

BLOQUES DE YESO COMPACTADOS A PARTIR DE RESIDUOS DE PLACAS DE YESO
LAMINADO RECUPERADOS DE OBRA

NICOLÁS ALBERTO GARZÓN MONTIEL
CESAR AUGUSTO TRIANA CHAVES



UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS
BOGOTÁ D.C.
DICIEMBRE 2017

BLOQUES DE YESO COMPACTADOS A PARTIR DE RESIDUOS DE PLACAS DE YESO
LAMINADO RECUPERADOS DE OBRA

TRABAJO DE MONOGRAFÍA

Docente de proyecto

Arq. José Alcides Ruíz

Coordinador de P.T.C.A

Arq. Nelson Ricardo Cifuentes Villalobos

NICOLÁS ALBERTO GARZÓN MONTIEL

CESAR AUGUSTO TRIANA CHAVES



UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA

PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS

BOGOTÁ D.C.
DICIEMBRE 2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

Observaciones

Firma Director Trabajo de Grado

Firma del presidente del jurado

Firma del Jurado

Bogotá, diciembre de 2017

Agradecimientos

Agradecemos de manera muy especial al Arq. Walter Barreto, por toda su colaboración dedicación y acompañamiento en el laboratorio de tierras de la universidad, a la Arq. Andrea Niampira por su atención y colaboración y por último al Arq. José Alcides quien nos acompañó durante el proceso investigativo y nos imprimió día a día exigencia y puntualidad en nuestros compromisos.

Cesar Augusto Triana Chaves

Quiero agradecer a Dios, quien abrió cada una de las puertas, me llevo de su mano y me ilumino para tomar las decisiones que me han traído a este punto tan importante de mi vida, también hago un especial reconocimiento a mi familia por todo su apoyo, a mi esposa y mis hijos por su comprensión y compañía, todo mi esfuerzo es para ustedes.

Nicolás Alberto Garzón Montiel

Quiero agradecer principalmente a Dios por darme salud y entendimiento para llegar a este punto y quien me guio por el camino indicado, a mis padres y hermana quienes me han acompañado en esta etapa, y especial agradecimiento a mi esposa e hijos quienes son los que me motivan para seguir formándome como un profesional.

Tabla de contenido

Listado de Imágenes	6
Listado de tablas	7
Resumen	8
Palabras claves	8
Abstract	9
Key words	9
Introducción	10
Objetivos	12
Objetivo General	12
Objetivos específicos	12
Marco referencial	13
Desarrollo del proyecto	41
Pruebas de resistencia a la compresión	49
Conclusiones	50
Recomendaciones	52
Referencias bibliográficas	54

Listado de Imágenes

<u>Imagen 1. Crecimiento del consumo de drywall en m²</u>	<u>14</u>
<u>Imagen 2. Prensa manual Cinva – Ram</u>	<u>20</u>
<u>Imagen 3. Paso de yeso natural dihidrato a hemihidrato</u>	<u>25</u>
<u>Imagen 4. Placa de yeso laminado o PYL</u>	<u>26</u>
<u>Imagen 5. Residuo de construcción placas de yeso laminado</u>	<u>27</u>
<u>Imagen 6. Tipos de aparejos en mampostería</u>	<u>30</u>
<u>Imagen 7. Muros divisorios no estructurales</u>	<u>31</u>
<u>Imagen 8. Fórmula para el cálculo de la resistencia a la compresión</u>	<u>33</u>
<u>Imagen 9. Unidad de mampostería con perforación vertical</u>	<u>33</u>
<u>Imagen 10. Residuo de placas de yeso laminado en obra</u>	<u>41</u>
<u>Imagen 11. Piezas de residuos recuperados sometidas a inmersión en agua</u>	<u>42</u>
<u>Imagen 12. Separación de celulosa de los residuos</u>	<u>42</u>
<u>Imagen 13. Pasta de yeso producto de triturado</u>	<u>43</u>
<u>Imagen 14. Celulosa retirada parcialmente y polvo de yeso recuperado</u>	<u>44</u>
<u>Imagen 15. Malla de polietileno, separación de celulosa</u>	<u>44</u>
<u>Imagen 16. Mezcla de materiales</u>	<u>46</u>
<u>Imagen 17. Pesaje de cada uno de los materiales</u>	<u>46</u>
<u>Imagen 18. Homogeneización de la mezcla y adición de agua</u>	<u>47</u>
<u>Imagen 19. Cargue de la Cinva-Ram y compactación de la mezcla</u>	<u>47</u>
<u>Imagen 20. Obtención de prototipos del bloque compactado</u>	<u>48</u>
<u>Imagen 21. Prueba de resistencia a la compresión</u>	<u>50</u>
<u>Imagen 22. Condensación de material al adicionar agua a la mezcla</u>	<u>51</u>

