos creando un ladrillo con un nuevo material que es el papel. Según los resultados que obtuvimos se pudo ver que para el ensayo de variación dimensional las unidades compuestas del primer diseño de mezclas se clasifican como ladrillos tipo II,

ósea que pueden usarse bajo condiciones de exigencias mínimas, según la ntp 331.017 y las unidades compuestas por el segundo diseño de mezclas se clasifican como ladrillos tipo V, ósea que pueden usarse en condiciones de servicio rigurosas, según la ntp 331.017. Para el ensayo de alabeo en ambos diseños de mezclas se clasifican como ladrillos tipo III, ósea que puede usarse bajo condiciones de servicio normal. En el ensayo de absorción, como se vio en los resultados tiene gran porcentaje que absorbe los ladrillos clasificándolos la ntp 331.017 como ladrillos tipo I y II, pero este no sería un problema porque la norma nos dice que estos porcentajes de absorción máxima son exigibles para ladrillos que estarán en contacto directo con lluvia intensa, terreno o agua, el cual no es nuestro caso. Pero haciendo una comparación entre estos dos diseños de mezclas, se observó que los ladrillos de cemento – papel – agua absorben menos, 279.1%, a comparación de los ladrillos de papel – agua, 291.7%. Por último para el ensayo de resistencia a la compresión, según los resultados obtenidos ambos diseños de mezclas cumplen con la condición de resistencia en la que el esfuerzo normal máximo es menor que el esfuerzo normal permisible; pero haciendo una comparación, el segundo diseño de mezclas es sometido a una carga de 1000 kgf mientras que el otro solo a 500 kgf y ambos presentan un acortamiento de altura de 0.50 cm aproximadamente; esto quiere decir que los ladrillos compuestos por cemento – papel – agua pueden soportar mayor carga y deformarse igual que un ladrillo compuesto por papel – agua que recibe una carga menor.



*Figura 56. Ecoladrillo sometido a 1000 kgf*

FUENTE: Propia



*Figura 57. Eco ladrillos sin falla a la compresión, pero con acortamiento de altura*

FUENTE: Propia

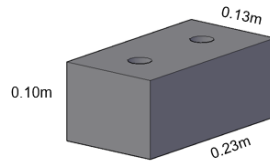
Según la norma E.070, las precisiones para que una unidad sea aceptada la dispersión de sus resultados no debe superar el 40% (para unidades producidas artesanalmente), requisito que cumplimos en todos nuestros ensayos de variación dimensional y alabeo.

Por último, como bien se sabe se ha realizado la elaboración del eco ladrillo con dos diseño de mezclas diferentes pero a base de papel reciclado, que es nuestra materia prima principal, y según los resultados se puede ver que en el segundo diseño de mezclas se incorpora el cemento, que viene a ser el 30% del peso del papel, siendo un factor importante que brinda mayor resistencia a las unidades, de manera que dependiendo de este generaría nuevos resultados. La investigación desarrollada por Abanto y Akarley en la Universidad Privada Antenor Orrego (2014) utilizó el 20% de cemento en su diseño de mezclas con suelo, obteniendo resultados aceptables, por ello en nuestro caso por tratarse de papel, decidimos utilizar 30% de cemento con el fin de obtener resultados confiables.



## CONCLUSIONES

1. EL prototipo de nuestro eco ladrillo tiene las siguientes medidas 23cm x 13cm x 10cm y presenta 2 huecos de 3cm de diámetro en cada uno.



*Figura 58. Prototipo de eco ladrillo*

FUENTE: Elaboración Propia

2. El equipo moldeador adecuado para formar nuestro eco ladrillo a base papel reciclado, con las características semejantes a las que buscamos, es la Prensadora de papel.
3. El procedimiento para la elaboración del ecoladrillo es el siguiente: primero trituramos el papel en tiras pequeñas y lo dejamos en agua por un periodo no menor a 24 horas, luego empezamos a moler y extraer el agua con ayuda de una piedra y un colador. Una vez que tengamos la masa de papel reciclado, la mezclamos con cemento y luego lo dejamos verter en la prensadora de papel, haciendo presión en la herramienta para que salga el agua que aún queda. Finalmente extraemos el ecoladrillo manualmente y lo dejamos secar a temperatura ambiente por 28 días.
4. Se verifico que las dimensiones de los ladrillos de cemento – papel – agua no varían mucho después de tener 28 días de edad, reduciéndose en un promedio de 4.10% de sus dimensiones iniciales, por lo que se acerca más a las medidas de un ladrillo convencional, teniendo las siguientes dimensiones promedio:
  - Largo: 23.11 cm
  - Ancho: 12.36 cm
  - Altura: 9.79 cm
  - Densidad: 404.71 kg/m<sup>3</sup>
5. A raíz de los ensayos practicados para ambos diseños de mezclas, se concluyó pueden usarse para fines de tabiquería no estructural, especialmente los ladrillos de cemento –

papel – agua, que obtiene resultados más favorables porque tiene menor variación de dimensiones, tiene un alabeo dentro del rango, absorben menos porcentaje de agua y obtuvieron mejores resultados en la condición de resistencia, aquellos resultados lo mostramos a continuación:

