



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN  
FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO Y ARTE

CARRERA DE ARQUITECTURA

**LADRILLOS Y PANELES DE RESIDUOS DE PAPEL  
COMO MATERIAL ALTERNATIVO PARA LA  
CONSTRUCCION**

GRADO PRETENDIDO: ARQUITECTOS

**AUTORES: EMILIO ADRIAN ABENTE FLEITAS  
GIOVANNI CRUZANS ARCE**

SAN LORENZO-PARAGUAY  
MARZO - 2021



## **UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN CARRERA DE ARQUITECTURA**

### **APROBACIÓN DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN, PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ARQUITECTO**

**TEMA:** Materiales Alternativos

**TÍTULO:**

Ladrillos y paneles de residuos de papel como material alternativo para la construcción.

**NOMBRE DEL POSTULANTE:** Emilio Adrián Abente Fleitas

CALIFICACIÓN

FECHA

..... /...../.....

#### **TRIBUNAL EXAMINADOR**

1. ....

2. ....

3. ....



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN  
CARRERA DE ARQUITECTURA**

**APROBACIÓN DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN,  
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ARQUITECTO**

**TEMA:** Materiales Alternativos

**TÍTULO:** Ladrillos y paneles de residuos de papel como material alternativo para la construcción.

**NOMBRE DEL POSTULANTE:** Giovanni Cruzans Arce

CALIFICACIÓN

FECHA

..... /...../.....

**TRIBUNAL EXAMINADOR**

1. ....

2. ....

3. ....



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN  
FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO Y ARTE**

**ÁREA:** INSTITUTO DE TECNOLOGÍA Y HÁBITAT

**TÍTULO:** LADRILLOS Y PANELES DE RESIDUOS DE PAPEL COMO MATERIAL ALTERNATIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN.

**GRADO PRETENDIDO:** ARQUITECTOS

**AUTORES**

**EMILIO ADRIAN ABENTE FLEITAS  
GIOVANNI CRUZANS ARCE**

**TUTOR**

**PROF. ARQ. ENRIQUE BONZI**

**San Lorenzo  
MARZO - 2021**

En agradecimiento a mi madre, quien con amor y dedicación me transmitió los valores necesarios para afrontar cada objetivo desde que tengo conciencia, quien a pesar de la distancia nunca dejó de estar presente en cada momento, aunque pareciera ser muy difícil.

En agradecimiento a los profesores que fueron parte de mi formación académica.

En agradecimiento a Fátima, por ayudarme a crecer como persona y lograr despertar en mí, la búsqueda de grandes objetivos día a día

En agradecimiento a mis amigos, que en su mayoría me tomaron como un miembro más de cada familia.

Emilio

En agradecimiento a mis padres, mi hermana, amigos, profesores y Mila que formaron parte de mi vida en este largo proceso.

Muchas gracias!!

Giovanni



Dedicado a las personas de escasos recursos que pueden utilizar esta investigación para la elaboración propia de sus materiales de construcción, así como a los profesionales con el mismo fin



## ABSTRACT

El papel es una materia prima de gran utilidad con diversos usos y breve vida útil. De esta forma se plantea el objetivo general de determinar la factibilidad de aplicación de la mezcla de residuos de papel y el agregado ideal para la elaboración tanto de ladrillos y como de paneles para ser utilizados como materiales alternativos en la construcción. Habiendo alcanzado todos los objetivos propuestos se determina la disponibilidad y acceso al papel en desuso como materia prima a través de las empresas de acopio y comercializan, los recicladores que lo recogen casa por casa, en los vertederos o en las empresas, así como en los centros de acopio. Posteriormente se establece la dosificación adecuada para la conformación de probetas de 3 tipos de ladrillos y 3 tipos de paneles con sus respectivos ensayos. Siendo la mejor opción ladrillos de papel y cemento con dosificación 1:6 y paneles de papel y yeso con dosificación 1:10 para su uso como material alternativo en la construcción. Los experimentos realizados permiten afirmar que tanto el ladrillo y el panel funcionan como cerramiento de interiores, por lo que puede ser una solución rápida y fácil desmonte con óptimas cualidades termo acústicas. En cuanto a su aplicación como sistema constructivo convencional no requiere mano de obra de alta capacidad técnica. Tanto el ladrillo como el panel tienen un peso inferior al de su equivalente (ladrillo común y paneles de Durlock), lo que asegura un transporte más económico del depósito al punto de acopio, reduciendo así la cantidad de viajes necesarios para el traslado. Cada unidad de ladrillo de papel tiene un valor de 492Gs. y un panel de papel de 10.056 Gs. por unidad con un ahorro de 17,7% y 53,4% respectivamente, equiparando las resistencias mecánicas de un ladrillo común tipo C con mejor impermeabilidad, manteniendo las dimensiones de un ladrillo estándar. Paneles de papel y yeso con mayor capacidad portante de dimensiones 40cm x 40cm. De esta forma se concluye que es factible el uso de ladrillos de papel y cemento tanto como los paneles de papel con yeso; generando una conciencia ecológica, nuevas fuentes de trabajo, menor impacto ambiental y mayor impacto social.



## INDICE

<b>ABSTRACT .....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE CUADROS .....</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE ILUSTRACIONES .....</b>	<b>XI</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
Problemática. ....	1
Antecedentes .....	3
Justificación.....	4
Objetivo general .....	4
Objetivos específicos .....	4
Metodología.....	5
Aplicabilidad .....	5
<b>CAPITULO I: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
1.1. Materiales alternativos para la construcción .....	6
1.1.1. Materiales Naturales.....	6
1.1.2. Materiales Reciclados.....	7
1.1.3. Materiales alternativos más utilizados.....	7
1.1.4. Materiales reutilizables como alternativa para la construcción .....	9
1.2. El papel como material alternativo y reutilizable .....	11
1.2.1. Características del papel como material seleccionado para la investigación .....	11
1.2.2. Aplicaciones del papel en la construcción .....	11
1.3. Diversas Aplicaciones de Paneles Reciclados con papel o similares 12	
1.3.1. Paneles en láminas de papel periódico reciclado y polimetilmetacrilato con núcleo de poliuretano.....	13
1.3.2. Paneles y tablonos de celulosa reciclada.....	14
1.3.3. Construcción sostenible a partir de paneles prefabricados utilizando yeso y celulosa reciclada.....	15
1.4. Diversas Aplicaciones de ladrillos Reciclados con papel o similares. 16	
1.4.1. Uso de lodo de papel y arena silíceas para la fabricación de ladrillos y tabla roca .....	17
1.4.2. Fabricación de ladrillos ecológicos para la construcción utilizando poliestireno expandido granular Biowall .....	18
1.4.3. Evaluación de las propiedades mecánicas del ladrillo ecológico prensado manualmente de arcilla y arcilla/plástico en albañilería confinada .....	19
<b>CAPITULO II: DISPONIBILIDAD DE MATERIA PRIMA PARA LA PREPARACIÓN DEL MATERIAL.....</b>	<b>20</b>
2.1. Disponibilidad general del papel como desecho en el Paraguay.....	20
2.2. Propuesta de gestión del uso del papel reciclado.....	21



<b>CAPÍTULO III: DOSIFICACIÓN ADECUADA PARA LA CONFORMACIÓN DE PROBETAS DE LADRILLOS Y PANELES .....</b>	<b>23</b>
3.1 Métodos de elaboración de los ladrillos .....	23
3.1.1 Ladrillos de papel 100% .....	24
3.1.2 Ladrillos con cola vinílica .....	31
3.1.3 Ladrillos con cemento .....	37
3.1.4. Comparación de resultados vs. ladrillo común .....	43
3.2 Método de elaboración de Paneles de Papel.....	44
3.2.1 Panel 100% de papel .....	45
3.2.2 Panel de Papel con cola vinílica .....	51
3.2.3 Panel de papel con yeso .....	57
3.3. Cuadro comparativo de ventajas y desventajas de los paneles de papel y yeso con las placas de Durlock® .....	63
<b>CAPÍTULO IV: COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES DE PRUEBA ANTE LAS SOLICITACIONES A LAS QUE ESTARÍAN EXPUESTOS AL USARSE COMO LADRILLOS O PANELES .....</b>	<b>65</b>
4.1. Comportamiento del ladrillo papel.....	65
4.2. Comportamiento del panel de papel .....	68
<b>CAPÍTULO V: DETERMINAR EL COSTO DE LOS MATERIALES ELABORADOS .....</b>	<b>71</b>
5.1. Análisis comparativo de la tecnología propuesta para ladrillos con el ladrillo común .....	71
5.1.1. Costo de elaboración de 1 muro de ladrillo común .....	71
5.1.2. Costo de elaboración de 1 Ladrillo de Papel y cemento .....	72
5.1.3. Costo de la pared producida con el ladrillo de papel y cemento .....	72
5.2. Análisis comparativo de la tecnología propuesta para paneles con otras tecnologías en el mercado .....	73
5.2.1. Costo de un tabique de construido con Durlock © .....	73
5.1.2. Costo de elaboración de 1 panel de papel y yeso.....	73
5.2.3. Costo de un tabique de panel de papel y yeso .....	74
<b>CAPÍTULO VI: DEFINIR DIMENSIONES Y POSIBILIDADES DE USO DE LOS LADRILLOS Y PANELES DE RESIDUOS DE PAPEL COMO MATERIAL ALTERNATIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN. ....</b>	<b>75</b>
<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>77</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>80</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>83</b>
A - Informes.....	83
B - Norma Paraguaya N° 17 027 77.....	85
C - Informe de resultados de la Experimentación .....	90



## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: Materiales alternativos más utilizados .....	8
Cuadro 2: Materiales reutilizables como alternativa para la construcción....	10
Cuadro 3: Enero 2019 a diciembre 2019.....	21
Cuadro 4: Comparativo entre ladrillos papel y cemento húmeda y ladrillos comunes.....	43
Cuadro 5: Comparativo entre paneles papel y yeso y placas de Durlock®..	64
Cuadro 6: Pared de ladrillos comunes, de espesor 0.15 con mano de obra	72
Cuadro 7: Análisis de costo por m2 de Ladrillo de Papel y cemento .....	72
Cuadro 8: Pared de ladrillos de papel y cemento, de espesor 0.15 con mano de obra .....	73
Cuadro 9: Costo de un tabique construido con Durlock®.....	73
Cuadro 10: Análisis de costo por m2 de Panel de Papel y yeso .....	74
Cuadro 11: Módulo de pared, construido con Paneles de residuo de papel y yeso.....	74



## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Paneles en láminas de papel periódico reciclado y polimetilmetacrilato con núcleo de poliuretano .....	14
Ilustración 2: Paneles y tablonos de celulosa reciclada .....	15
Ilustración 3: Construcción sostenible a partir de paneles prefabricados utilizando yeso y celulosa reciclada .....	16
Ilustración 4: Uso de lodo de papel y arena silíceas para la fabricación de ladrillos y tabla roca .....	17
Ilustración 5: Fabricación de ladrillos ecológicos para la construcción utilizando poliestireno expandido granular Biowall .....	18
Ilustración 6: Evaluación de las propiedades mecánicas del ladrillo ecológico prensado manualmente de arcilla y arcilla/plástico en albañilería confinada.....	19
Ilustración 7: Esquema de gestión.....	22
Ilustración 8: Tipos de ladrillos establecidos .....	23
Ilustración 9: Pruebas para ladrillos.....	24
Ilustración 10: Herramientas necesarias.....	24
Ilustración 11: Proceso de elaboración de ladrillos 100% de papel .....	27
Ilustración 12: Tipos de fracturas.....	29
Ilustración 13: Proceso de elaboración de ladrillos con cola vinílica .....	33
Ilustración 14: Tipos de fracturas.....	35
Ilustración 15: Proceso de elaboración de ladrillos con cemento .....	39
Ilustración 16: Tipos de fracturas.....	41
Ilustración 17: Tipos de paneles establecidos .....	44
Ilustración 18: Prueba para Paneles.....	45
Ilustración 19: Herramientas .....	45
Ilustración 20: Proceso de elaboración de paneles 100% de papel .....	48
Ilustración 21: Proceso de elaboración de paneles con cola vinílica.....	54



Ilustración 22: Proceso de elaboración de paneles con yeso.....	60
Ilustración 23: Trabados de ladrillo.....	65
Ilustración 24: Proceso de construcción del muro.....	67
Ilustración 25: Detalle constructivo.....	68
Ilustración 26: Construcción del tabique de panel de yeso con estructura de aluminio.....	69
Ilustración 27: Sistema de uso de panel.....	70
Ilustración 28: Medida de ladrillo de papel y cemento.....	75
Ilustración 29: Medida de Panel de papel y yeso.....	76



## INTRODUCCIÓN

### **Problemática.**

El problema actual de la gran expansión de la población a nivel global genera una cantidad desmesurada cantidad de residuos de todo tipo, proveniente de los productos que consumen los seres humanos.

Todos estos residuos van a parar a vertederos, y en algunos casos son clasificados para ser ubicados nuevamente en rellenos sanitarios o en empresas que se encargan de su reciclado y/o reutilización del mismo.

Debido a la evolución prácticamente globalizada y a la insatisfacción de las necesidades, cada vez existen más tipos de residuos y mayor cantidad de desperdicios. Muchos de estos desperdicios pueden ser muy perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana. Debido a esto los gobiernos y las Organizaciones no Gubernamentales (ONG) han iniciado fuertes campañas a favor del reciclaje y la reutilización de los desechos útiles en casi todos los países del mundo, y aún más en los países más desarrollados.

El Paraguay no se encuentra exento de esto, ya que cada vez existen más organizaciones y personas independientes que se encargan de la recolección, clasificación y reutilización de los desechos.

El Ing. Jorge Abbate director ejecutivo de la (GEAM) GESTIÓN AMBIENTAL - PROCICLA, desarrollo un Programa de Segregación de Residuos Reciclables y Recolección Selectiva de los mismos, con destino al Reciclaje de las materias primas contenidas en los productos desechados por las Empresas Privadas e instituciones Públicas.

Los materiales reciclables son retirados por PROCICLA, de un contenedor dispuesto por las empresas privadas e instituciones publica en sus instalaciones.

A lo largo de la historia el papel juega un rol crucial en el registro de hechos, estudios y transmisión de cultura en general, para su fabricación se emplea madera como materia prima, el cual pasa por un proceso químico en



donde se emplea grandes cantidades de agua y energía para poder producir la pasta de papel.

El problema principal de la obtención de la materia prima es el hecho de la gran deforestación que conlleva la extracción de la madera, las talas masivas de los bosques que producen un gran impacto en el medio ambiente y en los beneficios que proporciona el mismo, ya que la fuente principal para la renovación del oxígeno son los mismos organismos fotosintéticos que evitan la erosión y constituyen el hábitat de muchas especies.

Los árboles pasan por un proceso donde la corteza es extraída para la obtención de la fibra, para la digestión y elaboración de la pasta. La pasta posee un compuesto llamado lignina, que es un polímero aromático muy difícil de degradar. Para ello, la pasta es sometida a un proceso químico, donde la lignina es eliminada casi por completo para la obtención de la celulosa, cuanto más lignina sea eliminada de la pasta, el resultado será de mayor calidad, con mucha fibra, muy blanca y de mayor resistencia.

El proceso de reciclaje se inicia con el acopio de papel, ya sea por empresas dedicadas al reciclaje, recicladores que se encargan de vender los desechos de papel o bien cada persona en sus residencias para posterior reutilización y/o ser destinados a centros de acopio de papel para reciclaje. Los centros de acopio o las empresas dedicadas al reciclaje se encargan de compactar el papel en paquetes y atarlos con cintas adhesivas o con hilos de yute, para su posterior proceso a ser reutilizado como nuevos artículos de papel.

Para poder reutilizar el papel se utilizan disolventes químicos que separan la fibra, para luego pasar por un proceso de centrifugado. Posteriormente la fibra decanta y se elimina el sedimento flotante que contiene tinta, burbujas y otras impurezas. Luego se lava para poder eliminar todas las partículas que puedan quedar y lo blanquean, pasando por otro proceso químico con peróxido de hidrógeno y/o lejía, que es tóxico y daña la capa de ozono.

Es justamente aquí donde aparece la necesidad de generar las alternativas ecológicas en la construcción. Como en la mayoría de las



industrias estas opciones avanzan mucho más lento que otros campos como la tecnología, debido a intereses económicos de gran demanda.

El objetivo de la investigación es contribuir a la industria de la construcción con un material poco utilizado en esta área, que pueda cumplir con las necesidades del ser humano, mejorando el material para la utilización específica dependiendo de la necesidad que así lo requiera la situación.

La elaboración de la unidad de mampuesto y paneles ecológicos 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.

### **Antecedentes**

Aquino Brítez (2011). El Reciclaje como alternativa tecnológica en la construcción. Ladrillo elaborado con cemento y plástico reciclado. El investigador concluye que los ladrillos elaborados con cemento y plástico reciclado constituyen una tecnología apropiada aplicable a nuestro medio proveniente de un manejo sostenible de los residuos plásticos, de fácil fabricación en nuestro país, al prescindir de grandes infraestructuras y cuyas características técnicas, ecológicas sociales y económicas lo convierten en un material admirable y se considera conveniente su aplicación al campo de la construcción, enmarcado en un contexto de sostenibilidad medio ambiental y responsabilidad profesional, para con la naturaleza y la sociedad.

Prujel Delgado (2018). Propuestas de piezas prefabricadas con bagazo de caña de azúcar, arena y cemento portland, como material alternativo para la construcción. El investigador concluye haber aprovechado la existencia de residuos naturales en el Paraguay, proveniente del sector agrícola, en este caso del bagazo de caña de azúcar con elevada producción anual y considerado como residuo industrial; con lo que se podrían realizar piezas prefabricadas que pueden tener una utilidad en la fabricación de materiales alternativos para la construcción.

Fernández y Schaerer (2018). Estudio de la mejor implementación rurales y urbanas, de los sistemas y materiales industrializados y pre industrializados, habilitados y utilizados por la SENAVITAT. El ser humano posee la necesidad de llevar una vivienda digna, para ello necesita de una



vivienda. Utilizar materiales prefabricados e industrializados son de gran ventaja dependiendo del medio a ser aplicados, por cuestiones de poca accesibilidad y disponibilidad. Materiales como isopaneles, termopaneles y hormigón celular por las ventajas que estos poseen por sus características térmicas, acústicas, impermeables y por su gran ahorro energético. Por lo tanto, en base a la ubicación de la vivienda se recomienda usar termopaneles en zonas rurales por sus características físicas, culturales ambientales y el desempeño del material y hormigón celular en áreas urbanas por su resistencia y capacidad de construcción en altura

### **Justificación**

Al ser un material de fácil acceso el cual genera muchos residuos, el papel resulta conveniente como materia prima para la fabricación de materiales alternativos a la construcción. Esto generaría una fuente de ingresos para los recicladores y otras personas de la zona a aplicar dicha investigación, ya que supondrá una mayor demanda del residuo de papel y a la par una salida laboral segura para personas que tengan relación con el rubro del reciclaje que también reduce el impacto ambiental del deshecho.

Las propiedades que podrían resultar en la creación materiales alternativos para la construcción utilizando residuos de papel, pueden ser desde una buena aislación térmica, como así también acústica, hasta un práctico y sencillo sistema constructivo, lo que permitirá una rápida fabricación del mismo

### **Objetivo general**

Determinar la factibilidad de aplicación de la mezcla de residuos de papel y el agregado ideal para la elaboración tanto de ladrillos y como de paneles para ser utilizados como materiales alternativos en la construcción.

### **Objetivos específicos**

Determinar la disponibilidad de materia prima para la preparación del material.



Establecer la dosificación adecuada para la conformación de probetas de ladrillos y paneles

Examinar el comportamiento de los materiales de prueba ante las sollicitaciones a las que estarían expuestos al usarse como ladrillos o paneles

Determinar el costo de los materiales elaborados

Definir dimensiones y posibilidades de uso de los ladrillos y paneles de residuos de papel como material alternativo para la construcción.

### **Metodología**

Para lograr los objetivos dichos anteriormente se propone el siguiente plan de acción:

Se recopilan datos sobre proveedores de papel usado para la elaboración de la materia prima.

Determinar la factibilidad de aplicación técnica de los modelos ideales mediante pruebas laboratoriales

Comparar costos de materiales convencionales y los modelos alternativos en base de papel y aglomerante

Recopilar información referente a antecedentes en el uso de residuo de papel como material alternativo en la fabricación de ladrillos y paneles.

Realizar pruebas laboratoriales en los prototipos ideados (ladrillos y paneles)

Diseñar 2 variedades de materiales alternativos considerando su frecuencia y/o relevancia en la construcción.

### **Aplicabilidad**

Aplicable a cualquier tipo de cerramiento vertical u horizontal interior, ya sea en viviendas u otros programas.

## CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

### 1.1. Materiales alternativos para la construcción

Los materiales alternativos son aquellos materiales no convencionales que se utilizan en la construcción. Materiales donde se utilizan nuevas técnicas de creación del material mismo y/o nuevas metodologías de aplicación (Álvarez Juan Carlos, 2012).

Todo esto comenzó con la búsqueda del ser humano de poder modificar su entorno para poder crear un lugar habitable y confortable. Crear el resguardo ante las adversidades de la naturaleza

En un principio para poder crear este hábitat funcional y confortable se utilizaron materiales que se obtenían directamente de la naturaleza, como piedra, plantas, huesos, tierra y madera. Estos materiales fueron evolucionando hasta llegar a la época industrial la cual permitió la creación de nuevos materiales y transformar los que ya existían, como por ejemplo el hormigón, el acero, el vidrio y los plásticos

Todo este gran avance trajo consigo un gran impacto en el planeta tierra y el medio ambiente. De acá nace la conciencia del humano de buscar otros caminos, otros métodos menos perjudiciales para el mundo que satisfagan las necesidades de la generación actual sin afectar el futuro de las próximas generaciones (Calvo Salazar Manuel, 2009)

Este concepto evoluciono hasta la creación de lo que hoy llamamos Arquitectura sustentable y de esta a su vez la arquitectura alternativa, que incluye la sustentabilidad, así como el reciclaje y el regreso al uso de materiales básicos y naturales. Un material alternativo tiene como objetivo principal reducir los costos de producción y aprovechar la materia prima para su desarrollo, ya sea su origen natural o reciclado

#### 1.1.1. Materiales Naturales

Los materiales naturales utilizados en la antigüedad han reaparecido en la actualidad como una opción alternativa para la construcción, siendo los



principales los materiales vegetales (bambú, paja, bagazo, cazcara de arroz, etc.) la tierra, la madera y la piedra <sup>1</sup>

### **1.1.2. Materiales Reciclados**

Los materiales reciclables son aquellos que pueden ser reutilizados tras su uso principal, ya sea en su forma más pura o tras pasar por un proceso para convertirlo en un material elaborado. La necesidad de darle uso a los restos de procesos ha llevado a la utilización de desechos como vidrio, plástico, papel, latas, cenizas, tubos, etc <sup>2</sup>

### **1.1.3. Materiales alternativos más utilizados**

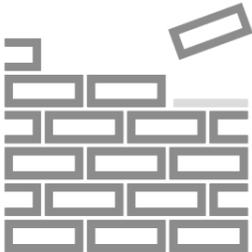
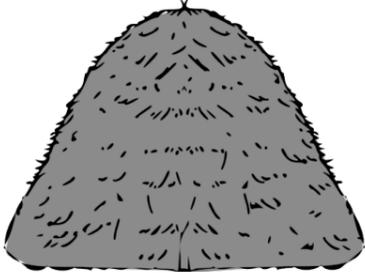
Al realizar la revisión bibliográfica de temas relacionados al presente trabajo de investigación se encontró algún antecedente sobre el uso de los residuos de una industria papelera aplicado en la construcción de viviendas más livianas o divisiones en las casas. Además, Científicos de la Universidad de Jaén, han publicado en la revista Fuel Processing Technology un estudio en el que se está explorando la posibilidad de reciclar el material de desecho de las fábricas de papel para la producción de ladrillos. Los científicos de Jaén opinan que se pueden lograr utilizar la celulosa como material alternativo, obteniendo mejores resultados o similares en lo que a calidad se refiere. Según el equipo científico se logra ahorro económico y energético, ya que el residuo aporta un calor añadido cuando se introduce en el horno. Así mismo hay casos de ladrillos de residuos de papel en Argentina, Bolivia, que nos sirve como referencia y punto de partida para establecer comparaciones de los resultados obtenidos, y poder documentar propiedades físicas y mecánicas de la celulosa con distintos aglomerantes para la aplicación en paredes y revestimientos en espacios interiores. (Cama Vargas Efrain Vicente, 2016) Hoy en día ya existen materiales que debido a su capacidad de fácil producción, gran rendimiento y fácil acceso son bastante comunes y muy utilizados, materiales como el adobe, la paja y el bambú. (Delaflor Manuel,)

---

<sup>1</sup> <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc>

<sup>2</sup> (<https://www.energyavm.es/que-son-los-materiales-reciclables/>)

**Cuadro 1: Materiales alternativos más utilizados**

Material	Adobe:	Paja:	Bambú:
<b>Definición</b>	. La utilización del adobe representa una alternativa viable para resolver el problema de la falta de vivienda, a través de la propuesta de una casa autoconstruible de bajo costo. Sin embargo,	La paja se puede utilizar como cerramiento superior (techo de paja), tabiques de paja con barro, sistemas mixtos mezclados con materiales convencionales, enfoscado con estructuras múltiples y los fardos de paja utilizados como paredes maestras	Es un material muy versátil utilizado desde la antigüedad. Sus aplicaciones van desde simples cerramientos y en algunos casos mezclados con barro (estaqueo), o estructurales. Su disponibilidad depende del lugar ya que existen lugares donde el bambú es muy accesible, pero demanda una mano de obra capacitada para el montaje
<b>Origen</b>	El adobe como material de construcción para uso habitacional ha sido utilizado por miles de años por los pueblos indígenas de América, tanto en el suroeste de los Estados Unidos como en Mesoamérica y la región andina en Sudamérica. Actualmente el 50 por ciento de las casas del mundo están construidas con este material	Es uno de los métodos más antiguos de construcción. Las casas de fardo de paja fueron muy comunes al principio del siglo XX por ser un material de fácil acceso, económico, excelente capacidades térmicas y acústicas, ecológico y energéticamente óptimo.	El bambú se registró por primera vez en uso hace unos 5.000 años en la antigua China, donde a menudo se utiliza para construir casas en los árboles. Se remonta a la dinastía Han en el año 206 a 221 AC, el bambú se utilizaba para hacer papel y libros, mientras que el avance rápido de la dinastía Ming (1386-1644), fue utilizado para la ropa de cama y el suelo. El bambú ha sido objeto de un uso en una variedad de formas, e incluso tiene un poco de sentido práctico en la medicina china y la cocina.
<b>Propiedades</b>	Los ladrillos de adobe tienen propiedades similares a otras formas de construcción de tierra : resistentes al fuego, flexibles, duraderos , proporcionan suficiente masa térmica para garantizar una buena eficiencia energética y un buen aislamiento acústico .	La paja en condiciones de estado estacionario es un aislante excepcional en el contexto de los materiales aislantes que normalmente se consideran al diseñar la envolvente de un edificio. Como así también reduce los cambios de temperatura debidos al calentamiento diurno y al enfriamiento nocturno, absorbiendo y luego liberando gradualmente el calor. Esto puede resultar en una reducción directa en la necesidad de combustible o electricidad para regular la temperatura, e indirectamente en ahorros a través de ajustes en el estilo de vida: los ocupantes de un ambiente moderado, con solo cambios graduales de temperatura, tienen menos probabilidades de usar calefacción y refrigeración artificial. Esto se logra más fácilmente en altitudes elevadas del desierto donde un cielo despejado contribuye tanto a los días cálidos (ganancia solar) como a las noches frescas (enfriamiento nocturno), pero el principio también funciona en otros climas.	Posee una dureza similar a la del roble, algunas especies tienen una resistencia aún mayor. Suele crecer creando auténticos bosques.
<b>Características</b>	En su proceso de producción, así como la naturaleza de la arcilla, significa que los ladrillos de adobe tienen una resistencia al agua ventajosa. Sin embargo, los edificios que están expuestos a muchas condiciones de humedad deben tener aleros para proteger las paredes. Una limitante para desarrollar tal alternativa consiste en que la mayoría de las técnicas constructivas tradicionales que utilizan materiales obtenidos a partir del suelo son resultado del conocimiento empírico. Dicho conocimiento generalmente es asistemático, varía en cada cultura y región y carece de una terminología interdisciplinaria. Por lo tanto, difícilmente esta opción ofrece, de modo directo, una base tecnológica universalmente válida.	Las paredes gruesas (típicamente de 21 a 26 pulgadas (530 mm) cuando están estucadas / revocadas), dan como resultado ventanas y puertas más profundas, similares a los edificios de piedra y adobe. Dado que las balas son irregulares y se pueden moldear fácilmente, se adaptan fácilmente a diseños curvos y, cuando se enyesan, tienden a tener una textura y una forma relajadas e imperfectas. Si se desean paredes planas y rectas, esto también se puede lograr mediante la aplicación de más yeso.	Existen distintas variedades del bambú cada una de ellas con sus características propias. Entre sus características podemos citar, ligereza, flexibilidad, económico y de gran resistencia.
<b>Ilustración</b>			
<b>Referencias</b>	Gama-Castro, J. E., Cruz y Cruz, T., Pi-Puig, T., Alcalá-Martínez, R., Cabadas-Báez, H., Jasso-Castañeda, C., ... & Vilanova de Allende, R. (2012). Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica. <i>Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana</i> , 64(2), 177-188..	Centro de Desarrollo para Tecnología Apropiada, 1993, Resumen de Pruebas de Fuego a Pequeña Escala ASTM E-119 de Nuevo México en Ensamblajes de Muros de Balas de Paja SHB Laboratorio de Servicios Ambientales e Ingeniería de Agra, Nuevo México, EE. UU.	DFM Directorio Forestal Maderero (2016)

Fuente: Elaboración propia

#### **1.1.4. Materiales reutilizables como alternativa para la construcción**

Esta nueva corriente de materiales de construcción tiene la base en la búsqueda de una arquitectura sustentable mediante la creación de casas sostenibles y ecológicas, que ofrecen habitabilidad y diseño consiguiendo en el proceso un importante ahorro económico, y también el hecho de poder reutilizar materiales que serían desechados sin ningún tratamiento consiguiendo así un resultado final respetuoso con el medio ambiente.