Lista de Tablas

<u>Tabla 1. Comparativo de eco efectividad</u>	<u>18</u>
<u>Tabla 2. Clasificación del yeso por contenido de sulfato de calcio dihidrato</u>	<u>24</u>
<u>Tabla 3. Productos obtenidos a temperaturas de cocción</u>	<u>24</u>
<u>Tabla 4. Valores de resistencia a la compresión</u>	<u>35</u>
<u>Tabla 5. Propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural</u>	<u>37</u>
<u>Tabla 6. Número de celdas en la dirección del ancho del muro</u>	<u>37</u>
<u>Tabla 7. Dimensiones modulares</u>	<u>40</u>
<u>Tabla 8. Dimensiones de unidades de modulación horizontal</u>	<u>40</u>
<u>Tabla 9. Pesos por material implementados en las mezclas</u>	<u>48</u>
<u>Tabla 10. Resistencia a la compresión kgf/cm^2</u>	<u>49</u>

Resumen

La temática investigativa sobre la que se desarrolla esta propuesta y que da pie a la siguiente monografía, se enfoca en la problemática que representan los residuos de la construcción liviana en seco, específicamente el de las placas de yeso laminado dentro de las obras de construcción, teniendo en cuenta que la implementación de este sistema constructivo, genera contratiempos que giran en torno al residuo, tales como la acumulación y almacenamiento del mismo dentro de las obras de construcción, y la obligación de evacuarlos con compañías ambientales que certifiquen la correcta disposición final de los mismos, tal como lo exige el marco legal, en el caso de Bogotá aplica el decreto 586 de 2015. A lo expuesto anteriormente se le debe sumar la tendencia al crecimiento en la implementación del sistema liviano en seco, lo cual se traduce en mayores cantidades de residuo y por ende en una acentuación de la problemática tratada, la cual también posee matices de tipo ambiental.

En respuesta a esta problemática, y con la certeza que en Colombia carecemos de procesos de reciclado y reaprovechamiento, que generen nuevos materiales para la construcción a partir de dicho residuo, se decide proponer en el desarrollo de un bloque compactado a base del yeso que se puede obtener al reciclar los residuos de las láminas de yeso-cartón, generando así un material innovador para la construcción, el cual se puede implementar en la elaboración de muros divisorios no estructurales, brindando nuevas posibilidades de enlucidos y buscando conservar la característica liviana que brinda el yeso.

Palabras claves: Placas de yeso laminado, residuos de construcción y demolición (RCD), mampuestos, compactación de materiales, mezclas, yeso-cartón.

Abstract

The research topic on which this proposal is developed and which gives rise to the following monograph, focuses on the problem that represents the waste of light dry construction, specifically that of laminated gypsum boards within the construction works, taking into account that the implementation of this construction system generates setbacks that revolve around the waste, such as the accumulation and storage of the same within the construction works, and the obligation to evacuate them with environmental companies that certify the correct final disposal of the same, as required by the legal framework, in the case of Bogotá, it applies Decree 586 of 2015. To the foregoing, we must add the growth trend in the implementation of the dry light system, which translates into greater amounts of waste and therefore in an accentuation of the problem treated, which also has nuances of environmental type. such.

In response to this problem, and with the certainty that in our country we lack recycling and reuse processes, which generate new materials for construction from said waste, it is decided to propose in the development of a compacted block based on gypsum. it can be obtained by recycling the waste from the gypsum board, thus generating an innovative material for the construction, which can be implemented in the elaboration of non-structural dividing walls, flanging new plaster possibilities and seeking to preserve the lightweight characteristic Provides the plaster.