- Variación Dimensional:
  - Largo: 0.47%
  - Ancho: 4.96%
  - Altura: 2.08%
- Alabeo: 5.4 mm
- Absorción: 279.1%
- Compresión: 1000 Kgf
  - Acortamiento ( $\delta$ ): 0.52cm
  - Esfuerzo ( $\sigma$ ): 0.24 kg/cm<sup>2</sup>
  - Esfuerzo permisible ( $[\sigma]$ ): 3.34 kg/cm<sup>2</sup>
  - Módulo de elasticidad (E): 64.32 kg/cm<sup>2</sup>
  - Deformación por compresión ( $\epsilon$ ): -0.05

6. Nuestro eco ladrillo optimo, tiene un diseño de mezclas de: cemento – papel – agua con una dosificación en peso de 1 : 3 : 1.5, con un peso promedio de 1093.79 gr.; no registrando fisuras por secado y es resistente a las caídas, no quebrándose ni dañándose, en un posible proceso constructivo que se pueda dar y esto generaría una ventaja reduciendo los desperdicios frente a los ladrillos de arcilla convencional.



*Figura 59. Ecoladrillo a punto de ser sometido a una caída de 0.50 m aproximadamente*

FUENTE: Propia



*Figura 60. Caída del ecoladrillo sin registro de daños*

FUENTE: Propia

Ambos diseños de mezclas se encuentran calificados para usarse en tabiquería no estructural, pero la más adecuada es la compuesta por cemento – papel – agua .

## RECOMENDACIONES

1. Es muy importante tener el equipo moldeador en buenas condiciones, es decir, no debe presentar defectos de soldadura, las dimensiones deben ser exactas, las uniones entre las 3 piezas deben ser precisa; de lo contrario el ecoladrillo no tendrá lados rectos y variarían mucho sus dimensiones.
2. A la hora de retirar manualmente el ecoladrillo de la prensadora de papel, tener cuidado en no variar sus dimensiones al hacer fuerza para sacarlo. De lo contrario se aconseja buscar y/o encontrar un equipo que facilite la salida del ladrillo, como por ejemplo la CIVA RAM, en donde el ladrillo se desmolda accionando la palanca en sentido contrario y trayendo a la superficie el ladrillo, sin variar sus dimensiones iniciales.
3. No deben ser usados papeles de color, ni deben de contener cintas adhesivas, plásticos, objetos metálicos como grapas, clips, etc., y tampoco deben tener pos-it. Sólo deben ser hojas blancas con escritos como impresiones, planos y hojas de cuadernos usados.
4. Es importante que la extracción del papel reciclado se haga en lugares autorizados o de lugares de buena procedencia, pero no de basurales, donde el papel se encuentre mezclado con residuos orgánicos.
5. Luego de extraer el ladrillo prensado, es primordial dejarlo secar en un lugar donde no sea removido a cada momento para así evitar alterar su geometría y por ende sus medidas.
6. Encontrar un material que impermeabilice el ecoladrillo, para que no obtenga un porcentaje de absorción de más del 100%.
7. Los ensayos deben ser realizados en laboratorios equipados con instrumentos y maquinas adecuadas y calibradas, para obtener datos más confiables y verídicos.

8. Efectuar un análisis de costos, analizando en que medida los ladrillos a base de papel reciclado son más económicos que los ladrillos convencionales de arcilla.
9. Se recomienda para la línea de investigación de estructuras y materiales realizar ensayos respectivos a pilas y muretes, para obtener mayor número de datos y verificar más propiedades.
10. También se recomienda para la línea de investigación de estructuras, verificar las fuerzas perpendiculares de los sismos mediante un ensayo de resistencia por acciones perpendiculares al plano.

## REFERENCIAS

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, y SENCICO. (2006). Reglamento Nacional de Construcciones. Norma E.070 “Albañilería”.
- Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI. (2005). Unidades de Albañilería - Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería. Norma Técnica Peruana 399.613.
- Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI. (2003). Unidades de Arcilla. Ladrillos de Arcilla usados en Albañilería. Requisitos. Norma Técnica Peruana 331.017.
- VILLARREAL, G. (2010). “Resistencia de Materiales”.
- MÉNDEZ, A. (2013). “Residuos Sólidos en el Perú”.
- TESCHKE, K y DEMERS, P. (2010). “Industria del papel y de la pasta de papel”. Tomo 3, capítulo 72.
- Los Residuos Domésticos (4 de Marzo del 2013). Encontrado en el siguiente enlace: <https://carlinadelamota.wordpress.com/2013/03/04/losresiduosdomesticos/>
- Castillo, C. (2015). “Modificación de las propiedades de matrices cementantes mediante la adición de nanopartículas de sílice”
- Bartolomé, A. (1994). “Construcciones de Albañilería”.
- ABANTO, P y AKARLEY, L. (2014). “Características físicas y mecánicas de unidades de albañilería ecológicas fabricadas con suelo – cemento en la ciudad de Trujillo”.
- HUAYAMA, G. (2016). “Informe de Prácticas Pre profesionales”.