Por ello los materiales que se utilizan mayormente como alternativos a la construcción son primeramente los citados anteriormente y luego vienen los materiales que podemos rescatar de otras construcciones y reutilizarlos en nuevas obras constructivas. Estos serían los bien llamados materiales constructivos reutilizables. Como ejemplo podemos citar; escombros, maderas, aberturas, vidrios, etc.

Los otros materiales reutilizables serían los que en un principio fueron concebidos para otros usos en otros ámbitos y luego fueron insertados en la construcción. Estos materiales reutilizables pueden ser: Botella PET, cartones, papeles, etc.

Otro dato interesante es que se estima que el sector de la construcción genera 1,1 toneladas de residuo al año por habitante (Arrebol arquitectos-2018) y también un humano promedio genera 1,9 kilogramos de basura reciclable al día (German Sturzenegger- 2014). Lo que quiere decir que existen más de 2 toneladas de basura que se puede reutilizar para darle algún uso alternativo en la construcción.

**Cuadro 2: Materiales reutilizables como alternativa para la construcción**

	<b>Botella de PET:</b>	<b>Residuo de Construcción y Demolición:</b>	<b>Cartón:</b>
<b>Definición</b>	La botella de plástico es un material muy utilizado en el empaquetado para la comercialización de líquidos. El ladrillo ecológico es una botella PET envasada sólida con plástico limpio y seco.	Cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga la intención o la obligación de desechar que se genere en una obra de construcción o demolición	Es una lámina gruesa y dura, compuesta de varias capas de papel, de pasta de trapos, de papel viejo u otras materias que, en estado húmedo, se adhieren unas a otras por compresión y después se secan por evaporación.
<b>Origen</b>	La generación y gestión de residuos sólidos urbanos, representa un problema socioambiental. Dado que el consumo es imparable y cada vez mayor se han buscado usos para estos materiales con posibilidad de ser reciclados. Existen dos formas de utilizar el plástico (PET) de las botellas, la primera es rellenar la botella de algún componente que le confiera rigidez a la botella y la segunda es extrayendo la fibra polimérica en forma de cascarilla mezclado con cemento portland y colocado en un molde.	la industria de la construcción, además de ser una de las actividades de mayor impulso económico y desarrollo trae consigo consecuencias inevitables producidas por la presencia de residuos de la construcción y demolición. Y son considerados como un problema ambiental y social para todas las ciudades. Esto se suma a la poca educación y sensibilización de los constructores en cuanto al control de generación y la disposición de residuos en su actividad.	Originalmente no fue concebido como material de construcción, irónicamente muchos de los materiales utilizados para construir vienen empaquetados en cartón. El cartón puede ser un excelente material en determinados tipos de construcciones, debido a su reducido coste y su facilidad de reciclaje. El cartón puede ser utilizado en la construcción de muchas maneras, todas ellas dependen del tipo de forma a ser utilizado.
<b>Característica</b>	Es un producto perteneciente al grupo de los materiales sintéticos, derivado del petróleo. Es un polímero del cual se obtienen fibras. Es un material práctico y bueno para la construcción, reutilizable, procesable por soplado, inyección, extrusión. Puede ser transparente y también brillo con efecto lupa. Pueden ofrecernos las mismas cualidades estéticas y ventajas en cuanto a confort y seguridad.	el tamaño de los escombros es muy heterogéneo y depende del tipo de técnica de demolición utilizada. Pueden tener impurezas como metales vidrios betún, materia orgánica y yeso.	El grosor y el volumen son aspectos significativos en la elaboración del cartón. Están compuestos por 2 o más capas para mejorar la calidad, incluso con capas intermedias. El gramaje, grosor, densidad y el calibre son las características primordiales para poder determinar el comportamiento del cartón.
<b>Propiedades</b>	Poseen gran dureza, comparable con un ladrillo tradicional o incluso mejor. Proveen una aislación térmica cinco veces mayor a los ladrillos convencionales, esto permite construir muros de menor espesor. También poseen buena resistencia al fuego y muy baja propagación de llama. Es esterilizable por gamma y óxido de etileno	Varían notablemente en función de su origen y composición. Es conveniente diferenciar entre los materiales que tienen su origen en la construcción y demolición de edificación y estructuras de los que proceden de capas de firmes. Pueden presentar en su composición una amplia variedad de residuos, en algunos casos incluso peligrosos que pueden contaminar otros valorizables. También pueden ser muy homogéneos con pocos contaminantes.	Proviene de materias primas naturales, biodegradable, se lo puede hacer sostenible mediante su reutilización gracias al reciclado, es considerablemente ligero y resistente al apilado, se puede adaptar a diferentes formas, formatos y tamaños.
			
<b>Referencias</b>	<a href="http://www.unilibre.edu.co/bogota/pdfs/2017/5sim/39D.pdf">ana isaan 2018; http://www.unilibre.edu.co/bogota/pdfs/2017/5sim/39D.pdf</a>	Carrasco Raúl (2018)	Julio Diarte 2019.

Fuente: Elaboración propia



## **1.2. El papel como material alternativo y reutilizable**

Una realidad palpable en el ámbito constructivo en general es que el papel no es propiamente asociado a la construcción. Puesto que es visto como algo blando, de poca dureza, poco duradero y con pocas propiedades para un hogar, edificio, etc.

Los estudios de materiales han avanzado mucho y gracias a distintas técnicas el papel se convirtió en una alternativa no solo viable si no mas bien una muy buena opción para ciertas aplicaciones, dando ventajas que materiales convencionales no proporcionan. Además de presentar esas ventajas, el papel posee la capacidad de ser reutilizado varias veces y de distintas formas. Entre las ventajas podemos citar rápidamente también la propiedad aislante del papel, su gran capacidad acústica y buena maleabilidad.

### **1.2.1. Características del papel como material seleccionado para la investigación**

El papel es un material constituido por una delgada lámina elaborada a partir de pulpa de celulosa, elaborada con una pasta de fibras vegetales molidas suspendidas en agua, generalmente blanqueada, y posteriormente secada y endurecida, a la que normalmente se le añaden sustancias como polipropileno o polietileno con el fin de proporcionarle características especiales. Las fibras que lo componen están aglutinadas mediante enlaces por puente de hidrógeno. (Silvie Turner. "Appendices. A Short History of Papermaking." Which Paper. Ed. Design Press. New York: 1991. 114-116.)

### **1.2.2. Aplicaciones del papel en la construcción**

Al tratarse de un derivado de fibras naturales, es un material que se ha utilizado en numerosas culturas como material de construcción. La producción de la pulpa se deriva de diferentes tipos de fibras como algodón, lino, cáñamo, madera, cereales o arroz, según la abundancia de estas materias en cada lugar. La posibilidad de utilizar diferentes motivos sobre el papel, fue provocando diferentes modas estéticas que reflejaban en parte las tendencias artísticas del momento: desde el arte figurativo al mas abstracto o geométrico de las décadas de 1930 y 1940. Entre 1960 y 1970 se convirtieron de nuevo en una gran solución que permitía revestir la tabiquería interior, ocultando la patologías o errores constructivos. En la actualidad



del papel pintado es una solución muy buena especialmente en arquitectura hospitalaria ya que se les dota, en su fabricación de fibras especiales que los hace hipo alergénicos y antibacterianos, además de ser fácilmente lavables y reemplazables. Popularmente se utilizan bastante como decoración, ya que se han desarrollado muchos tipos: gofrado, vinilizado, texturado, autoadhesivo o con tratamiento resistente al agua<sup>3</sup>.

El papel en la construcción también se aplica como revestimiento del techo. Esto va por debajo de las tejas para agregar una capa de material resistente al agua que atrape el calor. El papel es generalmente fácil de usar en el techo. Como viene en rollos, se puede instalar rápidamente<sup>4</sup>.

El papel de construcción se puede usar en el mismo aspecto debajo de paredes exteriores o revestimiento de vinilo. Cuando se encuentre entre el piso áspero preparándose para colocar el acabado. Cuando se construye un muro de roca o agregando rocas a una estructura existente, se puede colocar el papel entre el estuco y la roca. Se puede usar en espacios de rastreo, actuará como una barrera de vapor, que luego puede cubrir con aislamiento y mantener su espacio de acceso confortable<sup>5</sup>.

En la actualidad, el papel, como material que permite un fácil proceso de reciclaje, ha sido objeto de numerosas investigaciones con respecto a sus posibilidades. La capacidad aislante de la celulosa, la ligereza y precisamente la reciclabilidad, lo convierten en un material excelente para algunas soluciones constructivas.

### 1.3. Diversas Aplicaciones de Paneles Reciclados con papel o similares

El panel de papel reciclado es un material que se monta directamente en el exterior o en el interior de la construcción de la fachada. Cuando la capa de aislamiento térmico se aplica en el exterior, también debe ser resistente al agua para garantizar que las propiedades aislantes no se pierdan debido a la intemperie. Si la capa aislante está en el interior, la capacidad de almacenar calor ya no influye en el entorno interior. (Knauf Marmorit Warm Wall Systems, 2011)

---

<sup>3</sup> <https://tectonica.archi/articles/el-papel-como-material-constructivo-en-arquitectura/>

<sup>4</sup> <https://comohacerpara.org/3-otros-usos-para-papel-de-construccion>

<sup>5</sup> <https://comohacerpara.org/3-otros-usos-para-papel-de-construccion/>



Las fachadas con aislamiento térmico están diseñadas de tal manera que controlan el drenaje del agua desde el espejo de popa hacia el parteluz. En combinación con el sellador mejorado para la construcción de fachadas, se convierten en elementos de construcción ajustados. (Knauf Marmorit Warm Wall Systems, 2011)

### **1.3.1. Paneles en láminas de papel periódico reciclado y polimetilmetacrilato con núcleo de poliuretano**

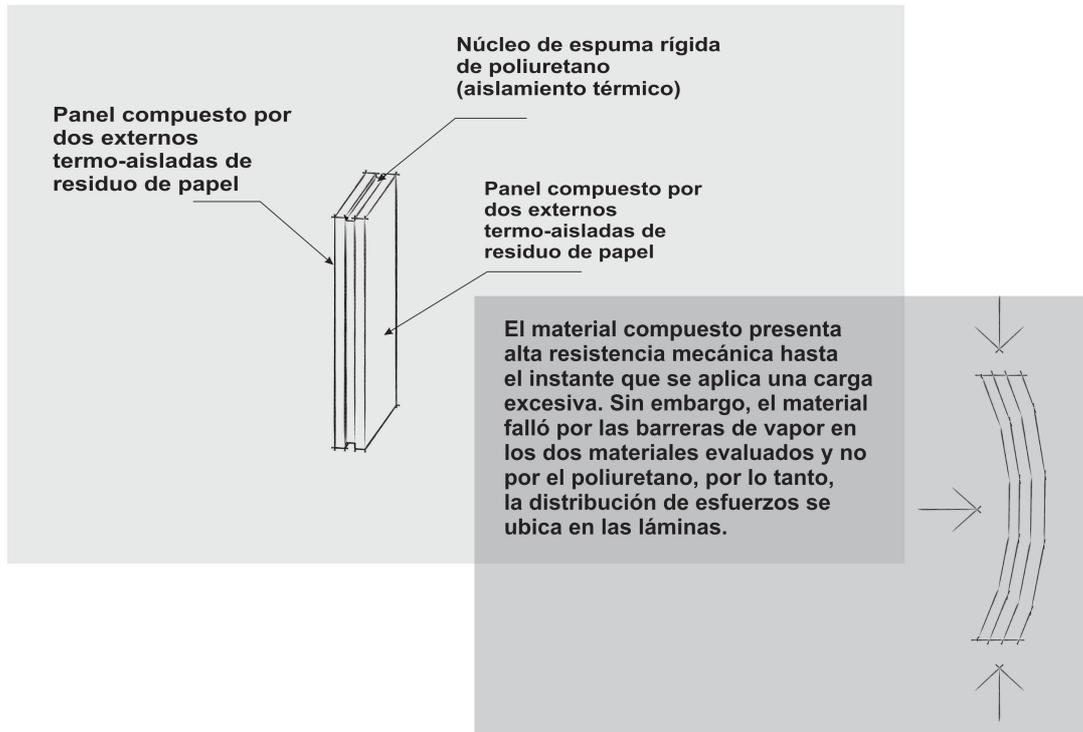
**Autor de la aplicación:** W. BAUTISTA y J. PEÑA.

**Lugar de aplicación de este invento:** Cali - Colombia

**Descripción de la aplicación:** Fue diseñado y caracterizado un panel compuesto por dos externos termo-aisladas (barrera de vapor) unidas por un núcleo de espuma rígida de poliuretano (aislamiento térmico) para formar un montaje estructural con bajo coeficiente de transferencia de calor y de alto rendimiento en sus propiedades mecánicas. El alcance de tales materiales es muy variado, que van desde instalaciones comerciales y básico alojamiento a grande refrigerado almacenes. En este estudio se construyeron paneles con laminados de papel reciclado y acrílico. La caracterización mecánica fue realizada por pruebas de carga soportadas, elásticas módulo, tensión y deformación. Se descubrió que los paneles de poliuretano con hojas de papel tienen menos distorsión que otros paneles, y a su vez su esfuerzo no es diferente de otro material, por lo tanto, tiene una buena elasticidad.

**Aprendizajes:** El material compuesto presenta alta resistencia mecánica hasta el instante que se aplica una carga excesiva. Sin embargo, el material falló por las barreras de vapor en los dos materiales evaluados y no por el poliuretano, por lo tanto, la distribución de esfuerzos se ubica en las láminas; al comparar los dos sistemas se obtiene que la lámina de acrílico genera un 20 % de aumento en el esfuerzo, en comparación con la lámina de papel.

### Ilustración 1: Paneles en láminas de papel periódico reciclado y polimetilmetacrilato con núcleo de poliuretano



Fuente: Elaboración propia

#### 1.3.2. Paneles y tablonos de celulosa reciclada

**Autor de la aplicación:** Instituto tecnológico superior de la Sierra norte de Puebla.

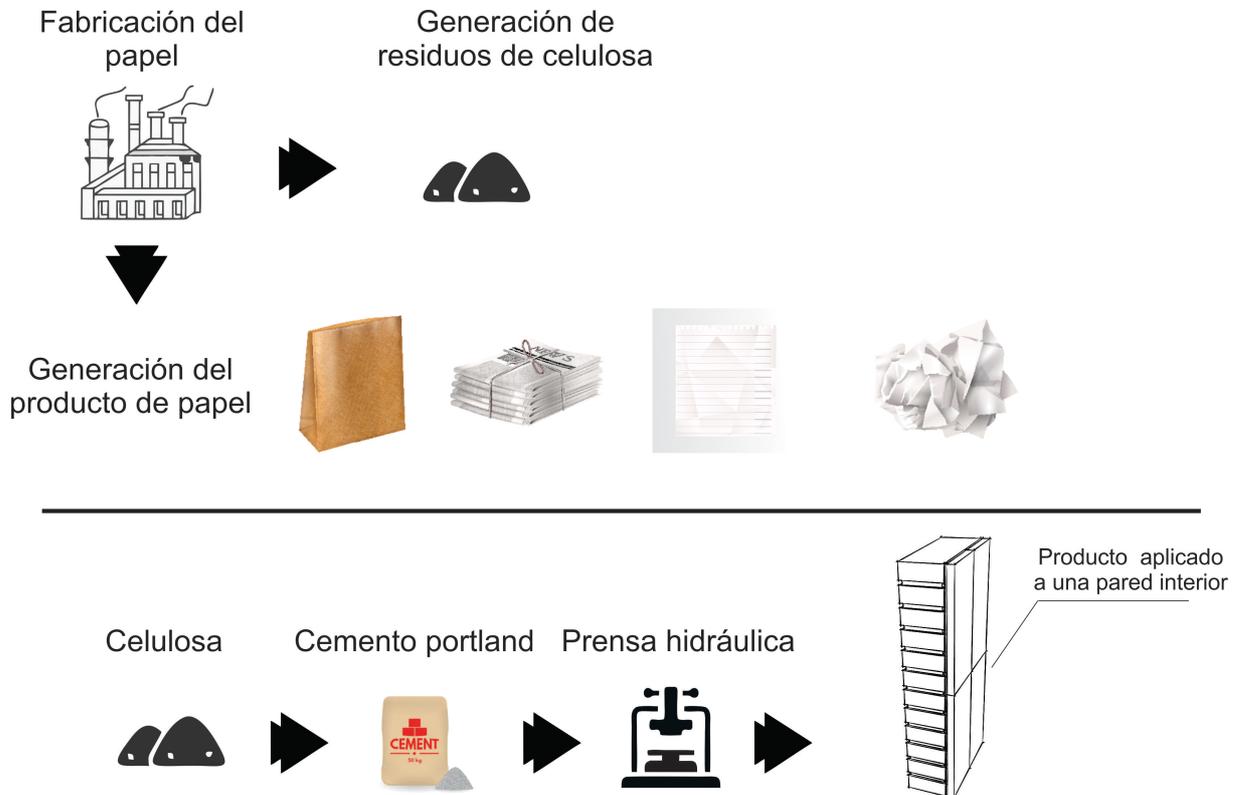
**Lugar de aplicación:** Puebla - México

**Descripción del trabajo:** la fibra de celulosa reciclada, que se produce a partir del desecho de papel, se está empezando a usar de manera habitual en la construcción. Esta se convierte en tablonos o paneles para revestir las paredes de edificaciones en construcción y es una opción sostenible que complementa a los tradicionales paneles de madera. Es un material que proviene del residuo generado por la transformación del papel reciclado en papel tissu (que solamente una fábrica ya genera 30.000 toneladas al año). Para su desarrollo, hay que hidratar el papel triturado y añadir cemento de manera a crear una mezcla homogénea que se vierte en moldes adecuados al tamaño. Para agregar firmeza a la estructura se emplea un refuerzo de malla que además funciona como soporte.

**Aprendizaje:** Se comprobó de la prueba de compresión, que el material alcanzo muy buenos resultados, sin embargo a la flexión su resistencia no es tan buena. A pesar de la naturaleza de la materia base, y de acuerdo con las pruebas

de inflamabilidad, estos muros de papel tienen la capacidad de resistir hasta 230 grados antes de fracturarse o quemarse. En cuanto a su resistencia a la humedad o capilaridad, los paneles son capaces de absorber un 43% de humedad.

### Ilustración 2: Paneles y tablonces de celulosa reciclada



Fuente: Elaboración propia

### 1.3.3. Construcción sostenible a partir de paneles prefabricados utilizando yeso y celulosa reciclada

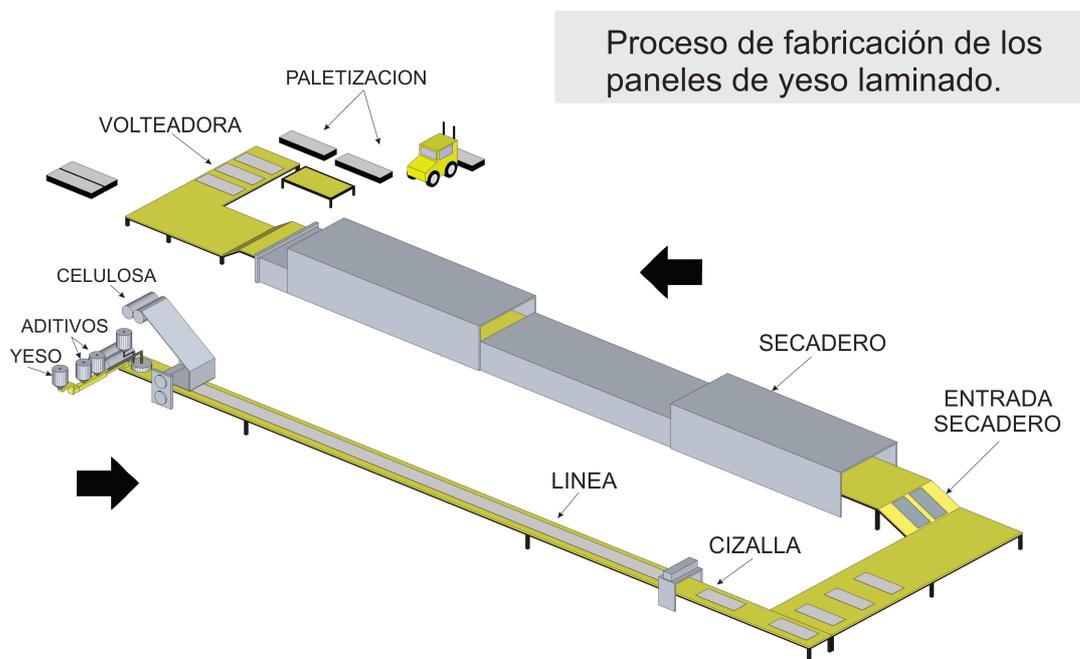
**Autor de la aplicación:** Muñoz Muñoz Diego Rolando; Narváez Pupiales Javier Israel

**Lugar de la aplicación:** Quito- Ecuador

**Descripción del trabajo:** El comportamiento de los paneles prefabricados de yeso con la celulosa reciclada como alternativa para una construcción sostenible. El inicio del trabajo es el reciclaje del papel y el carton, dando como preferencia el papel bond de 75 gramos por su facilidad para el desfibrado para la transformación del papel reciclado en partículas de celulosa de papel el cual se mezcla con yeso y agua y se lo prensa en los moldes de paneles.

**Aprendizaje:** El panel prefabricado tiene un mejor desempeño al esfuerzo a la flexión, compresión, resistencia al fuego y capacidad de absorción. De igual forma tiene un bajo desempeño en su resistencia a la tracción y peso específico.

**Ilustración 3: Construcción sostenible a partir de paneles prefabricados utilizando yeso y celulosa reciclada**



Fuente: Elaboración propia

**1.4. Diversas Aplicaciones de ladrillos Reciclados con papel o similares**

Kokkinos Menelaos (2010) Papercrete es un material desarrollado originalmente hace 70 años y redescubierto recientemente. Está clasificado en la categoría de cementos fibrosos y se compone de papel, agua, cemento y arena. Su uso está limitado a fines experimentales y recreativos, carece de la aprobación del Código Internacional de Construcción (IBC). No se ha establecido una combinación estándar, lo que dificulta aún más los esfuerzos hacia la estandarización.

Cada ingrediente tiene un papel diferente en la mezcla. El papel proviene de una variedad de fuentes y generalmente no tiene costo. El periódico se usa con mayor frecuencia porque produce resultados consistentes. Cuando el papel se mezcla con cemento, crea una capa dura y el producto final es liviano y fuerte. Las fibras también mejoran las propiedades de aislamiento acústico. El cemento Portland es el componente integral de la mezcla. El cemento reduce el tiempo de secado y el efecto de contracción y aumenta la resistencia. Sin embargo, agrega peso a la mezcla y reduce la flexibilidad. El cemento también es un inconveniente para la

caracterización de materiales como verde porque libera mucho CO<sub>2</sub> a la atmósfera. La adición de áridos (arena, tierra o piedra pómez) aumenta el volumen y el contenido mineral. La arena agrega masa térmica. (Kokkinos Menelaos, 2010)

#### 1.4.1. Uso de lodo de papel y arena silíceo para la fabricación de ladrillos y tabla roca

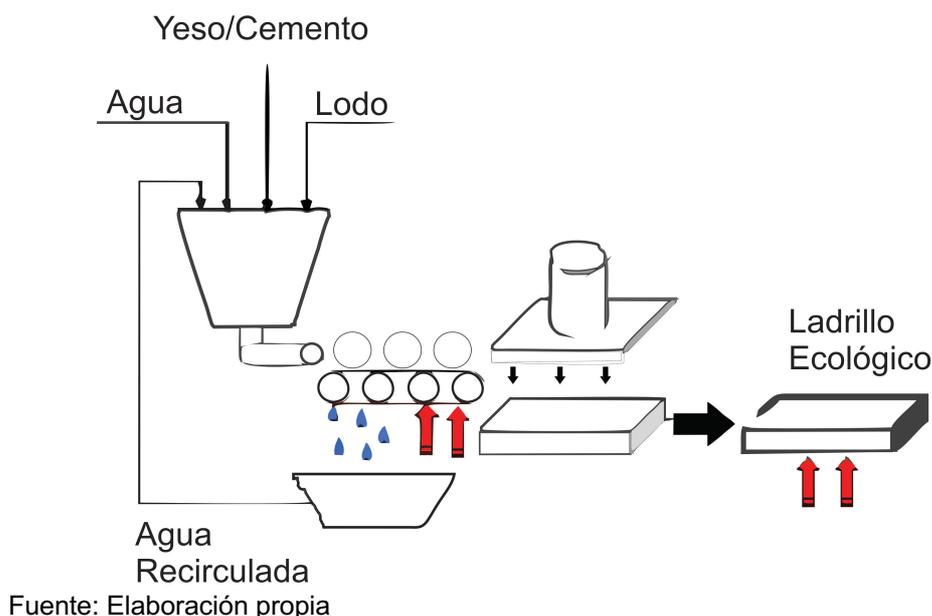
Autor de la aplicación: Luis Alberto Villarreal Jiménez

Lugar de aplicación de este invento: Ciudad de México

**Descripción de la aplicación:** El propósito de este trabajo fue encontrar uso como materia prima a dos materiales generados como residuos inservibles en dos empresas. Uno de los residuos es un lodo compuesto esencialmente de fibras de celulosa y el otro es una arena sílica residuo de una fábrica de frenos. Los objetivos a alcanzar son: verificar el uso del lodo como complemento en tierras de cultivo, generar ladrillos de tipo artesanal mezclando ambos residuos y crear tabla roca usando lodo y aglutinantes.