Key words: Laminated gypsum boards, construction and demolition waste (RCD), masonry, compaction of materials, mixtures, plasterboard.

Introducción

Desde la llegada a este país del sistema liviano en seco, comúnmente conocido como drywall, el cual es utilizado ampliamente en la construcción de muros divisorios, cielo rasos y demás elementos no estructurales de carácter arquitectónico que el sistema permite construir, la aceptación y uso es cada vez mayor dentro del ámbito de la construcción, esta preferencia por el sistema se da gracias a sus bondadosas características como lo son su fácil y rápida instalación, la limpieza del sistema constructivo como tal, las posibilidades de plasmar diferentes geometrías y la facilidad para realizar posibles reparaciones, entre otras.

Más sin embargo el uso masivo del sistema liviano en seco genera volúmenes considerables de residuos, los cuales se prestan para su aprovechamiento en términos de reciclaje, lo cual se convierte en un paliativo que da respuesta a la problemática que estos representan en las obras de construcción, brindando una posibilidad de disposición final

Producto de lo planteado con anterioridad, surge la pregunta problema que orienta el enfoque de la investigación: ¿Es factible e0laborar un material innovador para la construcción, reutilizando residuos de placas de yeso laminado, recuperado de obras?

Dando una respuesta a esta pregunta, la propuesta investigativa se encamina a determinar el desarrollo y funcionamiento de un mampuesto para muros divisorios no estructurales, en donde su componente principal es el residuo de las placas de yeso laminado recuperados de obra. Para tal efecto se realiza un proceso investigativo en búsqueda de referentes que permitan establecer la viabilidad de la reutilización del yeso, determinar las cantidades de residuo de lámina de yeso con las que se podría contar, establecer hasta qué punto se ha investigado al

respecto y que desarrollos documentados existen, y de ser así estudiar las mezclas utilizadas y entender el comportamiento del residuo de yeso dentro de estas, para de esta forma definir que materiales adicionales se pueden probar en pro de la confección del mampuesto.

Una vez determinada la posibilidad de implementar el residuo se hace necesaria la elaboración de prototipos con diferentes composiciones de mezclas, los cuales deben ser sometidos a pruebas cuyos resultados permitirán determinar la composición correcta para la elaboración del mampuesto y que este reúna los parámetros establecidos dentro de los marcos normativos para muros no estructurales.

Objetivos

Objetivo General

Elaborar un mampuesto compactado, para la construcción de muros divisorios sin compromiso estructural, mediante el aprovechamiento del residuo de las placas de yeso laminado recuperado de obra.

Objetivos Específicos

1. Determinar cuál es el volumen de residuos de placas de yeso laminado que se puede obtener según los índices de consumo de drywall.
2. Precisar la formulación que mejores características de compactación brinde, mediante la adición de diferentes materiales conglomerantes.
3. Comparar la resistencia a la compresión que logre alcanzar cada uno de los diseños de mezcla propuestos.
4. Observar cual es el resultado final que brinda el mampuesto trabajando en conjunto, mediante la fabricación de un murete de prueba.

Marco referencial

Dentro del marco referencial que cobija esta investigación se cuenta con una serie de antecedentes que ahondan en los usos que el yeso permite y las diferentes características y clases que se conocen de este material, el cual es muy tradicional y se ha utilizado en el campo de la construcción desde la edad artesanal la cual se enmarca en la revolución neolítica según (Domínguez 2005, p.42). Los referentes utilizados respaldan y brindan conocimientos previos en los procesos de reciclado de las placas de yeso laminado que en últimas es la materia prima para la elaboración del mampuesto propuesto.

Una de las empresas referentes en el reciclaje de yeso: Gypsum Recycling International, fundada en 2001 en Dinamarca, contempla que en la actualidad existe tecnología óptima para reciclar el 100% de los residuos procedentes de placas de yeso laminado, sin importar la procedencia del mismo, es decir si es un residuo de construcción o demolición, en adelante RCD, o si es lamina defectuosa o averiada en plantas durante el proceso de fabricación, el polvo de yeso reciclado puede reemplazar hasta un 25% del yeso natural, o bien del sintético, en la producción de nuevas placas de yeso laminado debido a la pureza y calidad del polvo recuperado. GRI (s.f.) (párr. 8)

Sin ser un referente teórico como tal, el trabajo que desarrolla esta empresa el cual se puede evidenciar en su sitio web, inicialmente represento para esta investigación un antecedente claro y palpable, de cuan factible es trabajar con yeso reciclado, y por lo tanto nos encamina en la búsqueda de la teoría que nos indique como realizar el proceso de aprovechamiento, y cuáles

son las pruebas a las que se debe someter el material recuperado, con el fin de determinar su utilidad y poder trabajar con él para así desarrollar los bloques compactados a base del residuo de las placas de yeso laminado, y poder presentar una propuesta que avale la elaboración e implementación de un material innovador para la construcción de muros divisorios no estructurales.

Una vez evidenciado el interés en la reutilización del residuo de las placas de yeso por diferentes entes privados, se hace necesario evidenciar las posibles cantidades a las cuales se podría acceder para que la fabricación en masa del bloque sea factible. Durante el proceso investigativo se evidencio la falta de información detallada por regiones, con respecto al uso del sistema liviano en seco, más sin embargo se logra determinar las cantidades de consumo en m² por año, como lo indica Camacol en la siguiente tabla:

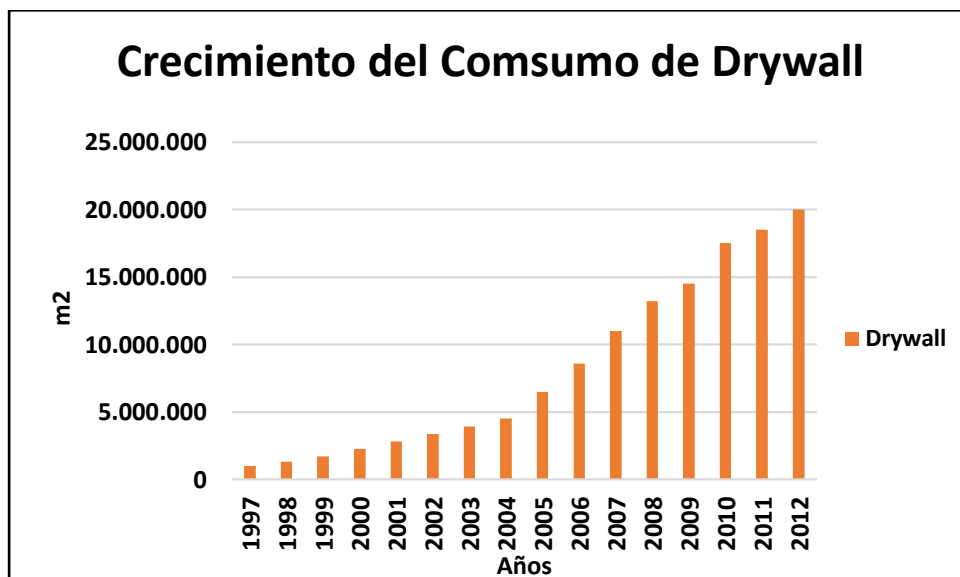


Imagen 1. Crecimiento del consumo de drywall en m² por años

Fuente: Gyplac (s.f.). Citado por Estudios económicos Camacol N.º 44 (2012) Recuperado de <https://goo.gl/vdrkyk>

La información obtenida en el referente anterior está registrada hasta el año 2012, por lo cual se buscó un contacto con la empresa fabricante Gyplac de donde se obtuvo información adicional, más sin embargo los datos siguen siendo a nivel nacional, no hay información detallada a nivel regional. En la información proporcionada por este fabricante, los datos obtenidos indican que el consumo sigue en aumento y esta sobre los 32.000.000 de m² para el año 2016, Según la Ing. Claudia Botero, encargada de proyectos de innovación con residuos de yeso procesado, esta empresa calcula sobre el valor de m² de producción, un estimado del 3% de residuo, es decir alrededor de 960.000 m² para el mismo año. Comparando los consumos del año 2012 con el año 2016, podemos asegurar que existe un crecimiento de consumo de drywall de 3.000.000 de m² por año aproximadamente.