**Aprendizajes:** Como parte de las observaciones a realizar en este proyecto vale la pena mencionar que en ambos productos se encuentran compuestos de calcio, sílice y alúmina, los cuáles son los principales componentes del cemento. Se propone utilizar estos compuestos para buscar una fabricación más barata de cemento y que además mejoré las propiedades del mismo.

#### Ilustración 4: Uso de lodo de papel y arena silíceo para la fabricación de ladrillos y tabla roca



#### 1.4.2. Fabricación de ladrillos ecológicos para la construcción utilizando poliestireno expandido granular Biowall

Nombre de la aplicación: Fabricación de ladrillos ecológicos para la construcción utilizando poliestireno expandido granular Biowall

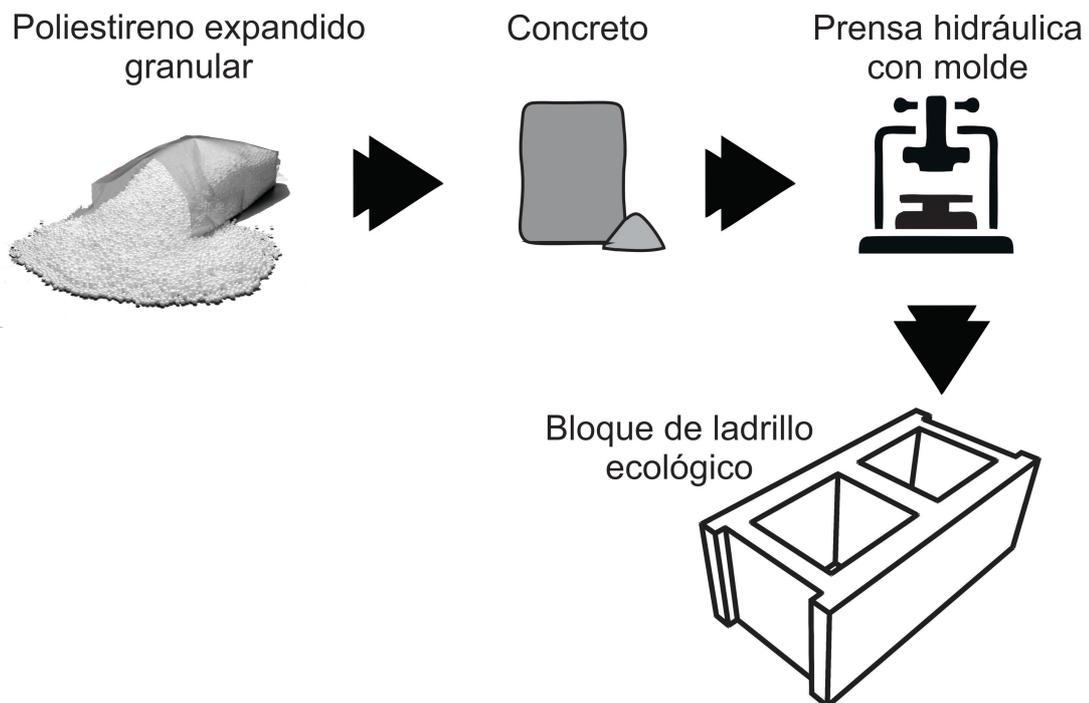
Autor de la aplicación: Balvin Cerron, Richard Jr; Barrios Liza, Kevin; Canchari Sotomayor, Juan Carlos

Lugar de aplicación de este invento: Lima - Perú

**Descripción de la aplicación:** La investigación tiene como objetivo elaborar ladrillos a base de polietileno expandido (EPS) mezclado con concreto, obteniendo como producto un 15 ladrillo ecológico, las propiedades mecánicas, térmicas y acústicas que posee este ladrillo se deben a las propiedades químicas del polietileno (Solis, 2005).

**Aprendizajes:** Se ha comprobado que, a mayor edad de curado de las piezas, la resistencia alcanzada es mayor. Conforme el nivel de compactación empleado es menor, la diferencia entre ambos aditivos estudiados es mayor. Los mayores incrementos de resistencia se producen a partir de los 56 días de curado, siendo especialmente clave el mes de curado.

##### Ilustración 5: Fabricación de ladrillos ecológicos para la construcción utilizando poliestireno expandido granular Biowall



Fuente: Elaboración propia

### 1.4.3. Evaluación de las propiedades mecánicas del ladrillo ecológico prensado manualmente de arcilla y arcilla/plástico en albañilería confinada

Nombre de la aplicación: Evaluación de las propiedades mecánicas del ladrillo ecológico prensado manualmente de arcilla y arcilla/plástico en albañilería confinada.

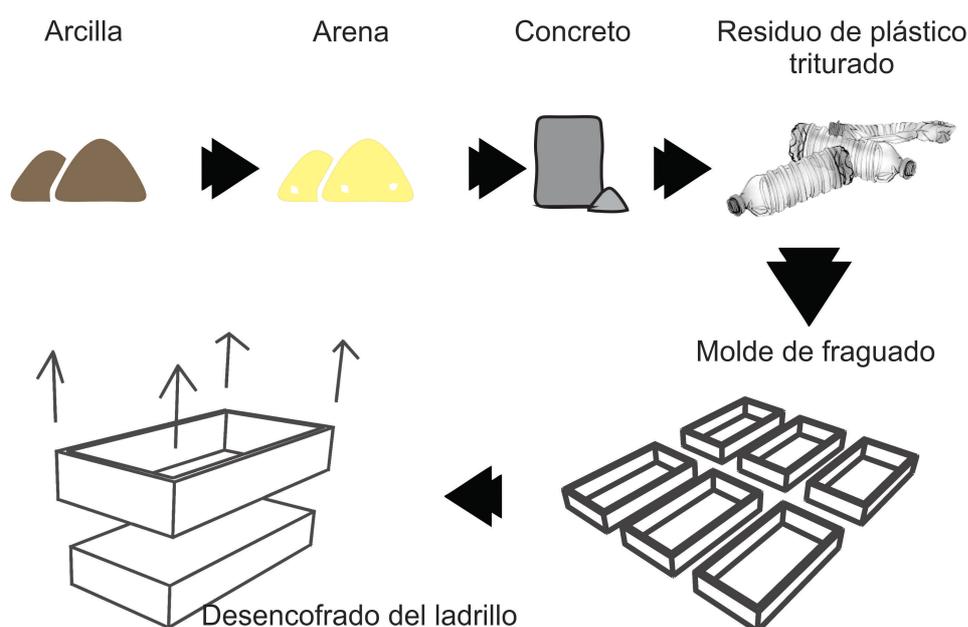
Autor de la aplicación: Peña Becerra, Enjhor Thaylor

Lugar de aplicación de este invento: CHICLAYO, Perú

**Descripción de la aplicación:** Para la presente investigación se propone la elaboración de dos nuevas unidades de albañilería, a las cual se les denominó ladrillo ecológico, el cual fue inspirado en el ladrillo artesanal, con la finalidad que sustituya al ladrillo convencional cocido. Para ello se emplea arcilla como componente principal, la arena, el cemento y el plástico reciclado y triturado en las unidades seleccionadas para la fabricación de ladrillos.

**Aprendizajes:** Se recomienda utilizar un método de prensado, con el que se pueda aplicar una mayor carga y que pueda ser controlada. Realizar la elaboración de las unidades en un ambiente cerrado, debido a que el calor provoca que el agua presente en la mezcla se evapore rápidamente, retrasando el proceso de prensado. Durante el proceso de almacenamiento de las unidades de albañilería se recomienda poner los ladrillos ecológicos en superficies lisas y niveladas para evitar deformaciones en las unidades frescas.

#### Ilustración 6: Evaluación de las propiedades mecánicas del ladrillo ecológico prensado manualmente de arcilla y arcilla/plástico en albañilería confinada



Fuente: Elaboración propia



## **CAPITULO II: DISPONIBILIDAD DE MATERIA PRIMA PARA LA PREPARACIÓN DEL MATERIAL**

El Paraguay se encuentra muy por detrás de otros con respecto al tratamiento de los residuos, clasificación de los mismos y la capacidad de poder reciclarlos depende mucho de la organización que se tenga en el manejo de la basura. El Paraguay no tiene plantas de tratamientos de los residuos, exceptuando alguna que otra empresa privada.

La obtención de materia prima, y la disponibilidad de la misma está muy ligada a la recolección y clasificación de los desperdicios ya que en nuestro país generalmente en los lugares con menos recursos se opta por la quema, el entierro de la basura y no cuentan con recolección de la misma, ya sea pública o privada.

Afortunadamente, a medida que va pasando el tiempo las personas van formando conciencia sobre el cuidado del planeta y van clasificando y/o recolectando los desperdicios para ser llevados a una planta de reciclaje o compradores de los mismos afines muy similares.

El papel es uno de los residuos más comunes en el planeta, una persona consume aproximadamente 48 kg de papel al año (gran parte de este consumo es desechado como basura. Estos desechos constituyen un gran problema para el medio ambiente si no son reciclados para su reutilización, puesto que para por cada tonelada de papel nuevo, se necesitan aproximadamente 24 árboles. Además, que el papel reciclado consume 60% menos de energía que el papel nuevo al fabricarse.

### **2.1. Disponibilidad general del papel como desecho en el Paraguay**

Las principales fuentes de obtención de papel para ser reciclados en nuestro país son los mismos recicladores de papel o los grandes lotes de papel acumulados para su destino final. Los recicladores de papel venden el papel y/o cartón a fabricas dedicadas al reciclaje por un costo aproximado de 1.600 Gs. el kilo de papel blanco y 1.200 Gs. el kilo de papel color mezclado. El papel blanco posee un costo mayor ya que el mismo puede utilizarse para la elaboración de más papel blanco, esto no es posible con el papel color.



La disponibilidad del papel es amplia, y la cantidad disponible es directamente proporcional a la cantidad a la que se puede tener acceso, puesto que muchos recicladores son exclusivos de algunas empresas dedicadas al reciclaje del mismo.

Según la Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos en una encuesta sobre 1.554.049 hogares (2018-2019) en los distintos departamentos y capital del Paraguay se determinó que del mismo 139.416 hogares en Asunción, el 88,2% recibe un servicio de recolección de residuos ya sea privado o público y que el 11,8% utiliza otro sistema (Incluye: Quema, tira en el hoyo, en el patio, baldío, zanja o calle, en el vertedero municipal, en arroyo, río o laguna y otro). Entre estos residuos se pueden encontrar distintos materiales como Plástico, Cartón, Papel, Latita, Hule, madera, metal, vidrio, etc. De los cuales GESTIÓN AMBIENTAL - PROCICLA, desarrolla un Programa de Segregación de Residuos Reciclables y Recolección Selectiva de los mismos, con destino al Reciclaje de las materias primas contenidas en los productos desechados por las Empresas Privadas e instituciones Públicas.

Los materiales reciclables son retirados por PROCICLA, de un contenedor dispuesto por las empresas privadas e instituciones publica en sus instalaciones. A continuación, se presenta, el Resumen de los Materiales Reciclables retirados en el período de enero 2019 a diciembre 2019.

**Cuadro 3: Enero 2019 a diciembre 2019**

Material	Total
Plástico:	13.492 kgs.
Cartón:	130.737 kgs.
Latita:	28 kgs.
Hule:	2.432 kgs.
Madera:	400 kgs.
Metal:	181 kgs.
Vidrio:	410 kgs.
Papel:	18.058 Kgs.
<b>TOTAL:</b>	<b>165.738 kgs.</b>

Fuente: Elaboración propia

## 2.2. Propuesta de gestión del uso del papel reciclado

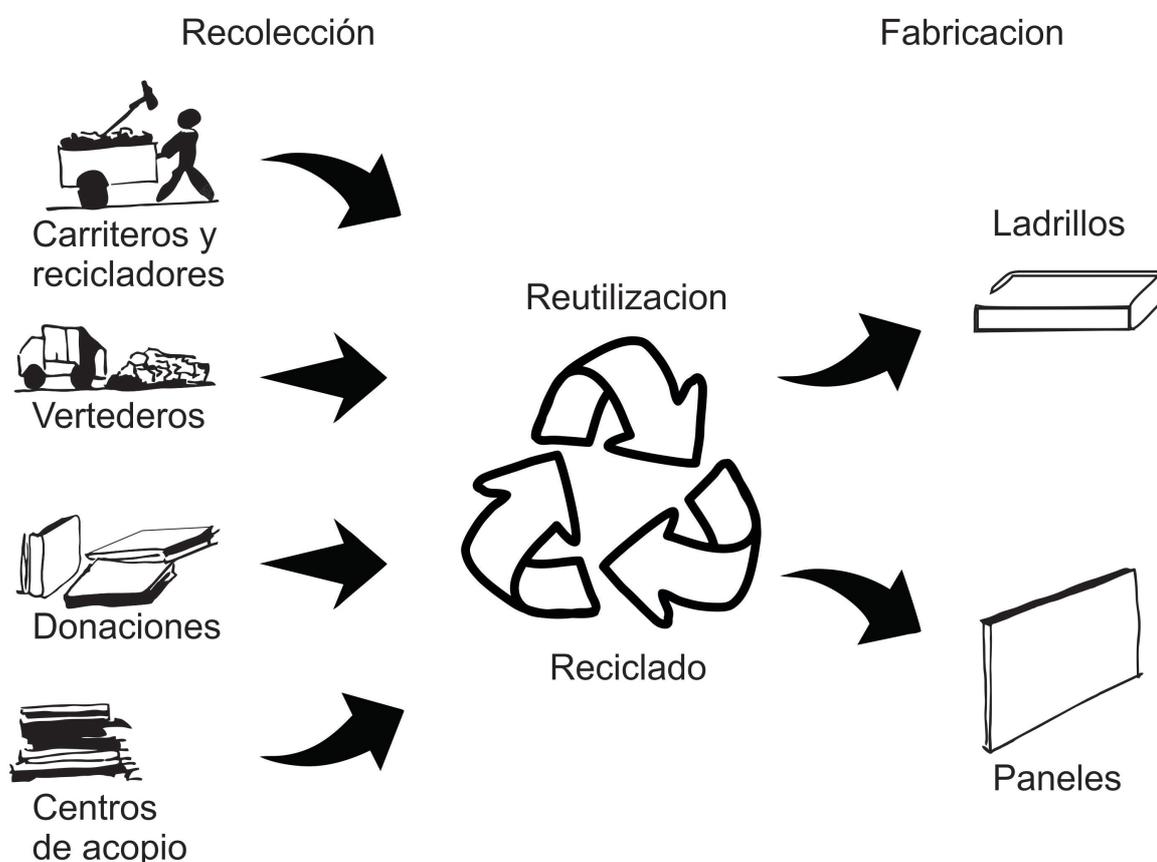
La gestión es el conjunto de actividades que se realizan desde su generación, hasta su tratamiento final. Este es el planteamiento de gestión post- consumo del papel. Primeramente, hay que tener en cuenta que se produce mucho papel, el mercado del papel es enorme. Así también mucho de ese papel puede ir a parar a

enormes depósitos, bibliotecas, archivos, oficinas, etc., la mayor parte del mismo es descartado como basura, periódicos, revistas, planos, etc.

Este papel pasa por el primer filtro de reciclaje, que son los recicladores que recolectan todo este papel de basureros residenciales o de oficinas, acopiándolos en grandes cantidades y transportándolos en carritos, motocarros, camionetas y/o camiones.

Todo este papel es vendido a empresas, es ahí donde existe la primera oportunidad de captación del material, poder negociar con los recicladores y comprar un lote de papel. El otro casi sería la recolección en vertederos municipales. Pero realmente la concienciación sobre la reutilización del papel desechado es lo que realmente ayuda a proyectos como este, poder ir a centros de acopio en donde la basura ya clasificada espera para su reciclaje. Teniendo la disponibilidad de papel en cantidad numérica, se plantea un esquema de recolección de la materia prima, y la provisión del material necesario para poder reutilizar el papel para la elaboración de ladrillos y/o paneles de papel para la construcción. (fuente propia)

### Ilustración 7: Esquema de gestión



Fuente: Elaboración propia

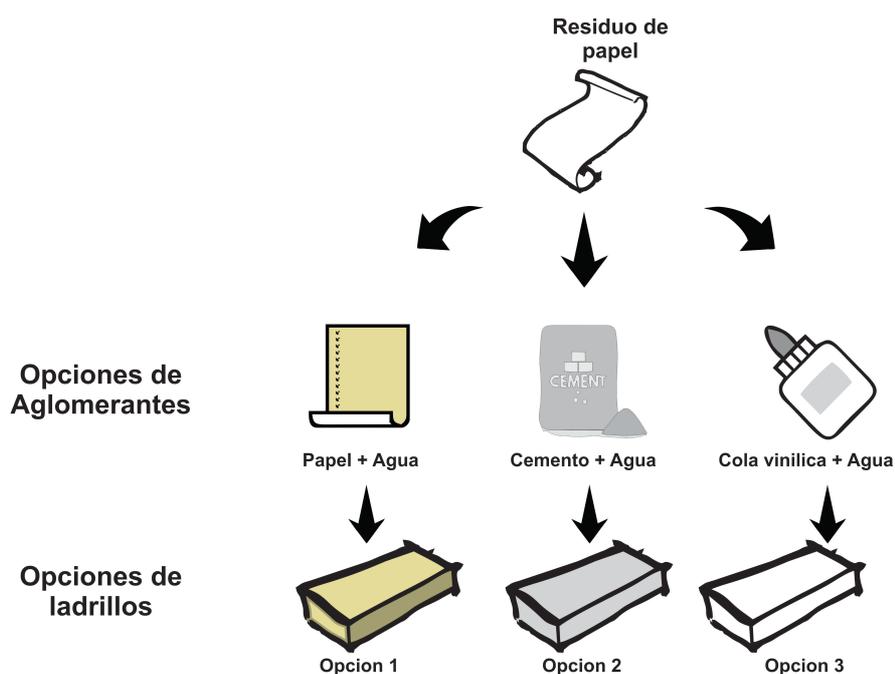
### CAPÍTULO III: DOSIFICACIÓN ADECUADA PARA LA CONFORMACIÓN DE PROBETAS DE LADRILLOS Y PANELES

Una vez determinada la disponibilidad de papel y para así poder empezar los ensayos para la fabricación de materiales alternativos, se tomó como ejemplo el estudio de Menelaos Kokkinos (estudio sobre papercrete 2011) en donde se muestra que el papel es una excelente materia prima pero que posee ciertas dificultades, al ser triturado para poder realizar moldes como ladrillos o paneles, necesitan tener mayor cohesión entre partículas. Por ello, se lo mezcla con alguna sustancia que pueda unir con mayor fuerza sus componentes, es decir: un aglomerante, es por ello que las dosificaciones se realizan de acuerdo al aglomerante que se va a utilizar para determinar el mejor de los mismos, se realizarán pruebas de paneles y ladrillos de la siguiente manera. Con este capítulo se logra determinar el mejor aglomerante, se realizarán pruebas de paneles y ladrillos de la siguiente manera:

#### 3.1 Métodos de elaboración de los ladrillos

Para la propuesta de material alternativo se establecen 3 tipos de ladrillos: ladrillos de papel 100%; ladrillos con cemento; ladrillos con cola vinílica.

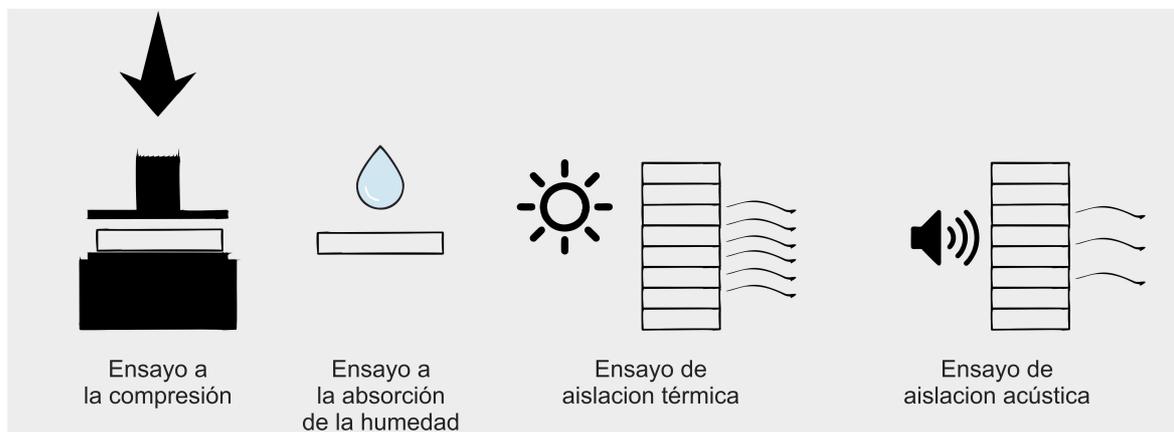
**Ilustración 8: Tipos de ladrillos establecidos**



Fuente: Elaboración propia

Las elaboraciones dependen directamente de la finalidad que se dará al uso del material, de esta manera se divide las pruebas para poder así analizar las mejores propiedades del mismo: Ladrillos; Resistencia a la compresión; Prueba de absorción; Resistencia térmica; y Prueba acústica

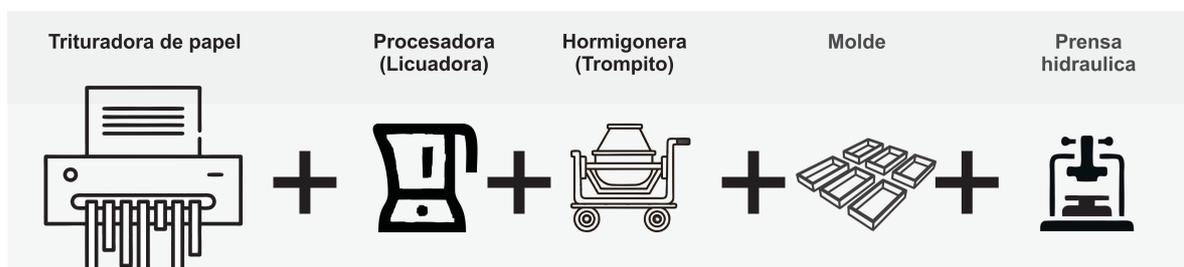
### Ilustración 9: Pruebas para ladrillos



Fuente: Elaboración propia

Para poder elaborar los ladrillos se determina distintas maneras de lograr conformar el ladrillo, como se observa en el estudio previo.

### Ilustración 10: Herramientas necesarias



Fuente: Elaboración propia

Luego se debe dotar a la pasta las dimensiones estandarizadas de un ladrillo común, se llena de pasta de papel triturado previamente preparado a un molde, más comúnmente llamado quesera, y es apisonado con una prensa hidráulica para poder eliminar lo máximo posible del agua, dando, así como resultado el ladrillo.

#### 3.1.1 Ladrillos de papel 100%

El comportamiento de la materia prima es esencial para la conformación del ladrillo, por eso se estudió el comportamiento del papel puro sin ningún otro material.



### 3.1.1.1. Dosificación Ladrillos de papel 100%

Para la elaboración del ladrillo 100% de papel, se opta por una dosificación 1:1 (papel 100 g y agua 717 ml por cada dosis) que permite que el papel pueda descomponerse de manera eficaz en la trituración, con esto se logra obtener una pasta de papel maleable y moldeada en base al encofrado de la prensa hidráulica, con la que se eliminara gran porcentaje de agua a través del dreno y el sobrante se eliminara por evaporación.

### 3.1.1.2. Proceso de elaboración Ladrillos de papel 100%

El proceso de elaboración, comprende 7 pasos a seguir de la siguiente manera:

**Paso 1: Triturado del papel** Luego de la obtención de la materia prima y aglomerantes necesarios en medidas exactas para la determinación de la cantidad de unidades de ladrillos a elaborar, se recorta en proporciones mínimas el papel para poder facilitar la absorción del agua, para la agilización del trabajo se recomienda utilizar una trituradora eléctrica de papel marca Shredex © de esta manera el papel queda reducido a finas tiras.

**Paso 2: Remojo del Papel** Teniendo el papel en piezas diminutas, es sumergido al agua por 2 horas como mínimo, hasta que el papel haya logrado la mayor cantidad de absorción. Con esto el papel se debilita lo suficiente como para lograr convertirse en una pasta.

**Paso 3: Procesado del papel** El papel remojado debe ser vertido en una licuadora con un porcentaje de agua, pudiéndose aprovechar el mismo liquido por el cual fue remojado, con esto se forma una pasta de papel con la que se elaborara el ladrillo. El proceso de creación de la pasta, es el mismo que será utilizado en todas las otras presentaciones de ladrillos y paneles del estudio, para métodos prácticos los procesos de elaboración serán desde que la pasta este bien conformada.

**Paso 4: Prensado del ladrillo** Se vierte 1.5 kg de la pasta (lo necesario para elaborar una unidad de ladrillo) a un molde de hierro de dimensiones: 11cm de ancho, 21cm de largo y 8.5cm de alto, se tapa y se prensa con un gato hidráulico de 4 toneladas de presión para poder eliminar el excedente de agua a través del dreno del molde y poder transferir cohesión a las partículas de papel del ladrillo, de esta manera el ladrillo tiene mayor consistencia en su composición física.



**Paso 5: Desencofrado del ladrillo** Se retira cuidadosamente la bandeja de las orejillas para su desencofrado, lentamente para evitar que se formen fisuras que repercutan en un mal producto.

**Paso 6: Reposo del producto** El ladrillo debe estar sobre una superficie nivelada y cubierta con lona de polietileno para evitar el ingreso de la humedad, a su vez deben permanecer expuestos al sol y a la circulación del aire durante un mínimo de 36 horas.

**Paso 7: Almacenamiento** Luego de la clasificación de los mejores productos se almacenan los ladrillos en un espacio seco, preferentemente en estanterías que permitan una mejor organización de los mismos.

Ilustración 11: Proceso de elaboración de ladrillos 100% de papel

### Paso 1 Triturado del Papel



### Paso 2 Remojo del Papel



### Paso 3 Procesar el papel



### Paso 4 Prensado del ladrillo



### Paso 5 Desencofrado del ladrillo



### Paso 6 Reposo del producto



### Paso 7 Almacenamiento



Fuente: Elaboración propia



En la primera prueba, se elaboró un ladrillo sin aglomerante, para poder definir sus propiedades y características como materiales alternativos e ir identificando sus cualidades.

Siendo este el resultado del ladrillo 100% elaborado de papel.