Reutilización y valorización del yeso residual de construcciones. Begliardo (2015)

En respuesta a la problemática ambiental, que los residuos de construcción y demolición representan al día de hoy, debido al incremento generalizado de la construcción a nivel mundial, y siendo consecuentes con los problemas de contaminación, como el daño al lecho freático y la generación de gases tóxicos que estos acarrearán, y sin dejar de lado el alto costo económico que conlleva el manejo correcto de los mismos, el desarrollo investigativo de Begliardo considera inapropiado dejar pasar por alto el potencial de reciclado que tiene el yeso, por lo que se remite a realizar pruebas de laboratorio que permitan demostrar, que a partir de los residuos del yeso recuperado de obras de construcción es posible generar yesos que cumplan con la norma argentina: IRAM 1607:70 yeso cocido para revoques. Características. Y la norma chilena: NCh

143. Of 1999 yeso calcinado. Requisitos, proponiendo de esta forma aplicar un paliativo para dar manejo a las grandes cantidades de residuo de yeso, indicadas por Begliardo (2015) apoyado en los datos suministrados por (GRI, 2013; Ahmed et al., 2011) quien indica que, en los vertederos, anualmente se pueden depositar alrededor de 15 Mt lo que equivale a unas 40.000 t/día.

Este referente es de suma importancia para el arranque del proyecto investigativo de los bloques compactados, toda vez que refirma con bases teóricas, resultantes todas ellas de pruebas de laboratorio, la posibilidad de obtener una base de yeso funcional a partir de la recuperación de residuos provenientes de láminas de yeso-cartón, y de yesos aplicados de forma húmeda en obra.

De esta investigación también se rescata la observación con respecto a la necesidad del retiro o eliminación de las capas de cartón que conforman el yeso laminado, para poder obtener así un residuo que no genere hongos al momento de ser reutilizado debido a la presencia de celulosa que causa la aparición de los mismos.

Para el retiro de dicha celulosa se hace de manera previa una inmersión en agua de las piezas con las cuales se va trabajar, con el fin de hacer más blandas las capas de cartón y poder retirarlas de forma manual con mayor facilidad.

De igual forma todas las muestras que se sometieron a la inmersión en agua deben pasar por un proceso de secado el cual evidenciamos que es totalmente necesario debido a que las piezas conservan un alto porcentaje de humedad y hace que el proceso de trituración sea imposible de realizar, y no se obtiene material pulverizado, sino que por el contrario se hace una masa inmanejable.

Reciclaje y cierre del ciclo de vida de las placas de yeso laminado. Fernández (2013).

Una de las empresas productoras de láminas de yeso-cartón con presencia en España es Knauf GmbH, ellos como fabricantes son conscientes de la problemática actual que representan los residuos provenientes de la implementación del sistema constructivo liviano en seco, este conflicto es abordado por la compañía productora con el fin de generar soluciones que hagan frente a la problemática de los residuos de construcción y demolición (RCD), lo cual se convierte en un plus para la compañía en mención, teniendo en cuenta que el interés generalizado de las demás compañías productoras es volver a reutilizar únicamente el producto de desecho que se da en las plantas de producción, dejando de lado los RCD, que a la final es lo que se deposita en vertederos, generando problemas ambientales y desaprovechando el potencial de reciclado que posee el producto.

Los conceptos tratados durante el estudio realizado por Knauf, expuestos por Fernández (2013), son de interés para la investigación, en ella se encuentra la idea “C2C” cradle to cradle, que significa del origen al origen y que a la fecha ya es un sistema de certificación con niveles establecidos de calificación, una definición más ampliada de este concepto según Fernández (2013) es que: “todo material puede ser reutilizado infinitas veces, creando un ciclo perpetuo”. Esto nos permite entender que los residuos aprovechados de una parte se pueden convertir en el nutriente de otro o inclusive en precursor de un nuevo material (Fernández 2013).

Otros conceptos de interés manejados en la investigación y que hacen parte del C2C son el upcycling o supra-reciclaje, que hace referencia al aprovechamiento de materiales reciclados para crear productos con mayor valor en comparación al que tenía el material inicial; otro

término es el downcycling que en si es la realidad actual del reciclaje, teniendo en cuenta que la mayoría de procesos de reciclado actual, tienen como resultado el desarrollo de un producto de menor calidad en comparación al producto inicial y que requiere de inversión económica para la obtención del mismo, según Fernández (2013) vivimos en un momento y situación en el que se debe replantear la forma y la finalidad para la que se hacen las cosas, como lo describe Romero (2011), citado por Fernández (2013):

Construcciones que, al igual que los árboles, produzcan más energía de la que consumen y depuren sus propias aguas residuales, factorías que produzcan como efluente agua potable, productos que, una vez finalizada su vida útil, puedan ser devueltos al suelo para que se descompongan y se conviertan en alimentos para plantas y animales y en nutrientes para la tierra; medios de transporte que mejoraran la calidad de vida al tiempo que distribuyen productos y servicios... (párr. 4).

Dentro del comparativo que se realiza a los modelos de C2C, Fernández (2013) cita de manera ilustrativa la gráfica comparativa de Michael Braungart, W.M. (2007):

Tabla 1.
Comparativo de ecoefectividad.

ECOEficiencia	ECOEfectividad
Trabajo con el que me da más por menos	Solo trabajo con lo correcto
Sostenibilidad	Resilencia
Reciclaje	Upcycling
Waste	Food

Fuente: Fernández (2013), (párr. 6) recuperado de <https://goo.gl/VeqNdU>

Técnica constructiva con tierra compactada, tecnología sostenible sin explorar.

Gonzáles (2011).

Este referente se enfoca en el análisis de una de las técnicas constructivas implementadas en la construcción con tierra, como lo son los bloques compactados en tierra o BTC, en este estudio se resaltan las características del mejoramiento mecánico que obtiene la tierra al ser humedecida y mezclada con un agente estabilizador, al igual que se destacan las óptimas condiciones que ofrecen los materiales compactados en respuesta a requerimientos térmicos y acústicos para las construcciones.

Para esta investigación resulto ser de gran interés la implementación de la prensa manual para confección de BTC, conocida como Cinva-Ram la cual se decide utilizar para el proceso de compactación del bloque, buscando que el desempeño mecánico del mismo sea el requerido, la Cinva-Ram es un desarrollo del programa de investigaciones del Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento (CINVA) producto de una idea original del Ing. Raúl Ramírez de nacionalidad chilena; esta prensa trabaja bajo el principio físico de la palanca, por medio de la cual se ejerce una presión constante al material que se desea compactar, aumentando así considerablemente su densidad. Gonzales (2011).

Adicional a esto también encontramos datos de interés concernientes a la compresión que debe manejar un BTC y que según Gonzáles (2011):

los BTC después del proceso de curado, deben tener una capacidad de compresión mínima de 285 psi o 20 kgf/cm². La prensa aplica una fuerza de compresión de

40.000 lb de presión, lo que genera una tasa de compresión de 1,63 kgf/cm² sobre el material. (p.103)

Los datos expuestos anteriormente se convierten en un punto de comparación para el bloque de yeso compactado que se plantea en esta investigación.



[Imagen 2](#). Prensa manual Cinva-Ram utilizada para la elaboración de BTC.
Fuente: Elaborado por Nicolás Garzón y Cesar Triana.

Adición de residuos de yeso laminado tratado, en el yeso de construcción. Rodríguez (2010).