Peso del ladrillo: 155 g

### **3.1.1.3. Pruebas de Ladrillo 100% Papel**

Se realizaron cuatro ensayos al ladrillo para determinar sus capacidades de resistencia a la compresión, absorción de agua, disipación térmica y disipación acústica, los mismos fueron realizados en la Facultad de Ingeniería, junto con profesionales dedicados a la realización de ensayos de productos para la determinación de la calidad de los mismos.

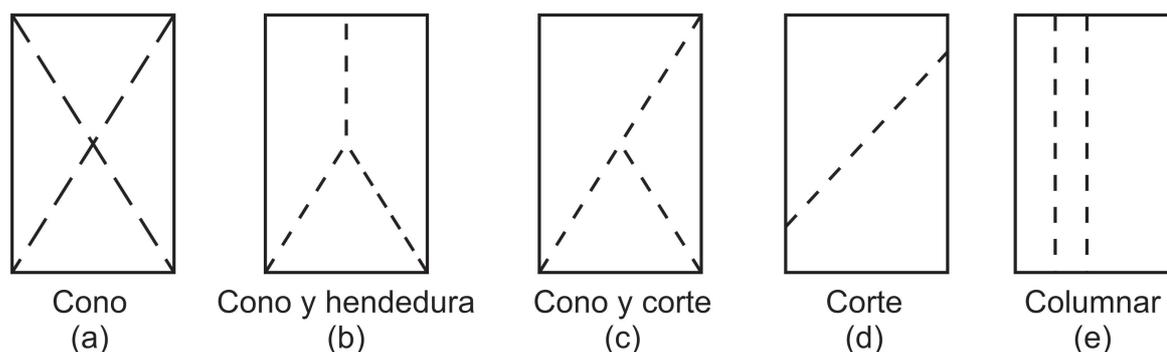
#### **3.1.1.3.1. Pruebas Resistencia a la compresión simple**

##### **a-) Procedimiento**

Para los ensayos de resistencia a la compresión, se debe limpiar correctamente las superficies de los ladrillos. Unir con una capa fina de mortero de cemento las caras mayores superpuestas de las mitades obtenidas, y esperar el endurecimiento del mortero, luego se debe cubrir con un mortero de cemento una placa de metal o de vidrio con una hoja de papel, impregnada con una leve película de aceite. Sobre ese lecho y en el bloque adquirido en el segundo paso, aplicar presión manual a una de las caras (correspondiente a la mayor base del ladrillo) suficiente para hacer refluir la pasta interpuesta, de modo a reducir su espesor de 2mm a 3mm. Al endurecerse la pasta se retira con una espátula los excedentes. De este modo se ha obtenido un cuerpo de prueba con dos caras de trabajo debidamente regularizadas y en lo posible perfectamente paralelas. Si el ladrillo presenta ranuras, la superposición de sus dos piezas es hecha de modo que las depresiones queden junto con las caras de trabajo. Las depresiones deben ser llenados con mortero de cemento un día antes de la regularización de las caras de trabajo. Después del endurecimiento de las camadas de mortero, los cuerpos son numerados y sumergidos en agua potable durante 24 hs. Pasado ese tiempo se retiran los cuerpos de prueba de las aguas y se secan superficialmente, se miden las dimensiones de las caras de trabajo y se procede al ensayo de compresión, regulando los comandos de la máquina de ensayo de modo que la carga se lleve progresivamente a razón de aproximación 0.5 kilogramos/centímetros cuadrados.

Una vez terminado el procedimiento se determina el tipo de fractura según la forma de la rajadura presentada. Las fracturas se clasifican en 5 tipos distintos, siendo la fractura tipo cono la forma ideal de respuesta a la resistencia a la compresión, según la norma ASTM C39, la cual determina el método de ensayo normalizado para la resistencia a la compresión de muestras de concreto.

**Ilustración 12: Tipos de fracturas**



Fuente: Elaboración propia

## b-) Resultados

Se han determinado que los ladrillos fabricados con Papel 100% han alcanzado un valor promedio de resistencia a la compresión de 23,40 kg/cm<sup>2</sup>. Según la Norma Paraguaya NP 129 los ladrillos se clasifican en Clase A (> 90kg/cm<sup>2</sup>) B(>70kg/cm<sup>2</sup>) y C (>50kg/cm<sup>2</sup>). Por lo que no cumple con los estándares mínimos de resistencia a la compresión.

### 3.1.1.3.2 Prueba de absorción

#### a-) Procedimiento

Determinación de la absorción en ladrillos, y densidad se logra secando el material en horno por dos o 3 días hasta peso constante a 105°C±5°C, registrándose los pesos siendo este último el peso seco, se sumerge luego tres o cuatro días en agua completamente, hasta saturación (peso constante), se seca superficialmente con una toalla o trapo seco y se pesa, este es el peso húmedo.

#### Determinación de la Capacidad de Absorción

$$A = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} \times 100 \text{ [%]}$$

Donde:

- **A** es el % de absorción
- **M<sub>sss</sub>** es la masa saturada con superficie seca
- **M<sub>s</sub>** es la masa seca en estufa

## **b-) Resultados**

La Norma Paraguaya NP 1702777 que la absorción máxima permitida en los ladrillos es de 25%. EL ladrillo de Papel no cumple con dichas características ya que su absorción llega al 140%.

### **3.1.1.3.3. Prueba de disipación térmica**

#### **a-) Procedimiento**

Se dispuso los mampuestos en 8 hiladas de ladrillo de papel sobre el suelo (piso de baldosa), con las estufas encendidas a 50cm de cada muro como fuente de calor, se realiza una medición cada 5 min hasta completar 6 mediciones cada 30min.

Las lecturas de temperatura se realizan con un termómetro infrarrojo en los puntos (T) por la cual incide directamente la fuente de calor y así también, se toman las lecturas de lo puntos (T') del lado posterior a la cara por la cual incide directamente la fuente de calor.

#### **Determinación de la disipación**

$$\Delta T (^{\circ}\text{C}) = T - T'$$
$$\Delta T (\%) = \frac{T - T'}{T} \times 100$$

## **b-) Resultados**

Los muros de ladrillo de papel prensado lograron disipar un promedio de 35,96% inferior a la cara que daba con respecto a la fuente de calor. No existen valores referenciales de disipación de calor en paneles y muros de ladrillos, pero teniendo en cuenta los valores obtenidos entre los paneles y ladrillos no existe variación significativa entre dichos valores.

### **3.1.1.3.4. Prueba de rendimiento acústico**

#### **a-) Procedimiento**

Se dispuso los mampuestos en 8 hiladas de ladrillo de papel sobre el suelo (piso de baldosa), con las fuentes de sonido encendidas a 50cm de cada muro, se realiza una medición cada 5 min hasta completar 6 mediciones cada 30min.

Las lecturas de sonido se realizan con una APP de celular (Sonógrafo) en los puntos (S) por la cual incide directamente la fuente de sonido y así también, se toman las lecturas de lo puntos (S') del lado posterior a la cara por la cual incide directamente la fuente de sonido.



## Determinación de la disipación

$$\Delta T \text{ (dB)} = S - S'$$
$$\Delta T \text{ (\%)} = \frac{S - S'}{S} \times 100$$

### b-) Resultados

No existen valores referenciales de disipación de sonido en muros de ladrillo, pero se han realizado medición en muros de ladrillo común. En el caso del muro de ladrillos el de papel prensado disipa un 80% de lo que lo hace el de ladrillo común.

### 3.1.2 Ladrillos con cola vinílica

Luego de la obtención de la materia prima y aglomerantes necesarios en medidas exactas para la determinación de la cantidad de unidades de ladrillos a elaborar, se recorta en proporciones mínimas el papel para poder facilitar la absorción del agua, para la agilización del trabajo se recomienda utilizar una cortadora eléctrica de papel marca Shredex © de esta manera el papel queda reducido a finas tiras.

#### 3.1.2.1. Dosificación Ladrillos con cola vinílica

Para la elaboración del ladrillo de papel y cola vinílica como aglomerante, se opta por una dosificación 1:6 (cola vinílica diluida en agua 760 ml y pasta de papel 817 g por cada dosis) que permitirá que el papel pueda mezclarse de manera eficaz en el licuado, con esto se logra obtener una pasta de papel maleable y moldeada en base al encofrado de la prensa hidráulica, con la que se eliminara gran porcentaje de agua y el sobrante se eliminara por evaporación.

#### 3.1.2.2. Proceso de elaboración Ladrillos con cola vinílica

El proceso de elaboración, comprende 8 pasos a seguir de la siguiente manera:

**Paso 1: Triturado del papel** Luego de la obtención de la materia prima y aglomerantes necesarios en medidas exactas para la determinación de la cantidad de unidades de ladrillos a elaborar, se recorta en proporciones mínimas el papel para poder facilitar la absorción del agua, para la agilización del trabajo se recomienda utilizar una trituradora eléctrica de papel marca Shredex © de esta manera el papel queda reducido a finas tiras.



**Paso 2: Remojo del Papel** Teniendo el papel en piezas diminutas, es sumergido al agua por 2 horas como mínimo, hasta que el papel haya logrado la mayor cantidad de absorción. Con esto el papel se debilita lo suficiente como para lograr convertirse en una pasta.

**Paso 3: Procesado del papel** El papel remojado debe ser vertido en la licuadora con un porcentaje de agua, pudiéndose aprovechar el mismo líquido por el cual fue remojado, con esto se forma una pasta de papel con la que se elaborará el ladrillo. El proceso de creación de la pasta, es el mismo que será utilizado en todas las otras presentaciones de ladrillos y paneles del estudio, para métodos prácticos los procesos de elaboración serán desde que la pasta esté bien conformada.

**Paso 4: Preparación de la argamasa** Utilizando una mezcladora, también conocida como trompito. Se optó por una dosificación convencional la cual es la 1:6 (cola vinílica diluida en agua y papel); con esto se logra preparar 6 unidades de ladrillo por cada dosificación, utilizando 760 ml de cola vinílica y 5.24 kg de pasta de papel.

**Paso 5: Prensado del ladrillo** Se vierte 1.4kg de la pasta a un molde de hierro de dimensiones: 11cm de ancho, 21cm de largo y 8.5cm de alto, se tapa y se prensa con un gato hidráulico de 4 toneladas de presión para poder eliminar el excedente de agua a través del drenaje del encofrado y poder transferirles cohesión a las partículas de papel del ladrillo, de esta manera el ladrillo tiene mayor consistencia en su composición física.

**Paso 6: Desencofrado del ladrillo.** Se retira cuidadosamente la bandeja de las orejillas para su desencofrado, lentamente para evitar que se formen fisuras que repercutan en un mal producto.

**Paso 7: Reposo del producto** El ladrillo debe estar sobre una superficie nivelada y cubierta con lona de polietileno para evitar el ingreso de la humedad, a su vez deben permanecer expuestos al sol y a la circulación del aire durante un mínimo de 96 horas, con intervalos de 12 horas por cara del panel, lo que requiere que se esté volteando constantemente.

**Paso 8: Almacenamiento** Luego de la clasificación de los mejores productos se almacenan los ladrillos en un espacio seco, preferentemente en estanterías que permitan una mejor organización de los mismos. Peso del ladrillo: 160 g

Ilustración 13: Proceso de elaboración de ladrillos con cola vinílica

### Paso 1 Triturado del Papel



### Paso 2 Remojo del Papel



### Paso 3 Procesar el papel



### Paso 4 Preparación de la argamasa



### Paso 5 Prensado del ladrillo



### Paso 6 Desencofrado del ladrillo



### Paso 7 Reposo del producto



### Paso 8 Almacenamiento



Fuente: Elaboración propia



### **3.1.2.3. Pruebas del ladrillo con cola vinílica**

Se realizaron cuatro ensayos al ladrillo para determinar sus capacidades de resistencia a la compresión, absorción de agua, disipación térmica y disipación acústica, los mismos fueron realizados en la Facultad de Ingeniería, junto con profesionales dedicados a la realización de ensayos de productos para la determinación de la calidad de los mismos.

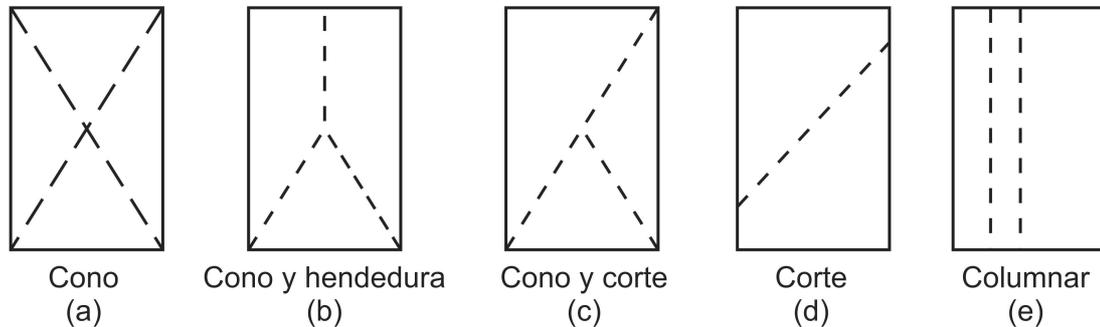
#### **3.1.2.3.1. Prueba de compresión del ladrillo con cola vinílica**

##### **a-) Procedimiento**

Para los ensayos de resistencia a la compresión, se debe limpiar correctamente las superficies de los ladrillos. Unir con una capa fina de mortero de cemento las caras mayores superpuestas de las mitades obtenidas, y esperar el endurecimiento del mortero, luego se debe cubrir con un mortero de cemento una placa de metal o de vidrio con una hoja de papel, impregnada con una leve película de aceite. Sobre ese lecho y en el bloque obtenido en el segundo paso, aplicar presión manual a una de las caras (correspondiente a la mayor base del ladrillo) suficiente para hacer refluir la pasta interpuesta, de modo a reducir su espesor de 2mm a 3mm. Al endurecerse la pasta se retira con una espátula los excedentes. De este modo se ha obtenido un cuerpo de prueba con dos caras de trabajo debidamente regularizadas y en lo posible perfectamente paralelas. Si el ladrillo presenta ranuras, la superposición de sus dos piezas es hecha de modo que las depresiones queden junto con las caras de trabajo. Las depresiones deben ser llenados con mortero de cemento un día antes de la regularización de las caras de trabajo. Después del endurecimiento de las capas de mortero, los cuerpos son numerados y sumergidos en agua potable durante 24 hs. Pasado ese tiempo se retiran los cuerpos de prueba de las aguas y se secan superficialmente, se miden las dimensiones de las caras de trabajo y se procede al ensayo de compresión, regulando los comandos de la máquina de ensayo de modo que la carga se lleve progresivamente a razón de aproximación 0.5 kilogramos/centímetros cuadrados. Una vez terminado el procedimiento se determina el tipo de fractura según la forma de la rajadura presentada. Las fracturas se clasifican en 5 tipos distintos, siendo la fractura tipo como la forma ideal de respuesta a la resistencia a la compresión, según

la norma ASTM C39, la cual determina el método de ensayo normalizado para la resistencia a la compresión de muestras de concreto.

#### Ilustración 14: Tipos de fracturas



Fuente: Elaboración propia

#### b-) Resultados

Se han determinado que los ladrillos fabricados con Papel + Cola vinílica han alcanzado un valor promedio de resistencia a la compresión de 41,79 kg/cm<sup>2</sup>. Según la Norma Paraguaya NP 129 los ladrillos se clasifican en Clase A (> 90kg/cm<sup>2</sup>) B(>70kg/cm<sup>2</sup>) y C (>50kg/cm<sup>2</sup>). Por lo que no cumple con los estándares mínimos de resistencia a la compresión.

#### 3.1.2.3.2. Prueba de absorción del ladrillo con cola vinílica

##### a-) Procedimiento

Determinación de la absorción en ladrillos, y densidad se logra secando el material en horno por dos o 3 días hasta peso constante a 105°C±5°C, registrándose los pesos siendo este último el peso seco, se sumerge luego tres o cuatro días en agua completamente, hasta saturación (peso constante), se seca superficialmente con una toalla o trapo seco y se pesa, este es el peso húmedo.

##### Determinación de la Capacidad de Absorción

$$A = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} \times 100 [\%]$$

Donde:

- **A** es el % de absorción
- **M<sub>sss</sub>** es la masa saturada con superficie seca
- **M<sub>s</sub>** es la masa seca en estufa



## **b-) Resultados**

La Norma Paraguaya NP 1702777 que la absorción máxima permitida en los ladrillos es de 25%. EL ladrillo de Papel + Cola vinílica no cumple con dichas características ya que su absorción llega al 58%.

### **3.1.2.3.3. Prueba de disipación térmica del ladrillo con cola vinílica**

#### **a-) Procedimiento**

Se dispuso los mampuestos en 8 hiladas de ladrillo de papel+cola vinílica sobre el suelo (piso de baldosa), con las estufas encendidas a 50cm de cada muro como fuente de calor, se realiza una medición cada 5 min hasta completar 6 mediciones cada 30min.

Las lecturas de temperatura se realizan con un termómetro infrarrojo en los puntos (T) por la cual incide directamente la fuente de calor y así también, se toman las lecturas de lo puntos (T') del lado posterior a la cara por la cual incide directamente la fuente de calor.

#### **Determinación de la disipación**

$$\Delta T (^{\circ}\text{C}) = T - T'$$
$$\Delta T (\%) = \frac{T - T'}{T} \times 100$$

## **b-) Resultados**

Los muros de ladrillo de papel+cola vinílica lograron disipar un promedio de 28,60% inferior a la cara que daba con respecto a la fuente de calor. No existen valores referenciales de disipación de calor en paneles y muros de ladrillos, pero teniendo en cuenta los valores obtenidos entre los paneles y ladrillos no existe variación significativa entre dichos valores.

### **3.1.2.3.4. Prueba de rendimiento acústico del ladrillo con cola vinílica**

#### **a-) Procedimiento**

Se dispuso los mampuestos en 8 hiladas de ladrillo de papel sobre el suelo (piso de baldosa), con las fuentes de sonido encendidas a 50cm de cada muro, se realiza una medición cada 5 min hasta completar 6 mediciones cada 30min.

Las lecturas de sonido se realizan con una APP de celular (Sonógrafo) en los puntos (S) por la cual incide directamente la fuente de sonido y así también, se toman



las lecturas de los puntos ( $S'$ ) del lado posterior a la cara por la cual incide directamente la fuente de sonido.

### **Determinación de la disipación**

$$\Delta T \text{ (dB)} = S - S'$$
$$\Delta T \text{ (\%)} = \frac{S - S'}{S} \times 100$$

### **b-) Resultados**

No existen valores referenciales de disipación de sonido en muros de ladrillo, pero se han realizado mediciones en muros de ladrillo común. En el caso del muro de ladrillos el de papel+cola vinílica disipa un 20% de lo que lo hace el de ladrillo común.

### **3.1.3 Ladrillos con cemento**

Para elaborar un ladrillo más resistente se debe de agregar un aglomerante que asegure mayor cohesión entre las partículas de la pasta de papel. Para dotar al ladrillo de mayor resistencia se agregó cemento a la pasta de papel triturado en la dosificación especificada dando, así como resultado la argamasa para la creación del ladrillo.

#### **3.1.3.1. Dosificación Ladrillos con cemento**

Para la elaboración del ladrillo de papel y cemento como aglomerante, se opta por una dosificación 1:6 (cemento 710 g y pasta de papel 817 g por cada dosis) que permitirá que el papel pueda mezclarse de manera eficaz en la trituración, con esto se logra obtener una pasta de papel maleable y moldeada en base al encofrado de la prensa hidráulica, con la que se eliminara gran porcentaje de agua y el sobrante se eliminara por evaporación.

#### **3.1.3.2. Proceso de elaboración Ladrillos con cemento**

El proceso de elaboración, comprende 8 pasos a seguir de la siguiente manera:

**Paso 1: Triturado del papel** Luego de la obtención de la materia prima y aglomerantes necesarios en medidas exactas para la determinación de la cantidad de unidades de ladrillos a elaborar, se recorta en proporciones mínimas el papel para poder facilitar la absorción del agua, para la agilización del trabajo se recomienda utilizar una trituradora eléctrica de papel marca Shredex © de esta manera el papel queda reducido a finas tiras.



**Paso 2: Remojo del Papel** Teniendo el papel en piezas diminutas, es sumergido al agua por 2 horas como mínimo, hasta que el papel haya logrado la mayor cantidad de absorción. Con esto el papel se debilita lo suficiente como para lograr convertirse en una pasta.

**Paso 3: Procesado del papel** El papel remojado debe ser vertido en la licuadora con un porcentaje de agua, pudiéndose aprovechar el mismo líquido por el cual fue remojado, con esto se forma una pasta de papel con la que se elaborará el ladrillo. El proceso de creación de la pasta, es el mismo que será utilizado en todas las otras presentaciones de ladrillos y paneles del estudio, para métodos prácticos los procesos de elaboración serán desde que la pasta esté bien conformada.

**Paso 4: Preparación de la argamasa** Utilizando una mezcladora, también conocida como trompito. Se optó por una dosificación convencional la cual es la 1:6 (Cemento y pasta de papel); con esto se logra preparar 6 unidades de ladrillo por cada dosificación, utilizando 0.710 kg de cemento y 5.24 kg de pasta de papel.

**Paso 5: Prensado del ladrillo** Se vierte 1.5 kg de la pasta a un molde de hierro de dimensiones: 11cm de ancho, 21cm de largo y 8.5cm de alto, se tapa y se prensa con un gato hidráulico de 4 toneladas de presión para poder eliminar el excedente de agua y poder transferirles cohesión a las partículas de papel del ladrillo, de esta manera el ladrillo tiene mayor consistencia en su composición física.

**Paso 6: Desencofrado del ladrillo** Se retira cuidadosamente la bandeja de las orejillas para su desencofrado, lentamente para evitar que se formen fisuras que repercutan en un mal producto.

**Paso 7: Reposo del producto** El ladrillo debe estar sobre una superficie nivelada y cubierta con lona de polietileno para evitar el ingreso de la humedad, a su vez deben permanecer expuestos al sol y a la circulación del aire durante un mínimo de 72 horas.

**Paso 8: Almacenamiento** Luego de la clasificación de los mejores productos se almacenan los ladrillos en un espacio seco, preferentemente en estanterías que permitan una mejor organización de los mismos. Peso del ladrillo: 476 g

Ilustración 15: Proceso de elaboración de ladrillos con cemento

### Paso 1 Triturado del Papel



### Paso 2 Remojo del Papel



### Paso 3 Procesado del papel



### Paso 4 Preparación de la argamasa



### Paso 5 Prensado del ladrillo



### Paso 6 Desenfofrado del ladrillo



### Paso 7 Reposo del producto



### Paso 8 Almacenamiento



Fuente: Elaboración propia



### **3.1.3.3. Pruebas aplicadas a los Ladrillos con cemento**

Se realizaron cuatro ensayos al ladrillo para determinar sus capacidades de resistencia a la compresión, absorción de agua, disipación térmica y disipación acústica, los mismos fueron realizados en la Facultad de Ingeniería, junto con profesionales dedicados a la realización de ensayos de productos para la determinación de la calidad de los mismos.

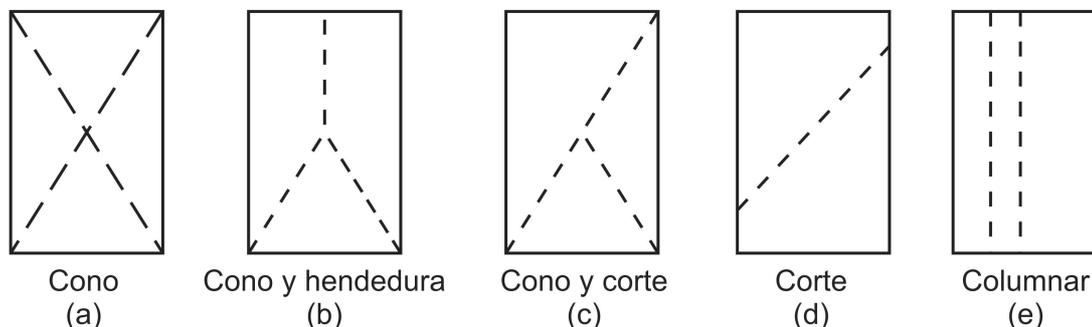
#### **3.1.3.3.1 Pruebas de compresión del ladrillo con cemento**

##### **a-) Procedimiento**

Para los ensayos de resistencia a la compresión, se debe limpiar correctamente las superficies de los ladrillos. Unir con una capa fina de mortero de cemento las caras mayores superpuestas de las mitades obtenidas, y esperar el endurecimiento del mortero, luego se debe cubrir con un mortero de cemento una placa de metal o de vidrio con una hoja de papel, impregnada con una leve película de aceite. Sobre ese lecho y en el bloque obtenido en el segundo paso, aplicar presión manual a una de las caras (correspondiente a la mayor base del ladrillo) suficiente para hacer refluir la pasta interpuesta, de modo a reducir su espesor de 2mm a 3mm. Al endurecerse la pasta se retira con una espátula los excedentes. De este modo se ha obtenido un cuerpo de prueba con dos caras de trabajo debidamente regularizadas y en lo posible perfectamente paralelas. Si el ladrillo presenta ranuras, la superposición de sus dos piezas es hecha de modo que las depresiones queden junto con las caras de trabajo. Las depresiones deben ser llenados con mortero de cemento un día antes de la regularización de las caras de trabajo. Después del endurecimiento de las camadas de mortero, los cuerpos son numerados y sumergidos en agua potable durante 24 hs. Pasado ese tiempo se retiran los cuerpos de prueba de las aguas y se secan superficialmente, se miden las dimensiones de las caras de trabajo y se procede al ensayo de compresión, regulando los comandos de la máquina de ensayo de modo que la carga se lleve progresivamente a razón de aproximación 0.5 kilogramos/centímetros cuadrados. Una vez terminado el procedimiento se determina el tipo de fractura según la forma de la rajadura presentada. Las fracturas se clasifican en 5 tipos distintos, siendo la fractura tipo como la forma ideal de respuesta a la resistencia a la compresión, según

la norma ASTM C39, la cual determina el método de ensayo normalizado para la resistencia a la compresión de muestras de concreto.

### Ilustración 16: Tipos de fracturas



Fuente: Elaboración propia

### b-) Resultados

Se han determinado que los ladrillos fabricados con Papel + cemento han alcanzado un valor promedio de resistencia a la compresión de 46,28 kg/cm<sup>2</sup>. Según la Norma Paraguaya NP 129 los ladrillos se clasifican en Clase A (> 90kg/cm<sup>2</sup>) B(>70kg/cm<sup>2</sup>) y C (>50kg/cm<sup>2</sup>). Por lo que cumple mínimamente con los estándares de resistencia a la compresión.

#### 3.1.3.3.2 Prueba de absorción del ladrillo de papel con cemento

##### a-) Procedimiento

Determinación de la absorción en ladrillos, y densidad se logra secando el material en horno por dos o 3 días hasta peso constante a 105°C±5°C, registrándose los pesos siendo este último el peso seco, se sumerge luego tres o cuatro días en agua completamente, hasta saturación (peso constante), se seca superficialmente con una toalla o trapo seco y se pesa, este es el peso húmedo.

##### Determinación de la Capacidad de Absorción

$$A = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} \times 100 [\%]$$

Donde:

- **A** es el % de absorción
- **M<sub>sss</sub>** es la masa saturada con superficie seca
- **M<sub>s</sub>** es la masa seca en estufa



## **b-) Resultados**

La Norma Paraguaya NP 1702777 que la absorción máxima permitida en los ladrillos es de 25%. EL ladrillo de Papel + Cemento cumple ampliamente con dichas características ya que su absorción llega solamente al 9%.

### **3.1.3.3.3 Prueba de resistencia térmica del ladrillo de papel con cemento**

#### **a-) Procedimiento**

Se dispuso los mampuestos en 8 hiladas de ladrillo de papel+cemento sobre el suelo (piso de baldosa), con las estufas encendidas a 50cm de cada muro como fuente de calor, se realiza una medición cada 5 min hasta completar 6 mediciones cada 30min. Las lecturas de temperatura se realizan con un termómetro infrarrojo en los puntos (T) por la cual incide directamente la fuente de calor y así también, se toman las lecturas de lo puntos (T') del lado posterior a la cara por la cual incide directamente la fuente de calor.

#### **Determinación de la disipación**

$$\Delta T (\text{°C}) = T - T'$$
$$\Delta T (\%) = \frac{T - T'}{T} \times 100$$

## **b-) Resultados**

Los muros de ladrillo de papel+cemento lograron disipar un promedio de 35,35% inferior a la cara que daba con respecto a la fuente de calor. No existen valores referenciales de disipación de calor en paneles y muros de ladrillos, pero teniendo en cuenta los valores obtenidos entre los paneles y ladrillos no existe variación significativa entre dichos valores.

### **3.1.3.3.4 Prueba de rendimiento acústico del ladrillo de papel con cemento**

#### **a-) Procedimiento**

Se dispuso los mampuestos en 8 hiladas de ladrillo de papel + cemento sobre el suelo (piso de baldosa), con las fuentes de sonido encendidas a 50cm de cada muro, se realiza una medición cada 5 min hasta completar 6 mediciones cada 30min. Las lecturas de sonido se realizan con una APP de celular (Sonógrafo) en los puntos (S) por la cual incide directamente la fuente de sonido y así también, se toman las

lecturas de los puntos (S') del lado posterior a la cara por la cual incide directamente la fuente de sonido.

### Determinación de la disipación

$$\Delta T \text{ (dB)} = S - S'$$

$$\Delta T \text{ (\%)} = \frac{S - S'}{S} \times 100$$

### b-) Resultados

No existen valores referenciales de disipación de sonido en muros de ladrillo, pero se han realizado mediciones en muros de ladrillo común. En el caso del muro de ladrillos el de papel+cemento disipa un 50% de lo que lo hace el de ladrillo común.

### 3.1.4. Comparación de resultados vs. ladrillo común

En el cuadro 4 se exponen las principales ventajas y desventajas elaborando una comparación entre los ladrillos de papel y cemento con los ladrillos comunes tipo C, respetando los requisitos generales y esenciales de la Norma Paraguaya NP 17 077 27.

**Cuadro 4: Comparativo entre ladrillos papel y cemento húmeda y ladrillos comunes**

Aspecto	Ladrillos de papel y cemento	Ladrillos comunes
		
<b>Peso aprox.</b>	476 g	1,25 kg
<b>Dimensiones</b>	21x11x4,5 cm	22x12x4,5 cm
<b>Clase Portante</b>	Clase C (mayor a 5Mpa)	Clase C (mayor a 5Mpa)
<b>Permeabilidad</b>	Clase A	Clase C
<b>Consistencia</b>	Sólida, compacta	Sólida, polvorienta
<b>Textura</b>	Rugosa	Rugosa
<b>Clase según requisitos generales</b>	Clase B	Clase B
<b>Costo del material puesto en obra (incluyendo fletes)</b>	Gs 492	Gs 598
<b>Proceso de fabricación</b>	Mezcla in situ, no se desprenden gases contaminantes	Explotación de canteras, cocción en hornos, quemados no homogéneos generan gases tóxicos como el CO2
<b>Tiempo de fabricación</b>	Mínimo 5 días, máximo 7 días, (incluyendo acarreo del material)	Máximo 7 días (incluyendo horneado)
<b>Infraestructura de fabricación</b>	In situ, materiales de albañilería	Hornos de olerías
<b>Porcentaje de desperdicio del material</b>	<b>Menor al 1%</b>	Entre el 4% al 7%

Fuente: Elaboración propia

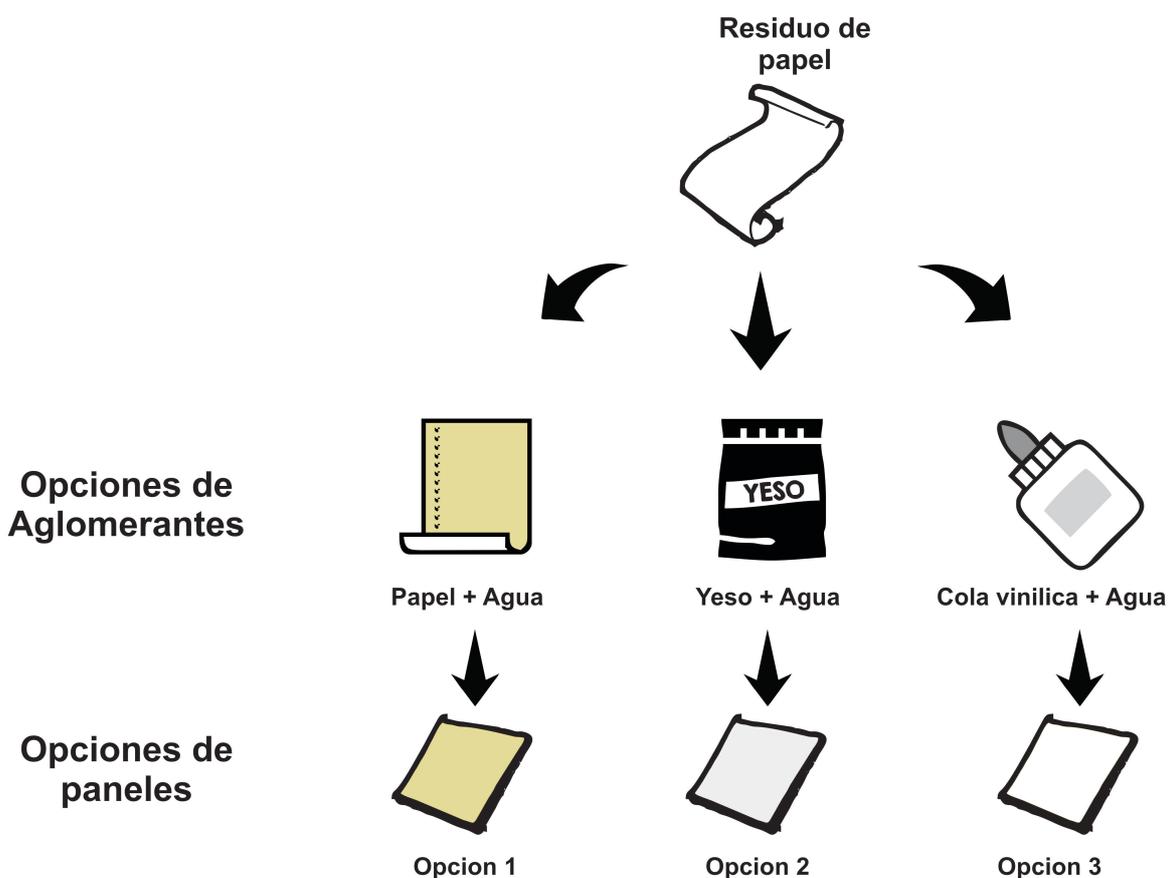
Si bien no hay grandes diferencias en cuanto a calidad de producto, si existe una amplia diferencia de peso (774g de diferencia), lo que simplifica en muchos aspectos la movilización del mampuesto, ya sea el traslado a obra, como así también el manejo interno del mismo. En cuanto a los costes, existe una diferencia de 106 Gs. que resulta más significativo teniendo en cuenta que los ladrillos se utilizan en gran cantidad en la construcción.

En cuanto a la permeabilidad, la calidad del ladrillo de papel y cemento incluso llega a ser superior, ya que en los ensayos arrojó un 9% de absorción, considerando la Norma Paraguaya NP 1702777 dice que la absorción máxima permitida en los ladrillos es de 25%.

### 3.2 Método de elaboración de Paneles de Papel

Para la propuesta de material alternativo se establecen 3 tipos de paneles: paneles se utilizan papel 100%; paneles con cola vinílica; y paneles con yeso

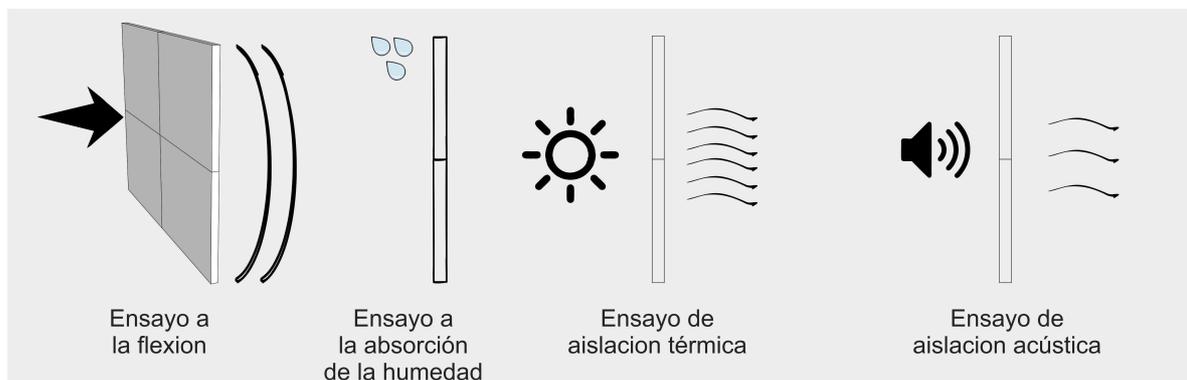
**Ilustración 17: Tipos de paneles establecidos**



Fuente: Elaboración propia

Las elaboraciones dependen directamente de la finalidad que se dará al uso del material, de esta manera se dividieron las pruebas para poder analizar las mejores propiedades del mismo Paneles: Resistencia térmica; Prueba disipación acústica; Resistencia a la flexión; y Prueba de absorción líquida

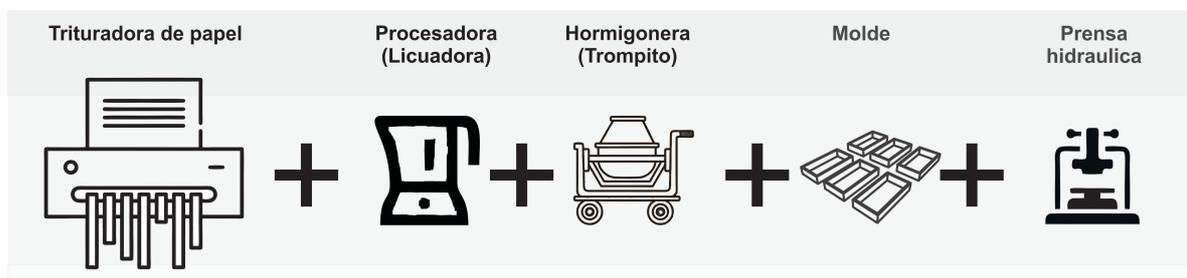
**Ilustración 18: Prueba para Paneles**



Fuente: Elaboración propia

Para poder elaborar los paneles se estudió distintas maneras de lograr conformar el panel, como pudimos observar en el estudio previo.

**Ilustración 19: Herramientas**



Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1 Panel 100% de papel

Como se observa con el ladrillo, el panel 100% sirve como buena referencia para poder determinar las propiedades del material con una aplicación distinta. El panel puede ser utilizado para la elaboración de tabiques y revestimientos sobre otros materiales.

La fabricación del panel en comparación al ladrillo presenta otras dificultades para su elaboración, por ello se explicará todo el proceso desde el momento que disponemos de la pasta de papel para la elaboración de los distintos tipos de paneles.



### 3.2.1.1. Dosificación Panel 100% de papel

Para la elaboración del panel 100% de papel, se opta por una dosificación 1:1 (papel y agua) que permitirá que el papel pueda descomponerse de manera eficaz en la trituración, con esto se logra obtener una pasta de papel maleable y moldeada en base al encofrado de la prensa hidráulica, con la que se eliminara gran porcentaje de agua y el sobrante se eliminara por evaporación.

### 3.2.1.2. Proceso de elaboración Paneles de papel 100%

El proceso de elaboración, comprende 7 pasos a seguir de la siguiente manera:

**Paso 1: Triturado del papel** Luego de la obtención de la materia prima y aglomerantes necesarios en medidas exactas para la determinación de la cantidad de unidades de paneles a elaborar, se recorta en proporciones mínimas el papel para poder facilitar la absorción del agua, para la agilización del trabajo se recomienda utilizar una trituradora eléctrica de papel marca Shredex © de esta manera el papel queda reducido a finas tiras.

**Paso 2: Remojo del Papel** Teniendo el papel en piezas diminutas, es sumergido al agua por 2 horas como mínimo, hasta que el papel haya logrado la mayor cantidad de absorción. Con esto el papel se debilita lo suficiente como para lograr convertirse en una pasta.

**Paso 3: Procesado del papel** El papel remojado debe ser vertido en una licuadora con un porcentaje de agua, pudiéndose aprovechar el mismo liquido por el cual fue remojado, con esto se forma una pasta de papel con la que se elaborara el ladrillo. El proceso de creación de la pasta, es el mismo que será utilizado en todas las otras presentaciones de ladrillos y paneles del estudio, para métodos prácticos los procesos de elaboración serán desde que la pasta este bien conformada.

**Paso 4: Prensado del panel** Se vierte 2kg de la pasta de papel a un molde de hierro de dimensiones 40cm de largo, 40cm de ancho y 10cm de alto, se tapa y se prensa con un gato hidráulico de 4 toneladas de presión para poder eliminar el excedente de agua a través del dreno del molde y poder transferirles cohesión a las partículas de papel del panel, de esta manera el ladrillo tiene mayor consistencia en su composición física.



**Paso 5: Desencofrado del panel** Se retira cuidadosamente la bandeja de las orejillas para su desencofrado, lentamente para evitar que se formen fisuras que repercutan en un mal producto.

**Paso 6: Reposo del producto** El panel debe estar sobre una superficie nivelada y cubierta con lona de polietileno para evitar el ingreso de la humedad, a su vez deben permanecer expuestos al sol y a la circulación del aire durante un mínimo de 24 horas.

**Paso 7: Almacenamiento** Luego de la clasificación de los mejores productos se almacenan los paneles en un espacio seco, preferentemente en estanterías que permitan una mejor organización de los mismos. Peso del panel: 800 g

Ilustración 20: Proceso de elaboración de paneles 100% de papel

### Paso 1 Triturado del Papel



### Paso 2 Remojo del Papel



### Paso 3 Procesado el papel



### Paso 4 Prensado del panel



### Paso 5 Desenfofrado del panel



### Paso 6 Reposo del producto



### Paso 7 Almacenamiento



Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1.3. Pruebas aplicadas a los Paneles 100% de papel

Se realizaron cuatro ensayos al panel para determinar sus capacidades de resistencia a la flexión, absorción de agua, disipación térmica y disipación acústica, los mismos fueron realizados en la Facultad de Ingeniería, junto con profesionales dedicados a la realización de ensayos de productos para la determinación de la calidad de los mismos.

#### 3.2.1.3.1. Prueba de Resistencia a la flexión a los Paneles 100% de papel

##### a-) Procedimiento

Se mide la longitud (l), el ancho del panel (b), la altura (h) del panel y se coloca sobre los apoyos para que la carga sea aplicada mediante el cabezal, en el punto medio de la luz. El sistema podrá estar compuesto por varillas lisas de acero o de madera de buena calidad de modo a que no se rompan durante el ensayo. Se aplica la carga en forma continua con una velocidad del cabezal adecuada (entre 1 y 2.5mm/min), luego se realiza una descripción de la falla que sufrió la probeta y la forma en la que progresó.

Se anota la carga máxima (P) o de rotura que se obtuvo durante el ensayo de la probeta.

##### Determinación de la Resistencia a la Flexión

$$f_f = 1,5 \times \frac{PL}{bh^2} \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

##### Donde:

- P es la carga de rotura en kg
- b y h son las medidas de la sección perpendicular al eje de la pieza en cm
- L es la luz del ensayo en cm

##### b-) Resultado

Las Normas Paraguayas no indican ningún valor de referencia de la resistencia a la flexión de los paneles, pero teniendo en cuenta los valores indicados en las EETT de la placa Cementicia Durlock® la resistencia a la flexión en situación seca al aire es de 80kg/cm<sup>2</sup>. Así también los paneles de papel presentaron excesivas deformaciones en los apoyos y en la zona de carga. El panel presenta deformaciones a partir de los 40,8kg/cm<sup>2</sup> de carga.



### 3.2.1.3.2. Prueba de absorción a los Paneles 100% de papel

#### a-) Procedimiento

Determinación de la absorción en paneles, y densidad se logra secando el material en horno por dos o 3 días hasta peso constante a  $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ , registrándose los pesos siendo este último el peso seco, se sumerge luego tres o cuatro días en agua completamente, hasta saturación (peso constante), se seca superficialmente con una toalla o trapo seco y se pesa, este es el peso húmedo.

#### Determinación de la Capacidad de Absorción

$$A = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} \times 100 [\%]$$

Donde:

- **A** es el % de absorción
- **M<sub>sss</sub>** es la masa saturada con superficie seca
- **M<sub>s</sub>** es la masa seca en estufa

#### b-) Resultado

Las Normas Paraguayas no indican ningún valor de referencia del porcentaje máximo permitido en paneles, de igual manera el panel de papel prensado presenta una absorción del 140% lo cual resulta ser un valor muy superior comparado a las demás probetas.

### 3.2.1.3.3. Prueba de disipación térmica a los Paneles 100% de papel

#### a-) Procedimiento

Se dispuso un bastidor con dos paneles de papel prensado en el suelo (piso de baldosa), con las estufas encendidas a 50cm de cada muro como fuente de calor, se realiza una medición cada 5 min hasta completar 6 mediciones cada 30min.

Las lecturas de temperatura se realizan con un termómetro infrarrojo en los puntos (T) por la cual incide directamente la fuente de calor y así también, se toman las lecturas de los puntos (T') del lado posterior a la cara por la cual incide directamente la fuente de calor.

#### Determinación de la disipación

$$\Delta T (^{\circ}\text{C}) = T - T'$$
$$\Delta T (\%) = \frac{T - T'}{T} \times 100$$

## **b-) Resultados**

Los paneles de papel prensado lograron disipar un promedio de 41,64% inferior a la cara que daba con respecto a la fuente de calor. No existen valores referenciales de disipación de calor en paneles y muros de ladrillos, pero teniendo en cuenta los valores obtenidos entre los paneles y ladrillos no existe variación significativa entre dichos valores.

### **3.2.1.3.4. Prueba de disipación acústica a los Paneles 100% de papel**

Se dispuso un bastidor con dos paneles de papel prensado en el suelo (piso de baldosa), con las fuentes de sonido encendidas a 50cm de cada muro, se realiza una medición cada 5 min hasta completar 6 mediciones cada 30min.

Las lecturas de sonido se realizan con una APP de celular (Sonógrafo) en los puntos (S) por la cual incide directamente la fuente de sonido y así también, se toman las lecturas de los puntos (S') del lado posterior a la cara por la cual incide directamente la fuente de sonido.

#### **Determinación de la disipación**

$$\Delta T (dB) = S - S'$$
$$\Delta T (\%) = \frac{S - S'}{S} \times 100$$

## **b-) Resultados**

No existen valores referenciales de disipación de sonido en paneles, pero se han realizado mediciones en cerramientos de Durlock®. En el caso del panel de papel prensado disipa un 64% de lo que lo hace un cerramiento de Durlock® lo que lo hace inferior en cuanto a su calidad de aislante acústico.

### **3.2.2 Panel de Papel con cola vinílica**

El uso que tendrá el panel influye mucho en las características deseadas. Se busca un panel liviano, resistente y con capacidades aislantes, ya sean térmicas o acústicas para poder ser usado como revestimiento. Para ello se agrega a la pasta de papel, la cola vinílica que como se puede ver en el caso del ladrillo es un polímero impermeable que aumenta la capacidad de cohesión de las partículas de la argamasa.



### 3.2.2.1. Dosificación Panel con cola vinílica

Para la elaboración del panel de papel y cola vinílica como aglomerante, se opta por una dosificación 1:6 (cola vinílica diluida en agua y pasta de papel) que permitirá que el papel pueda mezclarse de manera eficaz en la trituración, con esto se logra obtener una pasta de papel maleable y moldeada en base al encofrado de la prensa hidráulica, con la que se eliminara gran porcentaje de agua y el sobrante se eliminara por evaporación.

### 3.2.2.2. Proceso de elaboración Paneles con cola vinílica

El proceso de elaboración, comprende 8 pasos a seguir de la siguiente manera:

**Paso 1: Triturado del papel** Luego de la obtención de la materia prima y aglomerantes necesarios en medidas exactas para la determinación de la cantidad de unidades de paneles a elaborar, se recorta en proporciones mínimas el papel para poder facilitar la absorción del agua, para la agilización del trabajo se recomienda utilizar una trituradora eléctrica de papel marca Shredex © de esta manera el papel queda reducido a finas tiras.

**Paso 2: Remojo del Papel** Teniendo el papel en piezas diminutas, es sumergido al agua por 2 horas como mínimo, hasta que el papel haya logrado la mayor cantidad de absorción. Con esto el papel se debilita lo suficiente como para lograr convertirse en una pasta.

**Paso 3: Procesado del papel** El papel remojado debe ser vertido en una licuadora con un porcentaje de agua, pudiéndose aprovechar el mismo líquido por el cual fue remojado, con esto se forma una pasta de papel con la que se elaborara el ladrillo. El proceso de creación de la pasta, es el mismo que será utilizado en todas las otras presentaciones de ladrillos y paneles del estudio, para métodos prácticos los procesos de elaboración serán desde que la pasta este bien conformada.

**Paso 4: Preparación de la argamasa** Utilizando una mezcladora, también conocida como trompito. Se optó por una dosificación convencional la cual es la 1:6 (cola vinílica diluida en agua y papel); con esto se logra preparar 1 unidad de panel por cada dosificación, utilizando 760 ml de cola vinílica y 2 kg de pasta de papel.

**Paso 5: Prensado del panel** Se vierte 2.7kg de la mezcla a un molde de hierro de dimensiones 40cm de largo, 40cm de ancho y 10cm de alto, se tapa y se prensa con un gato hidráulico de 4 toneladas de presión para poder eliminar el



excedente de agua a través del dreno del molde y poder transferirles cohesión a las partículas de papel del panel, de esta manera el ladrillo tiene mayor consistencia en su composición física.

**Paso 6: Desencofrado del panel** Se retira cuidadosamente la bandeja de las orejillas para su desencofrado, lentamente para evitar que se formen fisuras que repercutan en un mal producto.

**Paso 7: Reposo del producto** El panel debe estar sobre una superficie nivelada y cubierta con lona de polietileno para evitar el ingreso de la humedad, a su vez deben permanecer expuestos al sol y a la circulación del aire durante un mínimo de 72 horas.

**Paso 8: Almacenamiento** Luego de la clasificación de los mejores productos se almacenan los paneles en un espacio seco, preferentemente en estanterías que permitan una mejor organización de los mismos. Peso del panel: 690 g

Ilustración 21: Proceso de elaboración de paneles con cola vinílica

### Paso 1 Triturar el Papel



### Paso 2 Remojo del Papel



### Paso 3 Procesar el papel



### Paso 4 Preparación de la argamasa



### Paso 5 Prensado del panel



### Paso 6 Desencofrado del panel



### Paso 7 Reposo del producto



### Paso 8 Almacenamiento



Fuente: Elaboración propia

### 3.2.2.3. Pruebas aplicadas a los Panel con cola vinílica

Se realizaron cuatro ensayos al panel para determinar sus capacidades de resistencia a la flexión, absorción de agua, disipación térmica y disipación acústica, los mismos fueron realizados en la Facultad de Ingeniería, junto con profesionales dedicados a la realización de ensayos de productos para la determinación de la calidad de los mismos.

#### 3.2.2.3.1. Prueba de Resistencia a la flexión a los Paneles de papel con cola vinílica

##### a-) Procedimiento

Se mide la longitud (l), el ancho del panel (b), la altura (h) del panel y se coloca sobre los apoyos para que la carga sea aplicada mediante el cabezal, en el punto medio de la luz. El sistema podrá estar compuesto por varillas lisas de acero o de madera de buena calidad de modo a que no se rompan durante el ensayo. Se aplica la carga en forma continua con una velocidad del cabezal adecuada (entre 1 y 2.5mm/min), luego se realiza una descripción de la falla que sufrió la probeta y la forma en la que progresó.

Se anota la carga máxima (P) o de rotura que se obtuvo durante el ensayo de la probeta.

##### Determinación de la Resistencia a la Flexión

$$f_f = 1,5 \times \frac{PL}{bh^2} \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

##### Donde:

- **P** es la carga de rotura en kg
- **b y h** son las medidas de la sección perpendicular al eje de la pieza en cm
- **L** es la luz del ensayo en cm

##### b-) Resultado

Las Normas Paraguayas no indican ningún valor de referencia de la resistencia a la flexión de los paneles, pero teniendo en cuenta los valores indicados en las EETT de la placa Cementicia Durlock® la resistencia a la flexión en situación seca al aire es de 80kg/cm<sup>2</sup>. Así también los paneles de papel presentaron excesivas deformaciones en los apoyos y en la zona de carga. El panel de papel con cola



vinílica presenta deformaciones a partir de los 22,56kg/cm<sup>2</sup> de carga lo que la hace vulnerable.

### 3.2.2.3.2. Prueba absorción a los Paneles de papel con cola vinílica

#### a-) Procedimiento

Determinación de la absorción en paneles, y densidad se logra secando el material en horno por dos o 3 días hasta peso constante a 105°C±5°C, registrándose los pesos siendo este último el peso seco, se sumerge luego tres o cuatro días en agua completamente, hasta saturación (peso constante), se seca superficialmente con una toalla o trapo seco y se pesa, este es el peso húmedo.

#### Determinación de la Capacidad de Absorción

$$A = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} \times 100 [\%]$$

Donde:

- **A** es el % de absorción
- **M<sub>sss</sub>** es la masa saturada con superficie seca
- **M<sub>s</sub>** es la masa seca en estufa

#### b-) Resultado

Las Normas Paraguayas no indican ningún valor de referencia del porcentaje máximo permitido en paneles, de igual manera el panel de papel con cola vinílica presento una absorción del 58% lo cual resulta ser un valor inferior comparado a las demás probetas.

### 3.2.2.3.3. Prueba de disipación térmica a los Paneles de papel con cola vinílica

#### a-) Procedimiento

Se dispuso un bastidor con dos paneles de papel con cola vinílica en el suelo (piso de baldosa), con las estufas encendidas a 50cm de cada muro como fuente de calor, se realiza una medición cada 5 min hasta completar 6 mediciones cada 30min.

Las lecturas de temperatura se realizan con un termómetro infrarrojo en los puntos (T) por la cual incide directamente la fuente de calor y así también, se toman las lecturas de lo puntos (T') del lado posterior a la cara por la cual incide directamente la fuente de calor.

### Determinación de la disipación

$$\Delta T (^{\circ}\text{C}) = T - T'$$
$$\Delta T (\%) = \frac{T - T'}{T} \times 100$$

#### b-) Resultados

Los paneles de papel con cola vinílica lograron disipar un promedio de 40,90% inferior a la cara que daba con respecto a la fuente de calor. No existen valores referenciales de disipación de calor en paneles y muros de ladrillos, pero teniendo en cuenta los valores obtenidos entre los paneles y ladrillos no existe variación significativa entre dichos valores.

#### 3.2.2.3.4. Prueba de disipación acústica a los Paneles 100% de papel

Se dispuso un bastidor con dos paneles de papel con cola vinílica en el suelo (piso de baldosa), con las fuentes de sonido encendidas a 50cm de cada muro, se realiza una medición cada 5 min hasta completar 6 mediciones cada 30min.

Las lecturas de sonido se realizan con una APP de celular (Sonógrafo) en los puntos (S) por la cual incide directamente la fuente de sonido y así también, se toman las lecturas de lo puntos (S') del lado posterior a la cara por la cual incide directamente la fuente de sonido.

### Determinación de la disipación

$$\Delta T (\text{dB}) = S - S'$$
$$\Delta T (\%) = \frac{S - S'}{S} \times 100$$

#### b-) Resultados

No existen valores referenciales de disipación de sonido en paneles, pero se han realizado medición en cerramientos de Durlock®. En el caso del panel de papel con cola vinílica disipa un 8% de lo que lo hace un cerramiento de Durlock® lo que lo hace inferior en cuanto a su calidad de aislante acústico.

#### 3.2.3 Panel de papel con yeso

El yeso es sulfato de calcio semihidratado, un mineral muy común que se comercializa en forma de polvo, que al ser mezclado con agua se convierte en una masa con partículas muy finas de fácil amasado. La dureza del yeso es muy baja, se quiebra con mucha facilidad, pero en contrapartida posee gran resistencia al calor,



propiedad que puede ser de gran utilidad dependiendo el uso final que se le dé al panel.

### 3.2.3.1. Dosificación Panel con yeso

Para la elaboración del panel de papel y cola vinílica como aglomerante, se opta por una dosificación 1:10 (yeso y pasta de papel) que permitirá que el papel pueda mezclarse de manera eficaz en la trituración, con esto se logra obtener una pasta de papel maleable y moldeada en base al encofrado de la prensa hidráulica, con la que se eliminara gran porcentaje de agua y el sobrante se eliminara por evaporación.

### 3.2.3.2. Proceso de elaboración Paneles con cola vinílica

El proceso de elaboración, comprende 8 pasos a seguir de la siguiente manera:

**Paso 1: Triturado del papel** Luego de la obtención de la materia prima y aglomerantes necesarios en medidas exactas para la determinación de la cantidad de unidades de paneles a elaborar, se recorta en proporciones mínimas el papel para poder facilitar la absorción del agua, para la agilización del trabajo se recomienda utilizar una trituradora eléctrica de papel marca Shredex © de esta manera el papel queda reducido a finas tiras.

**Paso 2: Remojo del Papel** Teniendo el papel en piezas diminutas, es sumergido al agua por 2 horas como mínimo, hasta que el papel haya logrado la mayor cantidad de absorción. Con esto el papel se debilita lo suficiente como para lograr convertirse en una pasta.

**Paso 3: Procesado del papel** El papel remojado debe ser vertido en una licuadora con un porcentaje de agua, pudiéndose aprovechar el mismo líquido por el cual fue remojado, con esto se forma una pasta de papel con la que se elaborara el ladrillo. El proceso de creación de la pasta, es el mismo que será utilizado en todas las otras presentaciones de ladrillos y paneles del estudio, para métodos prácticos los procesos de elaboración serán desde que la pasta este bien conformada.

**Paso 4: Preparación de la argamasa** Utilizando una mezcladora, también conocida como trompito. Se optó por una dosificación convencional la cual es la 1:10 (Yeso y papel); con esto se logra preparar 1 unidad de panel por cada dosificación, utilizando 1 kg de yeso y 3.2 kg de pasta de papel.



**Paso 5: Prensado del panel** Se vierte 4.2kg de la mezcla a un molde de hierro de dimensiones 40cm de largo, 40cm de ancho y 10cm de alto, se tapa y se prensa con un gato hidráulico de 4 toneladas de presión para poder eliminar el excedente de agua a través del dreno del molde y poder transferirles cohesión a las partículas de papel del panel, de esta manera el ladrillo tiene mayor consistencia en su composición física.

**Paso 6: Desencofrado del panel** Se retira cuidadosamente la bandeja de las orejillas para su desencofrado, lentamente para evitar que se formen fisuras que repercutan en un mal producto.

**Paso 7: Reposo del producto** El panel debe estar sobre una superficie nivelada y cubierta con lona de polietileno para evitar el ingreso de la humedad, a su vez deben permanecer expuestos al sol y a la circulación del aire durante un mínimo de 24 horas.

**Paso 8: Almacenamiento** Luego de la clasificación de los mejores productos se almacenan los paneles en un espacio seco, preferentemente en estanterías que permitan una mejor organización de los mismos. Peso del panel: 1.6 kg

Ilustración 22: Proceso de elaboración de paneles con yeso

### Paso 1 Triturar el Papel



### Paso 2 Remojo del Papel



### Paso 3 Procesar el papel



### Paso 4 Preparación de la argamasa



### Paso 5 Prensado del panel



### Paso 6 Desenfofrado del panel



### Paso 7 Reposo del producto



### Paso 8 Almacenamiento



Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3.3. Pruebas aplicadas a los Panel con yeso

Se realizaron cuatro ensayos al panel para determinar sus capacidades de resistencia a la flexión, absorción de agua, disipación térmica y disipación acústica, los mismos fueron realizados en la Facultad de Ingeniería, junto con profesionales dedicados a la realización de ensayos de productos para la determinación de la calidad de los mismos.

#### 3.2.3.3.1. Prueba de Resistencia a la flexión a los Paneles de Papel y yeso

##### a-) Procedimiento

Se mide la longitud (l), el ancho del panel (b), la altura (h) del panel y se coloca sobre los apoyos para que la carga sea aplicada mediante el cabezal, en el punto medio de la luz. El sistema podrá estar compuesto por varillas lisas de acero o de madera de buena calidad de modo a que no se rompan durante el ensayo. Se aplica la carga en forma continua con una velocidad del cabezal adecuada (entre 1 y 2.5mm/min), luego se realiza una descripción de la falla que sufrió la probeta y la forma en la que progresó.

Se anota la carga máxima (P) o de rotura que se obtuvo durante el ensayo de la probeta.

##### Determinación de la Resistencia a la Flexión

$$f_f = 1,5 \times \frac{PL}{bh^2} \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

##### Donde:

- P es la carga de rotura en kg
- b y h son las medidas de la sección perpendicular al eje de la pieza en cm
- L es la luz del ensayo en cm

##### b-) Resultado

Las Normas Paraguayas no indican ningún valor de referencia de la resistencia a la flexión de los paneles, pero teniendo en cuenta los valores indicados en las EETT de la placa Cementicia Durlock® la resistencia a la flexión en situación seca al aire es de 80kg/cm<sup>2</sup>. El panel de papel y yeso presenta deformaciones a partir de los 62,4kg/cm<sup>2</sup> de carga lo que la hace inferior a un panel de Durlock® pero de mayor acercamiento a su calidad de producto.



### 3.2.3.3.2. Prueba de absorción a los Paneles de Papel y yeso

#### a-) Procedimiento

Determinación de la absorción en paneles, y densidad se logra secando el material en horno por dos o 3 días hasta peso constante a  $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ , registrándose los pesos siendo este último el peso seco, se sumerge luego tres o cuatro días en agua completamente, hasta saturación (peso constante), se seca superficialmente con una toalla o trapo seco y se pesa, este es el peso húmedo.

#### Determinación de la Capacidad de Absorción

$$A = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} \times 100 [\%]$$

Donde:

- **A** es el % de absorción
- **M<sub>sss</sub>** es la masa saturada con superficie seca
- **M<sub>s</sub>** es la masa seca en estufa

#### b-) Resultado

Las Normas Paraguayas no indican ningún valor de referencia del porcentaje máximo permitido en paneles, de igual manera el panel de papel con yeso presento una absorción del 106% lo cual resulta ser un valor muy alto comparado a las demás probetas.

### 3.2.3.3.3. Prueba de disipación térmica a los Paneles de Papel y yeso

#### a-) Procedimiento

Se dispuso un bastidor con dos paneles de papel con yeso en el suelo (piso de baldosa), con las estufas encendidas a 50cm de cada muro como fuente de calor, se realiza una medición cada 5 min hasta completar 6 mediciones cada 30min.

Las lecturas de temperatura se realizan con un termómetro infrarrojo en los puntos (T) por la cual incide directamente la fuente de calor y así también, se toman las lecturas de lo puntos (T') del lado posterior a la cara por la cual incide directamente la fuente de calor.

### Determinación de la disipación

$$\Delta T (^{\circ}\text{C}) = T - T'$$
$$\Delta T (\%) = \frac{T - T'}{T} \times 100$$

#### b-) Resultados

Los paneles de papel con yeso lograron disipar un promedio de 40,03% inferior a la cara que daba con respecto a la fuente de calor. No existen valores referenciales de disipación de calor en paneles y muros de ladrillos, pero teniendo en cuenta los valores obtenidos entre los paneles y ladrillos no existe variación significativa entre dichos valores.

#### 3.2.3.3.4. Prueba de disipación acústica a los Paneles de Papel y yeso

Se dispuso un bastidor con dos paneles de papel con yeso en el suelo (piso de baldosa), con las fuentes de sonido encendidas a 50cm de cada muro, se realiza una medición cada 5 min hasta completar 6 mediciones cada 30min.

Las lecturas de sonido se realizan con una APP de celular (Sonógrafo) en los puntos (S) por la cual incide directamente la fuente de sonido y así también, se toman las lecturas de lo puntos (S') del lado posterior a la cara por la cual incide directamente la fuente de sonido.

### Determinación de la disipación

$$\Delta T (\text{dB}) = S - S'$$
$$\Delta T (\%) = \frac{S - S'}{S} \times 100$$

#### b-) Resultados

No existen valores referenciales de disipación de sonido en paneles, pero se han realizado medición en cerramientos de Durlock®. En el caso del panel de papel con yeso disipa un 42% de lo que lo hace un cerramiento de Durlock.

### 3.3. Cuadro comparativo de ventajas y desventajas de los paneles de papel y yeso con las placas de Durlock®

En el siguiente cuadro podremos visualizar las ventajas y desventajas del panel de papel y yeso con respecto a las placas de Durlock®. Como no existe una norma que establezca requisitos minimos de calidad, se tomara como referencia las especificaciones técnicas que poseen las placas de Durlock®.

**Cuadro 5: Comparativo entre paneles de papel y yeso y placas de Durlock®**

	Panel de papel y Yeso	Placas de Durlock®
<b>Aspecto</b>		
<b>Peso aprox.</b>	1.6 kg	16 kg
<b>Dimensiones</b>	40x40x4,5 cm	7mm x 1.2 x 2.4 m
<b>Clase Portante</b>	45 mm ≥ 6 MPa	12.5 mm ≥ 10 MPa
<b>Permeabilidad</b>	Consumo máximo de agua luego de una inmersión total de 2hs: < 106%	Consumo máximo de agua luego de una inmersión total de 2hs: < 3%
<b>Consistencia</b>	Sólida, compacta	Sólida, polvorienta
<b>Textura</b>	Rugosa	Lisa
<b>Clase según requisitos generales</b>	Clase B	Clase A
<b>Costo del material x m2 puesto en obra (incluyendo fletes)</b>	Gs 62.850	Gs 143.000
<b>Proceso de fabricación</b>	Mezcla in situ, no se desprenden gases contaminantes	Proceso de elaboración industrial en el que se generan muchos residuos
<b>Tiempo de fabricación</b>	Mínimo 7 días, máximo 15 días, (incluyendo acarreo del material)	Máximo 7 días (incluyendo El acarreo del material)
<b>Infraestructura de fabricación</b>	In situ, materiales de albañilería	Sistema de fabricación en serie, requiere maquinaria compleja y personal capacitado
<b>Porcentaje de desperdicio del material</b>	Menor al 1%	Entre el 8% al 12%

Fuente: Elaboración propia

Existe una amplia diferencia en cuanto a los costos de elaboración, teniendo un valor del 49% inferior del coste del panel de papel y yeso con respecto a la placa de Durlock®. Además de ser un material muchos más liviano que el producto convencional, lo que deriva en ciertas facilidades constructivas y de traslado.

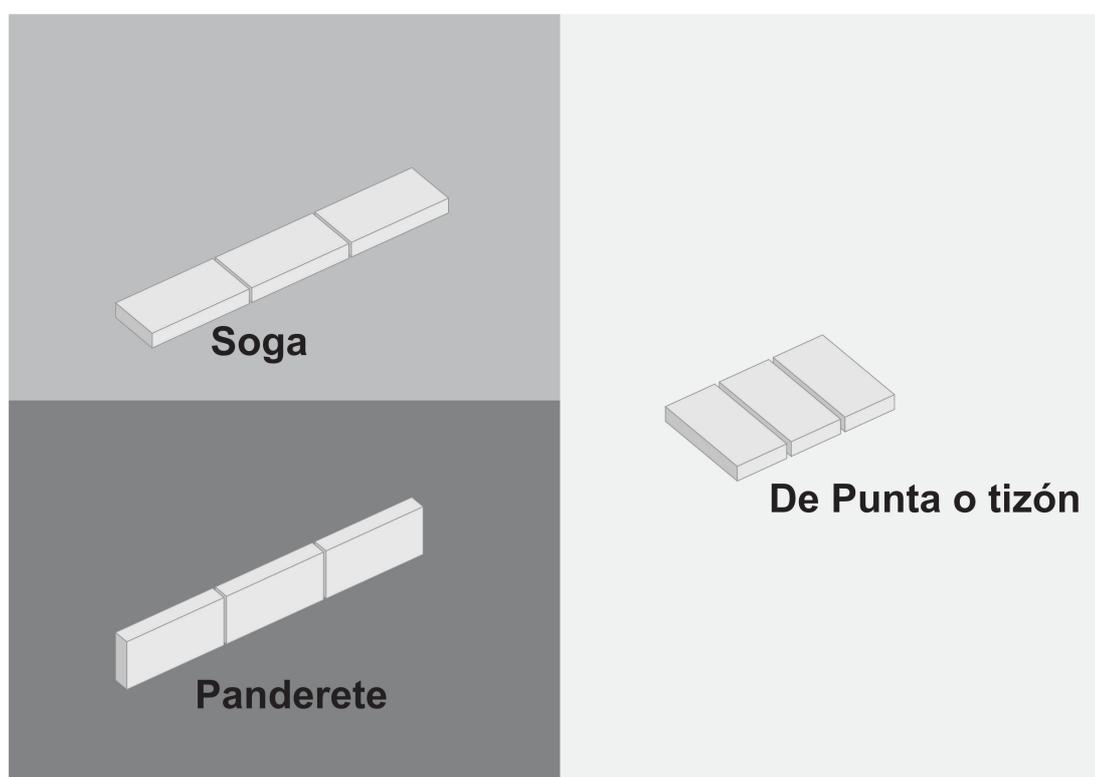
## **CAPÍTULO IV: COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES DE PRUEBA ANTE LAS SOLICITACIONES A LAS QUE ESTARÍAN EXPUESTOS AL USARSE COMO LADRILLOS O PANELES**

Ya se conoce el comportamiento del material en general, y en este capítulo se llevará el material directamente a la prueba en el campo de la construcción, se determinará su comportamiento ante los distintos factores a los que estarán expuestos.

### **4.1. Comportamiento del ladrillo papel**

Para determinar el comportamiento in-situ se realizó un pequeño muro de al cual no se le proporcionó de cimientos, pilares ni varillas de ningún tipo debido a que el ladrillo de cemento posee la capacidad autoportante y se le dará un uso de carácter interno, por lo cual fue sometido a pruebas a la intemperie, así simulando el peor panorama posible para el muro. El muro será expuesto a reacciones a la humedad, lluvias y exposición al calor prolongado del sol.

**Ilustración 23: Trabados de ladrillo**



Fuente: Elaboración propia



Para la elaboración del muro fue necesario la cantidad de 66 unidades de ladrillos, que para su desarrollo fue necesario 2 días de elaboración de ladrillo y medio día para poder levantar el muro. Un mortero 1:6 (1: cemento 6: arena) para levantar el muro y un pequeño revoque de 2 cm de espesor en ambas caras 1:3 (1: cemento 3: arena) para dotarle de más resistencia al agua y un mejor acabado. Una vez concluido el muro es puesto en observación durante 30 días, con días muy calurosos, húmedos y con algunas lluvias. Se registraron 11 días de lluvia y 19 días de sol, con una exposición hacia el noreste. La temperatura media durante el periodo de observación fue de unos 28 °C.

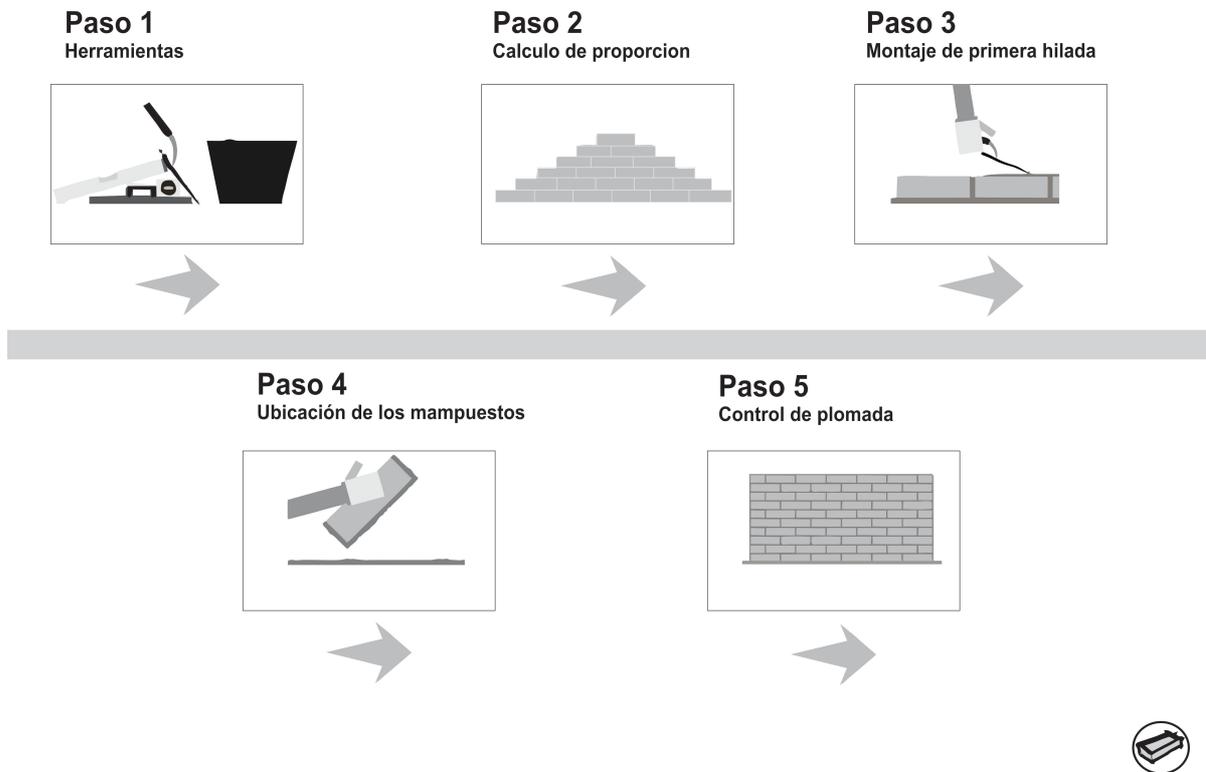
Al concluir el experimento se observa que la integridad física del muro es buena, no presenta rajaduras ni fisuras de ningún tipo, determinando que poseen buena capacidad autoportante. Posee pequeñas manchas de humedad debido a la absorción del material que llega a un 9% de su peso inicial, pero sin comprometer la integridad del muro.

También se observa que el muro de ladrillos de papel es más compacto que un muro elaborado de ladrillo común ya que estos desprenden polvo y se descascaran con mayor facilidad al ser raspados.

Ambas mamposterías fueron analizadas mediante un termómetro infrarrojo para medir la transmisión y capacidad de disipación del calor. El muro de ladrillos de papel siempre se mantuvo unos 3°C más frío que el muro de ladrillo común, indicando así que pueden ser utilizados como material aislante.

Queda demostrado que el ladrillo de papel y cemento puede ser utilizado para la construcción de muros de viviendas interiores. El mismo muro mejorará aún más todas sus capacidades si es protegido por un revoque.

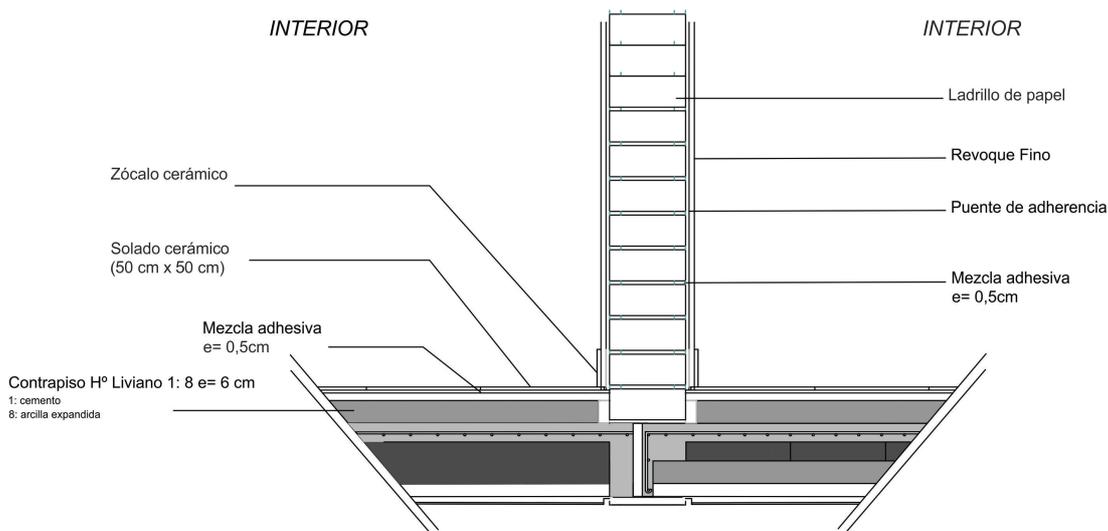
### Ilustración 24: Proceso de construcción del muro



Fuente: Elaboración propia

El sistema constructivo empleado son los cerramientos verticales para muros de mampostería de 0,15 metros de espesor. El ladrillo seleccionado para la prueba es el ladrillo de papel con cemento debido a su gran ventaja portante. El ladrillo es ubicado uno encima de otro para poder conformar el muro y formar ambientes internos independientes. Los muros de ladrillos papel se van colocando con trabado “a sogá” que es el más común, y estos son colocados con mortero de cemento y arena 1:6. (dosificación:1 de cemento portland y 6 de arena con juntas de 1,5 cm de espesor.

### Ilustración 25: Detalle constructivo



Fuente: Elaboración propia

#### 4.2. Comportamiento del panel de papel

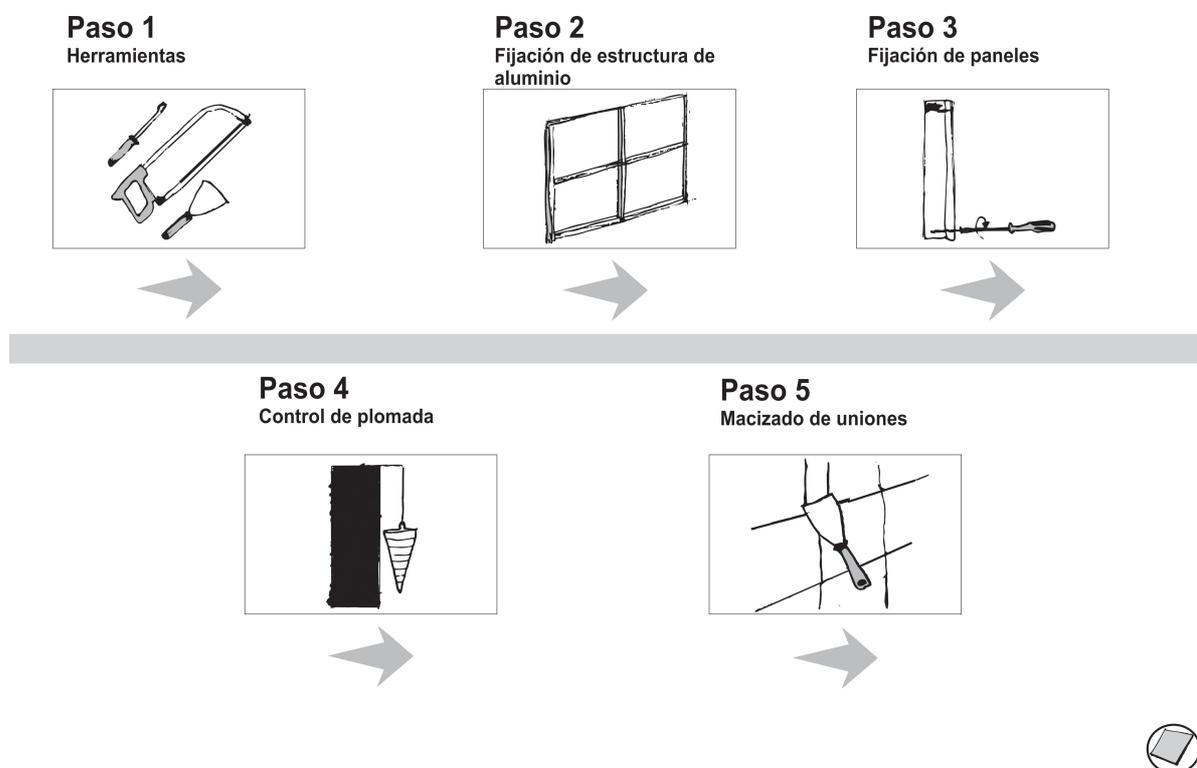
Se examinó el comportamiento del panel de papel y yeso fijado a su bastidor de aluminio de 0,40 m x 0.40 m, serían unos 0.16 metros cuadrados. El panel es recubierto por 1 panel de papel y yeso de cada lado dejando un colchón de aire en el centro de 10 cm. El uso del tabique de paneles será de carácter interno como los ladrillos, para ello fue sometido al peor de los escenarios, exposición a la intemperie, lluvias, humedad y calor bajo el sol. El periodo de observación duro 30 días, como la prueba con los ladrillos. Se registraron 11 días de lluvia y 19 días de sol, con una media de temperatura de 28 °C y una orientación noreste.

Al finalizar el experimento podemos observar que el panel se encuentra en buen estado a pesar de haber aumentado su peso más del 100% debido a las lluvias y su capacidad de absorción, demostrando así su resistencia y durabilidad como también queda demostrado que el panel no puede ser utilizado para el exterior.

El tabique cubierto con el panel de yeso fue analizado con un termómetro infrarrojo, sufriendo variaciones de no más de 4 °c con respecto a su temperatura inicial del lado expuesto al sol directamente. El otro lado presentó una variación de menos de 1 °C, demostrando así su excelente capacidad como aislante térmico.

Queda demostrado que el panel de papel con yeso puede ser utilizado como revestimiento interno de tabiques o paredes dentro de una vivienda, proporcionando buena aislación térmica.

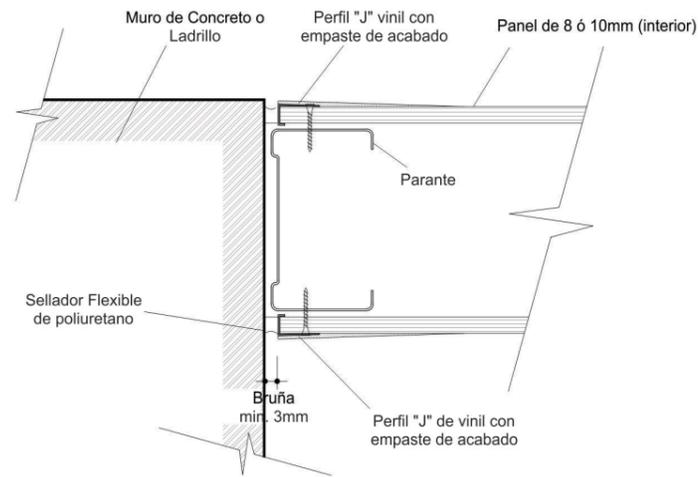
### Ilustración 26: Construcción del tabique de panel de yeso con estructura de aluminio



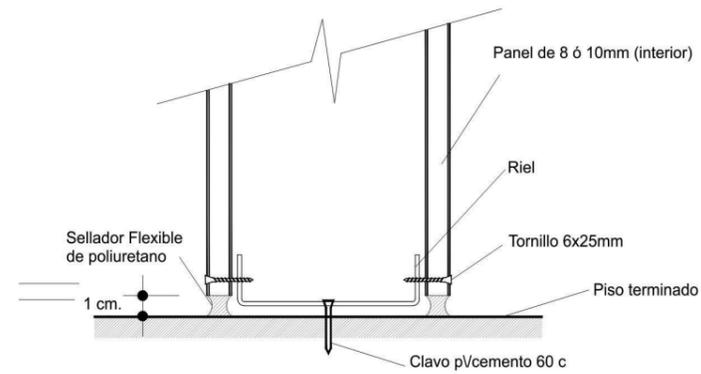
Fuente: Elaboración propia

En el caso del panel el sistema constructivo seleccionado para la utilización del mismo es el revestimiento de muros existentes o conformación de tabiques independientes con estructura de aluminio. Para poder ser utilizado como revestimiento el panel es fijado a la estructura de aluminio con tornillos de 2 pulgadas. El panel seleccionado para la prueba es el panel con yeso, debido a su capacidad como aislante térmico y acústico. El panel es fijado por 5 tornillos, uno en cada vértice y uno en el centro.

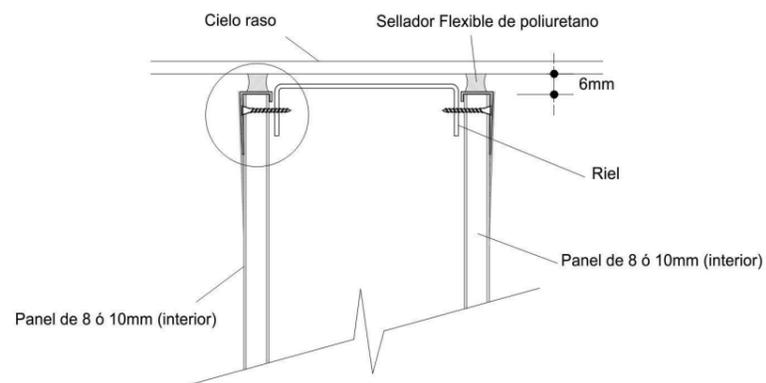
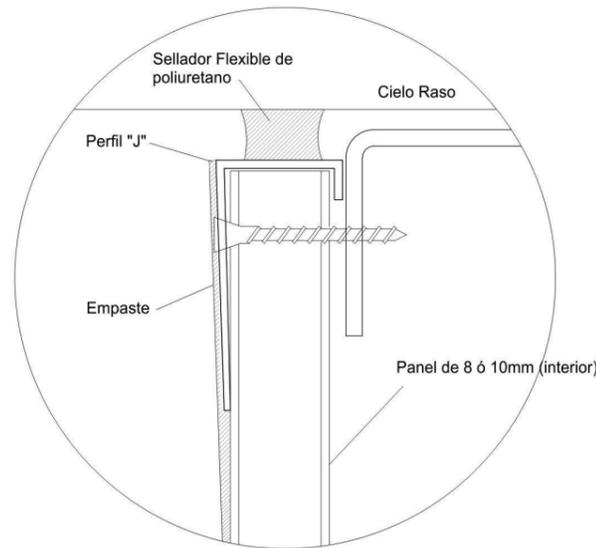
**Ilustración 27: Sistema de uso de panel**



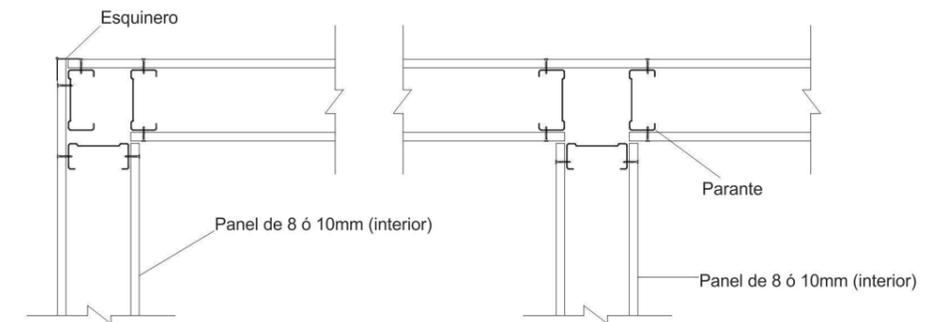
**DETALLE DE ENCUENTRO DE TABIQUE PANEL DE PAPEL CON MURO DE LADRILLO**



**DETALLE DE ENCUENTRO DE TABIQUE DE PAPEL Y PISO**



**DETALLE DE ENCUENTRO DE TABIQUE DE PANEL DE PAPEL CON MURO DE LADRILLO**



**ENCUENTRO DE TABIQUE DRYWALL EN "L" Y "T"**

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO V: DETERMINAR EL COSTO DE LOS MATERIALES ELABORADOS**

A continuación, se realiza un estudio actual de los materiales más tradicionales que tienen el mismo uso de los ladrillos y paneles de papel en el mercado del Paraguay a la fecha de elaboración del estudio, para la comparación de costos de elaboración y mano de obra del mismo. Para realizar un análisis de costos real, y poder determinar las diferencias entre la tecnología convencional y la propuesta, se elabora un cómputo y presupuesto detallado de un módulo de muro tradicional en comparación a ambos casos (Ladrillo y Panel de papel).

### **5.1. Análisis comparativo de la tecnología propuesta para ladrillos con el ladrillo común**

Luego del análisis de los distintos sistemas constructivos en cada situación, se puede determinar que la tecnología propuesta tiene ciertas ventajas en cuanto a la liviandad del material, por lo que agiliza el proceso de elaboración, aumentando la productividad de la ejecución de la obra. Además, posee ciertas cualidades termo-acústicas, debido a las propiedades de la materia prima en sí, también en lo económico, resulta ser 35,7% inferior en costos totales.

#### **5.1.1. Costo de elaboración de 1 muro de ladrillo común**

En el cuadro nro. 4 se determina el costo desglosado de un muro de ladrillos convencional, en el que existen varios requerimientos necesarios para que la mampostería pueda funcionar como cerramiento, como lo son materiales que soporten el peso de los mampuestos.

**Cuadro 6: Pared de ladrillos comunes, de espesor 0.15 con mano de obra**

RUBRO	UNIDAD	P. UNITARIO	CANT.	P. TOTAL
Cimiento de Piedra Bruta Colocada con cal	m3	¢ 253.756	0,21	¢ 53.289
Mamposteria de Nivelacion con ladrillo comun de 0,30m de ancho	m2	¢ 155.521	0,6	¢ 93.313
Aislacion Horizontal	m2	¢ 18.000	0,6	¢ 10.800
Mamposteria de ladrillos comunes 0,15m	m2	¢ 53.930	1	¢ 53.930
Azotada impermeable	m2	¢ 12.423	1	¢ 12.423
Revoque de paredes a 1 capa, espesor 1,5cm con hidrofugo	m2	¢ 28.721	1	¢ 28.721
<b>TOTAL POR M2</b>				<b>¢ 252.475</b>

Fuente: Revista mandu´a Febrero 2021..

### 5.1.2. Costo de elaboración de 1 Ladrillo de Papel y cemento

En el cuadro nro. 5 se determina el costo desglosado de la elaboración por m2 del ladrillo de papel y cemento, con esto se podrá obtener un precio unitario que a su vez permita su comercialización y una comparación objetiva entre un ladrillo común y el prototipo.

**Cuadro 7: Análisis de costo por m2 de Ladrillo de Papel y cemento**

RUBRO	UNIDAD	P. UNITARIO	CANT.	P. TOTAL
Diarios reciclados, papeles y documentos de utileria en desuso	kg	¢ 1.200	13,2	¢ 15.840
Cemento portland	kg	¢ 1.500	1	¢ 1.500
Agua	Lts.	¢ 1,23	92,4	¢ 114
Mano de obra	m2	¢ 15.000	1	¢ 15.000
<b>TOTAL</b>				<b>¢ 32.454</b>

Fuente: Elaboración propia en base a fuentes variables.

### 5.1.3. Costo de la pared producida con el ladrillo de papel y cemento

En el cuadro nro. 6 se determina el costo desglosado de un muro de ladrillos de papel y cemento, en el que se logran reducir los costes en la cimentación y mismo así el valor por m2 de los ladrillos.

**Cuadro 8: Pared de ladrillos de papel y cemento, de espesor 0.15 con mano de obra**

RUBRO	UNIDAD	P. UNITARIO	CANT.	P. TOTAL
Cimientacion con ladrillos comunes de 0,30m de ancho y 50cm de profundidad, Mano de obra incluida.	m2	₡ 155.521	0,5	₡ 77.761
Aislacion Horizontal	m2	₡ 18.000	0,6	₡ 10.800
Ladrillos elaborados con papel y cemento, espesor 0,15 mts.	m2	₡ 32.454	1	₡ 32.454
Azotada impermeable	m2	₡ 12.423	1	₡ 12.423
Revoque de paredes a 1 capa, espesor 1,5cm con hidrofugo	m2	₡ 28.721	1	₡ 28.721
<b>TOTAL</b>				<b>₡ 162.159</b>

Fuente: Elaboración propia en base a fuentes variables.

## 5.2. Análisis comparativo de la tecnología propuesta para paneles con otras tecnologías en el mercado

Luego del análisis de los distintos sistemas constructivos en cada situación, se puede determinar que la tecnología propuesta tiene ciertas ventajas en cuanto a la liviandad del material, por lo que agiliza el proceso de elaboración, aumentando la productividad de la ejecución de la obra. En lo económico, resulta ser 16,8% inferior en costos totales.

### 5.2.1. Costo de un tabique de construido con Durlock ©

En el cuadro nro. 9 se determina el costo desglosado de un tabique de Durlock, que servirá de comparativo con el panel de papel y yeso

**Cuadro 9: Costo de un tabique construido con Durlock©**

RUBRO	UNIDAD	P. UNITARIO	CANT.	P. TOTAL
Cimientacion con ladrillos comunes de 0,30m de ancho y 50cm de profundidad, Mano de obra incluida.	m2	₡ 155.521	0,5	₡ 77.761
Aislacion Horizontal	m2	₡ 18.000	0,6	₡ 10.800
Paneles de durlock, espesor 0.05 mts.	m2	₡ 143.000	1	₡ 143.000
<b>TOTAL</b>				<b>₡ 231.561</b>

Fuente: Elaboración propia en base a fuentes variables.

### 5.1.2. Costo de elaboración de 1 panel de papel y yeso

En el cuadro nro. 7 se determina el costo desglosado de la elaboración por m2 del panel de papel y yeso, con esto se podrá obtener un precio unitario



que a su vez permita su comercialización y una comparación objetiva entre la placa de yeso y el prototipo.

**Cuadro 10: Análisis de costo por m2 de Panel de Papel y yeso**

RUBRO	UNIDAD	P. UNITARIO	CANT.	P. TOTAL
Diarios reciclados, papeles y documentos de utilería en desuso	kg	¢ 1.200	6,25	¢ 7.500
Yeso	kg	¢ 6.000	1,725	¢ 10.350
Mano de obra	m2	¢ 45.000	1	¢ 45.000
<b>TOTAL</b>				¢ 62.850

Fuente: Elaboración propia en base a fuentes variables.

### 5.2.3. Costo de un tabique de panel de papel y yeso

En el cuadro nro. 8 se determina el costo desglosado de un tabique de panel de papel, en el que se logran reducir los costes por m2 de los paneles.

**Cuadro 11: Módulo de pared, construido con Paneles de residuo de papel y yeso.**

RUBRO	UNIDAD	P. UNITARIO	CANT.	P. TOTAL
Cimentación con ladrillos comunes de 0,30m de ancho y 50cm de profundidad, Mano de obra incluida.	m2	¢ 155.521	0,5	¢ 77.761
Aislación Horizontal	m2	¢ 18.000	0,6	¢ 10.800
Paneles Elaborados con residuos de papel y yeso, espesor 0.05 mts.	m2	¢ 62.850	1	¢ 62.850
Azotada impermeable	m2	¢ 12.423	1	¢ 12.423
Revoque de paredes a 1 capa, espesor 1,5cm con enduido	m2	¢ 28.721	1	¢ 28.721
<b>TOTAL</b>				¢ 192.555

Fuente: Elaboración propia en base a fuentes variables.

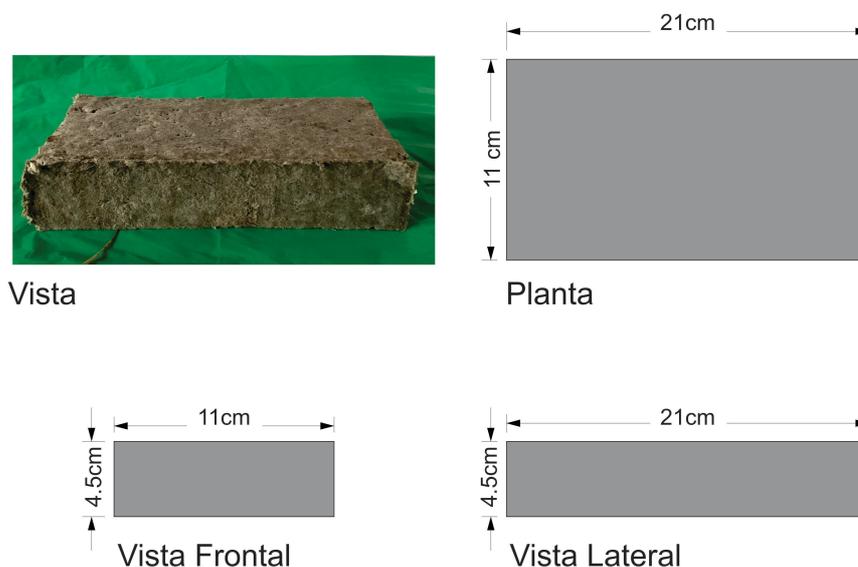
## CAPÍTULO VI: DEFINIR DIMENSIONES Y POSIBILIDADES DE USO DE LOS LADRILLOS Y PANELES DE RESIDUOS DE PAPEL COMO MATERIAL ALTERNATIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN.

Durante todo el proceso de investigación se han probado distintos aglomerantes para encontrar la mejor combinación posible entre materiales para darle un uso más inteligente al material, quedando así seleccionado el ladrillo de cemento con sus dosificaciones 1:6:8 (cemento, papel, agua) y el panel de yeso con su dosificación 1:10:10 (Yeso, papel y agua).

Teniendo todos los datos de experimentación se propone el uso de ladrillos de cemento como cerramientos internos autoportantes, pudiendo también ser aplicado en el exterior con las medidas necesarias, como protegerlo con un revoque hidrófugo con statofix. El muro de ladrillos de papel con cemento presenta un comportamiento normal en comparación a un muro de mampostería común, pero dotando al muro de una mejor aislación térmica y acústica

Las dimensiones de los ladrillos fabricados son de 22 cm de largo por 10,5 cm de ancho por 5 cm de espesor, estas medidas fueron adoptadas por la **NP 17 027 77 del INTN.**

**Ilustración 28: Medida de ladrillo de papel y cemento**

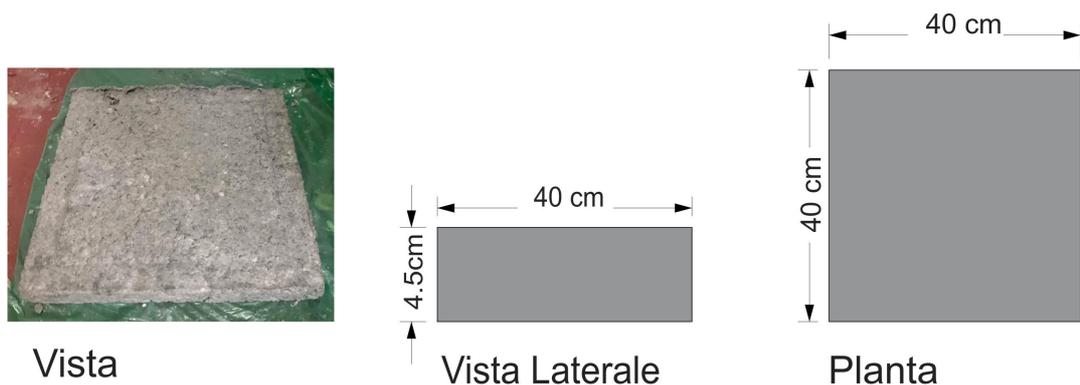


Fuente: Elaboración propia

De la misma se propone el uso del panel de papel y yeso como revestimiento de un muro interior dotándole de protección térmica y acústica al mismo siendo sostenido por una estructura de perfiles de aluminio, así como también para la construcción de tabiques de paneles de papel y yeso siempre de uso interno. Para poder dotar al tabique de yeso de una mejor terminación se masilla entre placas con la misma masilla que se utiliza en los paneles de durlock para luego darle una capa de revoque fino de 1,5 cm de espesor.

Las medidas de los paneles de papel y yeso son de 40 cm de largo por 40 cm de ancho y 5 cm de espesor. Estas medidas fueron definidas por la facilidad de fabricación, transporte y montaje del mismo.

#### Ilustración 29: Medida de Panel de papel y yeso



Fuente: Elaboración propia



## CONCLUSIÓN

El papel es una materia prima de gran utilidad con diversos usos. Sin embargo, con una breve vida útil. Como desperdicio es encontrado en grandes cantidades tanto en empresas, oficinas públicas y privadas, universidades, colegios, así como soporte de diarios y revistas. Si bien a este residuo se le ha generado una salida industrial a realizarse cartón por una empresa nacional en particular, no todo el papel es reciclado y aún son muchas las posibilidades de reutilización del mismo como materia prima.

Con esta investigación se estudia la factibilidad de utilizarlo en el campo de la construcción, abaratando con ello los costos de material tanto para las personas socialmente más vulnerables como para aquellos con conciencia ecológica. De esta forma se plantea el objetivo general de Determinar la factibilidad de aplicación de la mezcla de residuos de papel y el agregado ideal para la elaboración tanto de ladrillos y como de paneles para ser utilizados como materiales alternativos en la construcción. Es por ello que se ha estudiado un marco teórico basado en la determinación de los tipos de materiales alternativos utilizados en el campo de la construcción, donde se indaga específicamente sobre el papel, sus aplicaciones en dicho campo, experiencias a nivel mundial tanto para la elaboración de paneles como de ladrillos, con lo cual se procede a iniciar un estudio exhaustivo de la disponibilidad, dosificación, comportamiento, costos y dimensiones propuestas.

De esta forma se concluye que es factible aplicar la mezcla de residuos de papel y cemento para la elaboración de ladrillos de 11 cm de ancho x 22 cm de largo y 4,5 cm de alto a un costo final de 492 Gs. c/u para cerramientos interiores. Así como paneles con yeso de agregado de 40 cm de ancho x 40 cm de largo y 4,5 cm de alto a un costo final de 10.056 Gs. para cerramientos interiores, cielorraso y de aislación termo-acústica. De esta forma el papel puede ser reutilizado como materia prima en la elaboración de dos materiales alternativos para la construcción.



Esta respuesta se sustenta en la resolución y alcance de los objetivos específicos donde al determinar la disponibilidad de materia prima para la preparación del material se concluye que existen un gran potencial de acceso al papel en desuso como materia prima a través de las empresas que lo acopian y comercializan, los recicladores que lo recogen casa por casa, en los vertederos o en las empresas, así como en los centros de acopio.

Obtenida la materia prima se procede a la experimentación de probetas de ladrillos y paneles con diferentes dosificaciones para determinar la más adecuada. Se concluye que para lograr el mejor resultado posible de ladrillos y paneles de papel se recurrió a un aglomerante que brinde mayor cohesión entre las partículas de los mismos. Así se propone crear ladrillos de papel y cemento con dosificación 1:6 (1 de cemento y 6 de papel) y paneles de papel y yeso con dosificación 1:10 (1 de yeso y 10 de pasta de papel) para su uso como material alternativo en la construcción.

Alcanzada la dosificación se procede a examinar el comportamiento de los materiales de prueba ante las sollicitaciones a las que estarían expuestos al usarse como ladrillos o paneles. Tras el experimento se concluye que tanto el panel o los ladrillos elaborados funcionan como cerramiento de interiores, por lo que puede ser una solución rápida y de fácil desmontar con óptimas cualidades termo acústicas. En cuanto a su aplicación como sistema constructivo convencional no es necesario capacitar a la mano de obra para su correcto uso. Tanto como ladrillo como panel tienen un peso inferior a de su equivalente (ladrillo común y paneles convencionales), lo que asegura un transporte más económico del depósito al punto de acopio, reduciendo así la cantidad de viajes necesarios para el traslado. De esta forma también se contribuye con la protección al medioambiente al reducir el impacto de CO<sub>2</sub>.

Específicamente en cuanto a los costos de los materiales elaborados se concluye que cada unidad de ladrillo de papel tiene un valor de 492Gs. y un panel de papel un valor de 10.056 Gs. por unidad, esto responde a la cantidad necesaria de materiales que se requieren para realizar una unidad de cada producto y el tiempo que le toma a la mano de obra la fabricación del



mismo, por lo que, en comparación con productos tradicionales, en los ladrillos se logra ahorrar un 17,7% y en los paneles un 53,4%.

Finalmente al definir dimensiones y posibilidades de uso de los ladrillos y paneles de residuos de papel como material alternativo para la construcción se concluye que en el caso del ladrillo de papel y cemento se logra equiparar las resistencias mecánicas de un ladrillo común tipo C pero con una calidad de impermeabilidad superior, manteniendo las dimensiones de un ladrillo estándar como exige la NP por lo que puede ser utilizado como muro de interior. En cuanto a los paneles de papel y yeso, el producto resulta ser de mayor capacidad portante, pero con una variación en cuanto a su modulación, comparado a un panel de Durlock, estéticamente requiere de productos que le den una mejor terminación, pero logra cumplir sus funciones como cerramiento autoportante de interiores tanto superior como vertical.

Por su parte, el desarrollo de la investigación permitió obtener una perspectiva más amplia respecto a la utilización de materiales alternativos para la construcción, como así también el impacto social que tendrá en los diferentes estamentos de la cadena productiva. De esta manera generar nuevas fuentes de trabajo en el medio en el que se implante.

Asimismo, se genera un aporte a la conciencia ecológica dentro de una profesión en la que desde la etapa académica y más aún en la profesional tiende a generar residuos que terminan afectado al medio ambiente, por ello es sumamente importante que la arquitectura tenga un enfoque más científico, abierto al uso materiales alternativos para la construcción de manera más habitual y en la constante búsqueda de nuevas herramientas que permitan darles un nuevo valor a los residuos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, Juan Carlos (2012) "Implementación de materiales no convencionales y/o reciclables para la construcción de Viviendas de Interés Social (VIS) en Colombia" Bogota D.C.
- Amores Sandoval, Myriam Paulina (2013) "El papel reciclado de los desechos sólidos urbanos del cantón Ambato provincia de Tungurahua y su incidencia en la resistencia del hormigón" Ambato.
- Aquino Britez, Carolina (2011) "El reciclaje como alternativa tecnológica en la construcción ladrillos elaborados con cemento y plástico reciclado". San Lorenzo.
- Balvin Cerron, Richard Jr; Barrios Liza, Kevin; Canchari Sotomayor, Juan Carlos (2019) "Fabricación de ladrillos ecológicos para la construcción utilizando poliestireno expandido granular Biowall" Lima.
- Betancourt Gómez, Pedro (2014) "Fabricación de paneles de papel reciclado para el diseño parcial o total de mobiliario doméstico en el Estado de México", Toluca.
- Carrasco Montesdeoca, Raúl Bernardo (2018) "Aplicación del uso de los residuos de construcción para la fabricación de bloques de hormigón en la ciudad de Riobamba, análisis de costo e impacto ambiental" Quito.
- Centro de Desarrollo para Tecnología Apropiada (1993) "Resumen de Pruebas de Fuego a Pequeña Escala ASTM E-119 de Nuevo México en Ensamblajes de Muros de Balas de Paja SHB Laboratorio de Servicios Ambientales e Ingeniería de Agra" , Nuevo México, EE. UU.
- Cervantes Garcia, Luiciano Armando; Valdez del Río, Ehécatl; González Enriquez, Rodrigo (2010) "Una construcción elaborada con muros de papel y cartón comprimidos más otros residuos Valorizables" Guanajuato.
- DFM Directorio Forestal Maderero, 2017 "El bambú y la restauración de tierras", Mexico D.C.



- Diarte, Julio (2019) “Cartón de herramientas para reutilización inteligente Prueba de una herramienta paramétrica para adaptar cartón corrugado de desecho para fabricar paneles acústicos y encofrados de hormigón” Pensilvania.
- Dirección de Estadística, Encuestas y Censos del Paraguay (2018) “Resultados Anuales Departamentales EPHC 2017-2018” Disponible en: <http://www.dgeec.gov.py/>
- Fraga Figueroa, Jorge Alejandro; Muñoz Muñoz, Diego Rolando; Narváez Pupiales, Javier Israel (2019) “Paneles prefabricados construcción sostenible celulosa de papel” Quito.
- Gama-Castro, J. E., Cruz y Cruz, T., Pi-Puig, T., Alcalá-Martínez, R., Cabadas-Báez, H., Jasso-Castañeda, C., ... & Vilanova de Allende, R. (2012). “Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Mexico D.C.
- Gómez Díaz, Juan Camilo; González Lozano, Cristian Fernando (2020), “Caracterización experimental y teórica de paneles sometidos a fuerza lateral y ensamblados con unidades de mampostería hechas a base de papel reciclado y engrudo de almidón de Yuca” Bogota.
- Isan, Ana (2018) “Ladrillos ecológicos: qué son, tipos y ventajas”. Valencia.
- Manual Técnico de Durlock (2011) “Elementos del sistema”. Disponible en: <https://www.durlock.com/uploads/descargas/Manuales-3f9c266d38054c75ecf564bc8cb42b0b-manual-tncio-tomo-1.pdf>
- Menelaos Kokkinos (2011) “Paneles prefabricados de PaperKrete” Delft
- Moreno Palacios, Linda America; Ponce Vargas, Kevin David (2017) “Características físicas y mecánicas de la unidad de albañilería ecológica a base de papel reciclado en la ciudad de Trujillo” Trujillo.
- Piñeros Moreno, Miller Ernesto; Herrera Muriel, Rafael David De Jesús (2018) “Proyecto de factibilidad económica para la fabricación de bloques con agregados de plástico reciclado (PET), aplicados en la construcción de vivienda” Bogota D.C.



- Prieto, Nuria (2020) “El papel como material constructivo en arquitectura” Buenos Aires.
- Prujel Delgado, Fabrizio (2018) “Propuestas de piezas prefabricadas con bagazo de caña de azúcar, arena y cemento portland, como material alternativo para la construcción”. San Lorenzo.
- Revista Mandu´a (2021) “Costeo de Obra 2021 Año XXXIX - N° 454 - Febrero 2021”. Disponible en: <https://www.mandua.com.py/n454-febrero-2021-e102>
- Saldaña-Acosta, Jorge\*†, Rosales, Javier y Muñoz, Armando (2016) “Reutilización de papel reciclado en la producción de material de construcción aislante térmico y acústico. Revista de Investigación y Desarrollo” Monterrey.
- Villarreal Jiménez, Luis Alberto (2004) “Uso de lodo de papel y arena silica para la fabricación de ladrillos y tabla roca” Puebla.
- W.; BAUTISTA, J.; PEÑA, G (2011) “El Hombre y la Maquina”, Cali.
- Zambrano Martillo, Elim Marianela; Véliz Párraga , José Fabián (2013) “Reciclaje de residuos de construcción en la producción de bloques, Portoviejo- Manabí” Calceta.



## ANEXOS

### A - Informes



### BALANCE AMBIENTAL DE GESTION AMBIENTAL - PROCICLA

*Corresponde al período de Enero 2019 a Diciembre 2019*

**GESTIÓN AMBIENTAL - PROCICLA**, desarrolla un Programa de Segregación de Residuos Reciclables y Recolección Selectiva de los mismos, con destino al Reciclaje de las materias primas contenidas en los productos desechados por las Empresas Privadas e instituciones Públicas.

Los materiales reciclables son retirados por PROCICLA, de un contenedor dispuesto por las empresas privadas e instituciones publica en sus instalaciones.

A continuación se presenta, el Resumen de los Materiales Reciclables retirados en el período de enero 2019 a diciembre 2019.

#### **Enero 2019 a Diciembre 2019**

**Con un total de:**

<b>Plástico</b>	<b>:</b>	<b>13.492 kgs.</b>
<b>Cartón</b>	<b>:</b>	<b>130.737 kgs.</b>
<b>Papel</b>	<b>:</b>	<b>18.058 Kgs.</b>
<b>Latita</b>	<b>:</b>	<b>28 kgs.</b>
<b>Hule</b>	<b>:</b>	<b>2.432 kgs.</b>
<b>Madera</b>	<b>:</b>	<b>400 kgs.</b>
<b>Metal</b>	<b>:</b>	<b>181 kgs.</b>
<b>Vidrio</b>	<b>:</b>	<b>410 kgs.</b>
<b>TOTAL</b>	<b>:</b>	<b>165.738 kgs.</b>

PROCICLA "Proyecto de Mejoramiento de la Calidad de Vida de los Recicladores de Basura de Asunción"  
Itapúa 1372 entre Primer Presidente y Río Monday, Barrio Trinidad, Asunción – Paraguay  
Teléf. 021 281.273 - 021 282549  
[geam@geam.org.py](mailto:geam@geam.org.py) - [www.geam.org.py](http://www.geam.org.py)



## INFORME DEL IMPACTO AMBIENTAL EVITADO

CON LA ACTITUD DE SEGREGACIÓN EN ORIGEN Y LA ENTREGA DE LOS RESIDUOS RECICLABLES A PROCICLA, LAS EMPRESAS PRIVADAS E INSTITUCIONES PÚBLICA CONTRIBUYERON A LO SIGUIENTE:

### Se salvaron 2.530 árboles

- Los 2.530 árboles, dan OXÍGENO A 9.523 PERSONAS y capturan 30.354 kilogramos de BIÓXIDO DE CARBONO.

Con la contribución ambiental se ahorró en recursos naturales energéticos;

- 298 mts. Cúbicos en el RELLENO SANITARIO
- 109.781 kgs. de PETRÓLEO
- 419.081 kgs. de emisión de BIÓXIDO DE CARBONO
- 40.799.826 litros de AGUA
- 1.041.565 Kw/Hr de ENERGÍA
- 16.449 kgs. de ETILENO
- 112 kgs. de BAUXITA
- 242 kgs. de ARENA
- 81 kgs. de CENIZA
- 81 kgs. de PIEDRA CALIZA
- 28 kgs. de FELDESPATO

Sin otro particular, y confiando que las empresas e Instituciones Publicas sigan brindando su apoyo a este emprendimiento, aprovecho la ocasión para saludarle con mi mayor respeto y consideración.

Ing. Jorge Abbate  
Director Ejecutivo  
Gestión Ambiental - GEAM

PROCICLA "Proyecto de Mejoramiento de la Calidad de Vida de los Recicladores de Basura de Asunción"  
Itapúa 1372 entre Primer Presidente y Río Monday, Barrio Trinidad, Asunción – Paraguay  
Teléf. 021 281.273 - 021 282549  
[geam@geam.org.py](mailto:geam@geam.org.py) – [www.geam.org.py](http://www.geam.org.py)



**B - Norma Paraguaya N° 17 027 77**

CDU 666.71

**Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y  
Metrología**



**INTN**

**Norma Paraguaya  
NP 17 027 77**



**Ladrillos cerámicos macizos.  
Requisitos Generales.**



**Diciembre/2015  
Segunda Edición**

Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología - INTN. Avda. Gral. Artigas N° 3973 y Gral. Roa. C.C. BOX 967.  
TEL.: (595-21) 290 160 FAX: (595-21) 290 873. correo-e: [intn@intn.gov.py](mailto:intn@intn.gov.py), Asunción, Paraguay.

## 1 OBJETO Y ALCANCE

**1.1** Esta Norma establece las características de los ladrillos cerámicos macizos de uso común en construcciones.

**1.2** Esta Norma no incluye a los ladrillos estructurales, laminados, ni a los ladrillos refractarios.

## 2 TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Para los efectos de esta Norma se aplican los siguientes términos y definiciones.

**2.1 Ladrillo cerámico:** Es aquel ladrillo fabricado esencialmente en base a sustancias inorgánicas no metálicas (arcilla) previamente humedecidas, amasadas y luego moldeadas y secadas a temperatura ambiente para su posterior quema.

**2.2 Ladrillo común o ladrillo cerámico macizo:** Es aquél que no tiene huecos, o bien que lo tiene con un volumen menor o igual al 20 % del volumen total aparente.

**2.3 Solicitaciones:** Son las cargas u otras acciones físicas, mecánicas y ambientales que recibirán en este caso los ladrillos y mampostería como parte de la construcción.

**2.4 Eflorescencia:** Son aquellos defectos de coloración en el producto debido a los cristales de sales que afloran desde el interior del ladrillo y se depositan en su superficie.

**2.5 Desconchado:** Es un defecto del ladrillo debido al desprendimiento superficial del material constituyente del mismo, originando un cráter debido a la contaminación de la arcilla con sustancias nocivas.

**2.6 Exfoliación:** Es un defecto debido a la textura en forma de escamas.

## 3 REQUISITOS

### 3.1 Generales

**3.1.1 Color:** los ladrillos deben tener un color uniforme.

**3.1.2 Aspecto:** las superficies deben ser sensiblemente planas, las aristas vivas y no se observarán vitrificaciones generalizadas. La estructura debe ser sin huecos interiores ni núcleos calizos o cuerpos extraños. Al ser golpeados con otro objeto macizo deben producir un sonido campanil metálico.

### 3.2 Esenciales

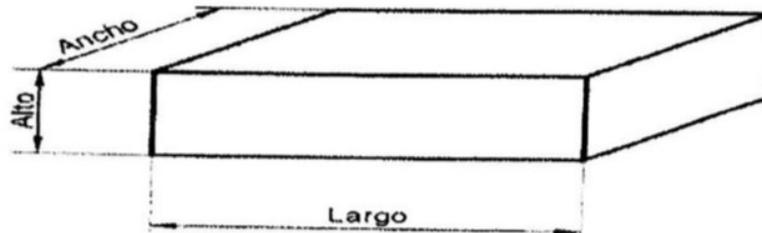
#### 3.2.1 Medidas

Las dimensiones deben ser regulares y están especificadas en la Tabla I (ver Figura 1).



**Tabla 1. Medidas regulares nominales mínimas.**

Dimensiones	Medidas mínimas (cm)
Largo	22
Ancho	11
Alto	4,5



**Figura 1. Longitudes del ladrillo.**



### 3.2.2 Capacidad de absorción de agua por inmersión

Los ladrillos deben presentar valores característicos de capacidad de absorción de agua no mayores a 25 %.

### 3.2.3 Resistencia a la compresión

Los ladrillos deben presentar una resistencia característica a la compresión no menor a 5 MPa.

### 3.2.4 Resistencia a la flexión

Los ladrillos deben presentar una resistencia a la flexión mínima no menor a 1,5 MPa.

## 4 CATEGORÍAS O CLASES

Las categorías o clases están dadas según los requisitos sean generales y esenciales.

### 4.1 Según los requisitos generales

**4.1.1 Ladrillo cerámico clase A:** Debe cumplir una condición estricta en cuanto a color (3.1.1), sin manchas o quemados, sin sales solubles y/o eflorescencias, debe tener una cocción uniforme, carecer de imperfecciones y desconchados aparentes en aristas y paramentos.

**4.1.2 Ladrillo cerámico clase B:** No debe tener imperfecciones que impidan su empleo en partes exteriores vistas, ni desconchado o mordiscos que afecten más del 15 % de la superficie vista de las piezas en cuanto a manchas o quemados, sin sales solubles y/o eflorescencia.

**4.1.3 Ladrillo cerámico no categorizado:** Es el que no pertenece a la clase A, ni a la clase B.

#### 4.2 Según sus requisitos esenciales

Según los requisitos esenciales (ver 3.2), los ladrillos deben presentar la clasificación de la Tabla 2.

**Tabla 2. Categorías de ladrillos.**

REQUISITOS	CATEGORÍAS		
	A	B	C
Resistencia a la compresión (MPa)	Mínimo 9	Mínimo 7	Mínimo 5
Resistencia a la flexión (MPa)	Mínimo 3	Mínimo 2	Mínimo 1,5
Absorción de agua máxima a temperatura ambiente (%)	Máximo 20	Máximo 20	..... 25
NOTAS			
1. Esta clasificación debe utilizarse teniendo en cuenta las técnicas constructivas adecuadas y solicitaciones para cada caso.			
2. Además de los requisitos descritos en el punto 3 para cada categoría deberá además cumplir con los requisitos de ésta Tabla para cada categoría.			



### 5 MUESTREO

**5.1 Extracción:** la extracción de muestras debe ser por acuerdo previo, pudiendo efectuarse durante las operaciones de carga y descarga ya sea en el horno o en la obra.

**5.1.1** La extracción de los ladrillos debe ser al inicio, en el intermedio y al final de la operación de carga y descarga en el horno o en la obra según corresponda.

**5.1.2** Cuando se trate de montones o pilas, debe fijarse de antemano la capa o fila en que se realizará la extracción, retirando los ladrillos a intervalos regulares.

**5.2 Cantidad:** la cantidad de muestras a tomar depende del volumen de las piezas fabricadas.

**5.2.1** Para partidas formadas de hasta 20 000 ladrillos, la muestra debe estar constituida por 15 piezas; de 30 piezas para partidas mayores de 20 000 y hasta 100 000; 45 piezas para partidas mayores a 100 000 y hasta 500 000 ladrillos; 60 piezas para partidas mayores a 500 000 y hasta 1 000 000 de ladrillos.

**5.2.2** Por acuerdo previo, puede extraerse en cada caso una muestra adicional que se reservará para efectuar eventuales contra ensayos.

**5.2.3** Cada muestra debe ser embalada por separado de modo que las piezas no corran el riesgo de fracturarse.

**5.2.4** El embalaje de las muestras, lacrado y sellado con los sellos de las partes, deben llevar en lugar visible los rótulos fijados con caracteres legibles e indelebles, las indicaciones



necesarias a los fines de la identificación, incluyendo la clase de ladrillo, número de partida, la fecha de extracción, la marca del fabricante y el lugar de elaboración.

**5.2.5** En todos los casos para la verificación de los requisitos (punto 3), se realizarán como mínimo 3 ensayos, con igual número de probetas. Pero por acuerdo previo, puede establecerse un número mayor de determinaciones para cada ensayo y en proporción a la cantidad de muestras de cada partida.

## **6 ACEPTACIÓN O RECHAZO**

**6.1** Cuando uno de los resultados de los ensayos no concuerdan con los requisitos establecidos en el punto 3, podrán repetirse el o los ensayos con un número variable de muestras.

**6.2** Si los nuevos resultados son satisfactorios se aceptará la partida, en caso contrario se rechazará.

-----





## C - Informe de resultados de la Experimentación



### LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

#### Contenido

1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE LADRILLOS .....	2
1.1. Procedimiento .....	2
1.2. Determinación de la Resistencia a la Compresión .....	2
1.3. Resultados.....	3
1.4. Registro Fotográfico .....	3
2. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN SIMPLE .....	6
2.1. Procedimiento .....	6
2.2. Determinación de la Resistencia a la Flexión .....	6
2.3. Resultados.....	6
2.4. Registro Fotográfico .....	7
3. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN .....	9
3.1. Procedimiento .....	9
3.2. Determinación de la Capacidad de Absorción .....	9
3.3. Resultados.....	9
3.4. Registro Fotográfico .....	10
4. CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE CALOR.....	11
4.1. Equipos y Materiales Utilizados .....	11
4.2. Procedimiento .....	11
4.3. Determinación de la disipación.....	11
4.4. Resultados.....	13
5. CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE SONIDO.....	14
5.1. Equipos y Materiales Utilizados .....	14
5.2. Procedimiento .....	14
5.3. Determinación de la disipación.....	14
5.4. Resultados.....	15

**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

**INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS DE LADRILLOS Y PANELES**

**1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE LADRILLOS**

**1.1. Procedimiento**

1. Limpiar correctamente las superficies de los ladrillos.
2. Unir con una capa fina de mortero de cemento las caras mayores superpuestas de las mitades obtenidas, y esperar el endurecimiento del mortero.
3. Cubrir con un mortero de cemento una placa de metal o de vidrio con una hoja de papel, impregnada con una leve película de aceite.
4. Sobre ese lecho y en el bloque obtenido en el paso 2 aplicar presión manual a una de las caras (correspondiente a la mayor base del ladrillo) suficiente para hacer refluir la pasta interpuesta, de modo a reducir su espesor de 2mm a 3mm. Al endurecerse la pasta se retira con una espátula los excedentes.
5. De este modo se ha obtenido un cuerpo de prueba con dos caras de trabajo debidamente regularizadas y en lo posible perfectamente paralelas
6. Si el ladrillo presenta ranuras, la superposición de sus dos piezas es hecha de modo que las depresiones queden junto con las caras de trabajo. Las depresiones deben ser llenados con mortero de cemento un día antes de la regularización de las caras de trabajo.
7. Después del endurecimiento de las capas de mortero, los cuerpos son numerados y sumergidos en agua potable durante 24 hs
7. Se retiran los cuerpos de prueba de las aguas y se secan superficialmente.
8. Se miden las dimensiones de las caras de trabajo
9. Se procede al ensayo de compresión, regulando los comandos de la máquina de ensayo de modo que la carga se lleve progresivamente a razón de aproximación 0.5 kilogramos/centímetros cuadrados.

**1.2. Determinación de la Resistencia a la Compresión**

$$f_c = \frac{P}{A} \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

Donde:

- P es la carga de rotura en kg
- A es la sección transversal al plano de carga en cm<sup>2</sup>

Ensayos de Compresión Simple					
Tipo	Área (cm2)		Carga (kg)	fc (kg/cm2)	
Cemento 1	11,5 x 9,5	109,25	4.830	44,21	46,28
Cemento 2	10,5 x 10,5	110,25	5.330	48,34	
Plasticola 1	20 x 9,5	190,00	7.830	41,21	41,79
Plasticola 2	19 x 10	190,00	8.050	42,37	
Papel 1	20x 10	200,00	4.530	22,65	23,40
Papel 2	20 x 10	200,00	4.830	24,15	

## LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

### 1.3. Resultados

Se han determinado que los ladrillos fabricados con Cemento+Papel han alcanzado un valor de resistencia a la compresión de 46,28 kg/cm<sup>2</sup>. Según la Norma Paraguaya NP 129 los ladrillos se clasifican en Clase A (> 90kg/cm<sup>2</sup>) B(>70kg/cm<sup>2</sup>) y C (>50kg/cm<sup>2</sup>). Todos los ladrillos han tenido reducción de su espesor mayores a 3mm. Los ladrillos de papel y plasticola presentan mayor deformación bajo la acción de las cargas, pero buena adherencia.

### 1.4. Registro Fotográfico



Preparación de probetas para la prueba de compresión



Colocación de la probeta en la prensa hidráulica



**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

---



Prueba de compresión ladrillo de papel con cemento



Ejemplo de probeta luego de prueba

## LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

### 2. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN SIMPLE

#### 2.1. Procedimiento

1. Se mide la longitud (l), el ancho del panel (b), la altura (h)
2. Se coloca el panel sobre los apoyos para que la carga sea aplicada mediante el cabezal, en el punto medio de la luz. El sistema podrá estar compuesto por varillas lisas de acero o de madera de buena calidad de modo a que no se rompan durante el ensayo.
3. Se aplica la carga en forma continua con una velocidad del cabezal adecuada (entre 1 y 2.5mm/min).
4. Se realiza una descripción de la falla que sufrió la probeta y la forma en la que progresó.
5. Se anota la carga máxima (P) o de rotura que se obtuvo durante el ensayo de la probeta.

#### 2.2. Determinación de la Resistencia a la Flexión

$$f_f = 1,5 \times \frac{PL}{bh^2} \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

Donde:

- P es la carga de rotura en kg
- b y h son las medidas de la sección perpendicular al eje de la pieza en cm
- L es la luz del ensayo en cm

FLEXION SIMPLE EN PANALES - Norma ISO 10545-4					
Tipo	b(cm)	h(cm)	l(cm)	P (kg)	ff (kg/cm <sup>2</sup> )
Papel	10	5	40	850	40,8
Plasticola	10	5	40	470	22,56
Yeso	10	5	40	1300	62,4

#### 2.3. Resultados

Las Normas Paraguayas no indican ningún valor de referencia de la resistencia a la flexión de los paneles, pero teniendo en cuenta los valores indicados en las EETT de la placa Cementia Durlock® la resistencia a la flexión en situación seca al aire es de 80kg/cm<sup>2</sup>. Así también los paneles de papel y plasticola presentaron excesivas deformaciones en los apoyos y en la zona de carga. El panel de yeso presenta deformaciones a partir de los 1000kg de carga.

## LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

---

### 2.4. Registro Fotográfico



Preparación de probeta de panel



Colocación de panel en la prensa para prueba



Prueba de flexión de panel de papel 100%



LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

---



Prueba de flexión de panel de papel con plasticola



Prueba de flexión de panel de papel con yeso

## LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

### 3. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN

#### 3.1. Procedimiento

Determinación de la absorción en ladrillos, y densidad se logra secando el material en horno por dos o 3 días hasta peso constante a  $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ , registrándose los pesos siendo este último el peso seco, se sumerge luego tres o cuatro días en agua completamente, hasta saturación (peso constante), se seca superficialmente con una toalla o trapo seco y se pesa, este es el peso húmedo.

#### 3.2. Determinación de la Capacidad de Absorción

$$A = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} \times 100 [\%]$$

Donde:

- **A** es el % de absorción
- **M<sub>sss</sub>** es la masa saturada con superficie seca
- **M<sub>s</sub>** es la masa seca en estufa

#### DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LADRILLOS

Tipo	M <sub>s</sub> (g)	M <sub>sss</sub> (g)	A (%)
Cemento	422,4	460	9%
Papel	200	480	140%
Plasticola	344,7	545	58%

#### DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE PANELES

Tipo	M <sub>s</sub> (g)	M <sub>sss</sub> (g)	A (%)
Papel	200	480	140%
Plasticola	344,7	545	58%
Yeso	426,7	880	106%

#### 3.3. Resultados

La Norma Paraguaya NP 1702777 que la absorción máxima permitida en los ladrillos es de 25%. EL ladrillo de Cemento+Papel es el que cumple con dichas características. En el caso de los paneles no se cuentan con referencias

## LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

### 3.4. Registro Fotográfico



Se realiza el secado en horno durante 2 o 3 días hasta lograr peso constante



Se sumerge en la pileta de pruebas por 3 o 4 días hasta lograr la saturación del material

**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**



Se pesa el ladrillo húmedo para comprobar su absorción

**4. CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE CALOR**

**4.1. Equipos y Materiales Utilizados**

- a) Paneles de Yeso Papel; Plastico+Papel; Papel prensado; muro de ladrillos de papel+cemento
- b) Estufas convencionales para uso doméstico de hasta 800w de potencia
- c) Termómetro con sensor infrarrojo

**4.2. Procedimiento**

- a) Se han colocado los paneles sobre el suelo (piso de baldosas)
- b) Se han colocado y encendidas las fuentes de calor a 50cm de cada caja y apoyadas en el suelo
- c) Se han realizado una medición inicialmente cada 5 minutos hasta completar cada 30min hasta completar 6 mediciones.
- d) Se han realizado lecturas de la temperatura con el termómetro infrarrojo en los puntos (T) por la cual incide directamente la fuente de calor.
- e) Se han realizado lecturas de la temperatura con el termómetro infrarrojo en los puntos (T') en del lado posterior a la cara por la cual incide directamente la fuente de calor.

**4.3. Determinación de la disipación**

$$\Delta T \text{ (}^\circ\text{C)} = T - T'$$

$$\Delta T \text{ (%) } = \frac{T - T'}{T} \times 100$$

**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

ENSAYO DE DISIPACIÓN TÉRMICA					
Muro de ladrillos de Cemento					
Hora	T (°C)	T' (°C)	$\Delta T$ (°C)	$\Delta T$ (%)	PROMEDIO
11:30	36,6	28,4	-8,2	-22%	-35,35%
12:00	45,4	30	-15,4	-34%	
12:30	47,5	30	-17,5	-37%	
13:00	50	30	-20	-40%	
13:30	54,6	30,8	-23,8	-44%	
Muro de ladrillos de Papel					
Hora	T (°C)	T' (°C)	$\Delta T$ (°C)	$\Delta T$ (%)	PROMEDIO
10:30	43	28,7	-14,3	-33%	-35,96%
11:00	47	29,8	-17,2	-37%	
11:30	48	31,2	-16,8	-35%	
12:00	49,8	32,2	-17,6	-35%	
12:30	50	31,8	-18,2	-36%	
13:00	53,4	32,5	-20,9	-39%	
Muro de ladrillos de Plasticola					
Hora	T (°C)	T' (°C)	$\Delta T$ (°C)	$\Delta T$ (%)	PROMEDIO
10:30	36,8	27,7	-9,1	-25%	-28,60%
11:00	36	28,2	-7,8	-22%	
11:30	39	28,7	-10,3	-26%	
12:00	42,5	29,6	-12,9	-30%	
12:30	49,2	29,6	-19,6	-40%	

ENSAYO DE DISIPACIÓN TÉRMICA					
Panel de Papel					
Hora	T (°C)	T' (°C)	$\Delta T$ (°C)	$\Delta T$ (%)	PROMEDIO
10:30	46,1	28,7	-17,4	-38%	-41,64%
11:00	51,1	29,8	-21,3	-42%	
11:30	54,4	31,2	-23,2	-43%	
12:00	56,2	32,2	-24	-43%	
12:30	56,2	31,8	-24,4	-43%	
13:00	55	32,5	-22,5	-41%	
Panel de Plasticola					
Hora	T (°C)	T' (°C)	$\Delta T$ (°C)	$\Delta T$ (%)	PROMEDIO
10:30	42,1	27,7	-14,4	-34%	-40,90%
11:00	53,3	28,2	-25,1	-47%	
11:30	40,7	28,7	-12	-29%	
12:00	55,8	29,6	-26,2	-47%	
12:30	55,6	29,6	-26	-47%	
Panel de Yeso					

## LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Hora	T (°C)	T' (°C)	$\Delta T$ (°C)	$\Delta T$ (%)	PROMEDIO
10:30	40,7	28	-12,7	-31%	-40,03%
11:00	54,2	28,4	-25,8	-48%	
11:30	43,7	28,8	-14,9	-34%	
12:00	53,6	29,4	-24,2	-45%	
12:30	51,8	30	-21,8	-42%	

### 4.4. Resultados

No existen valores referenciales de disipación de calor en paneles y muros de ladrillos, pero teniendo en cuenta los valores obtenidos entre los paneles y ladrillos no existe variación significativa entre dichos valores.

### 4.5. Registro Fotográfico



Prueba térmica de ladrillos y paneles

## LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



Prueba térmica de paneles

### 5. CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE SONIDO

#### 5.1. Equipos y Materiales Utilizados

- Fuente de Sonido
- Teléfono Celular con APP de medición de sonido (sonógrafo)

#### 5.2. Procedimiento

- Se han colocado los paneles sobre el suelo (piso de baldosas)
- Se ha colocado y encendida la fuente de sonido a 50cm de cada panel y apoyada en el suelo. El sonido utilizado fue un sonido constante sin variaciones
- Se han realizado una medición inicialmente cada 30 segundos con el teléfono celular.
- Se han realizado lecturas (S) en el lado por la cual incide directamente la fuente de sonido.
- Se han realizado lecturas (S') en el lado posterior por el cual incide la fuente de sonido.

#### 5.3. Determinación de la disipación

$$\Delta T (dB) = S - S'$$

$$\Delta T (\%) = \frac{S - S'}{S} \times 100$$

**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

ENSAYO DE DISIPACIÓN DE SONIDO DE LADRILLOS				
Hora	S (dB)	S' (dB)	$\Delta S$ (dB)	$\Delta S$ (%)
Ladrillo Cemento	64	62	-2	-3%
Ladrillo Plasticola	72	71	-1	-1%
Ladrillo Papel	70	67	-3	-4%
Ladrillo Cerámico	65	62	-3	-5%

NSAYO DE DISIPACIÓN DE SONIDO				
Hora	S (dB)	S' (dB)	$\Delta S$ (dB)	$\Delta S$ (%)
Panel Plasticola	72	71	-1	-1%
Panel Yeso	69	65	-4	-6%
Panel Papel	74	67	-7	-9%
Durlock®	71	61	-10	-14%

**5.4. Resultados**

No existen valores referenciales de disipación de sonido en paneles y muros de ladrillo, pero se han realizado medición en muros de ladrillo cerámico y panales Durlock®. En lo que respecta a los paneles el de papel es el que más se aproxima a los valores del Durlock®. En el caso del muro de ladrillos el de cemento disipa un 50% de lo que lo hace el de ladrillos cerámicos.

**5.5. Registro fotográfico**



Prueba acústica en ladrillos



**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

---



Prueba acústica en paneles