La investigación profunda sobre los yesos que desarrolla este referente inicialmente trata sobre descripciones químicas del material, y en segunda instancia procede a detallar el comportamiento que tiene cada una de las formas en que se presenta el yeso en el mercado, y

cómo es su implementación en las obras de construcción, clasificando cual es la utilidad de cada uno y como es su comportamiento frente al proceso de fraguado, adicional a esto proporciona información sobre el tratamiento de los RCD en España y cuál es el panorama actual de los mismos, revisando las diferentes formas de mezclar el yeso con aligerantes o fibras que permitan mejorar las características de peso y tracción de piezas moldeadas en este material, para luego proponer la incorporación de residuos de yeso-cartón recuperado de obras de construcción junto con yesos puros, y realizar prototipos en probetas prismáticas para someterlas a pruebas que permitan establecer la posible pérdida de resistencia a la compresión y a la flexión y la pérdida de adherencia, tracción y demás características que puedan ser probadas, o si por el contrario la incorporación de residuos de yeso-cartón permite obtener prototipos con buenas características de resistencia a las diferentes cargas. De estas pruebas concluye Rodríguez (2011), “las resistencias mecánicas, tanto a flexión como a compresión, se ven disminuidas, como regla general, llegando, en algunos casos, a caídas próximas al 50%, pero en ningún caso por debajo de las especificaciones de la norma” (p.62). La norma utilizada en esta investigación es la UNE 102-031:99 Yesos y escayolas de construcción, métodos de ensayos físicos y mecánicos.

Se considera que este referente es de gran importancia para el proyecto, por la especificidad que maneja con respecto a las mezclas, el proceso de las mismas y todas las pruebas que se realizan a los prototipos obtenidos a partir de la unión del residuo de yeso-cartón con los yesos puros, y como dentro de las líneas concluyentes del proyecto recomienda las mezclas de mejor comportamiento con base a las pruebas aplicadas, lo cual permite obtener un panorama más claro con respecto a que materiales se deben utilizar en la elaboración de las

mezclas para compactar el bloque, y también permite determinar qué tipo de pruebas son viables para aplicar a los mampuestos propuestos para este proyecto.

En la forma de obtención del yeso reciclado que se implementa para el trabajo de investigación realizado por Agustín Rodríguez, se plantea un triturado manual de las placas de yeso laminado y luego un tamizado para eliminar la mayor cantidad de celulosa posible, lo que abre una nueva posibilidad de obtención del polvo de yeso recuperado que se aprovecha para el desarrollo de la investigación.

Por último, un referente que se considera de mayor importancia es la conclusión sobre el estado de semihidrato al cual conviene llevar el residuo de yeso-cartón, ya que según los comportamientos del material observados en el desarrollo de la investigación Rodríguez (2011) determina lo siguiente:

Para aumentar las prestaciones del material reciclado, se sometió a un proceso térmico consistente en introducirlo en una estufa a 250 °C durante 24 horas, con lo que se consigue que parte del sulfato de calcio dihidrato pase a sulfato de calcio semihidrato, transformando los residuos reciclados de simple material inerte, en materiales activos con aptitud para su hidratación y fraguado. (p.21)

Continuando con el desarrollo del marco referencial para esta investigación, se hace necesario abordar una serie de conceptos que hacen parte fundamental del compendio de materiales, procesos o definiciones, que giran alrededor de la fabricación de los bloques de yeso compactado.

El primer concepto por tratar es el yeso, siendo este el componente principal de las láminas de yeso compactado, el cual es necesario entender para así estructurar una idea de las capacidades del mismo y cuáles son sus características físicas y mecánicas, a continuación, se expone una definición del material:

En referencia al mineral, el yeso es una roca sedimentaria de precipitación química, la cual se forma a raíz de la evaporación de las sales disueltas en agua de mar o lagos salados, su composición química natural se compone de sulfato de calcio con dos moléculas de agua, ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), también se conoce con el nombre de aljez o piedra de yeso y la pureza de este determina su clasificación ya que en ambiente natural la piedra de yeso puede contener impurezas de arcillas, sílice, dolomía, entre otras. (Rodríguez, 2010).

A partir de lo expuesto anteriormente se entiende que la composición química del yeso en su estado natural contiene dos moléculas de agua lo que hace que este no tenga la misma capacidad de cohesión que puede tener un yeso tratado como lo es el utilizado en la construcción y también entender que los yesos pueden tener diferentes tipos de clasificaciones, según su pureza y su composición química, lo cual permite determinar si el residuo utilizado en la fabricación de los mampuestos se puede compactar aprovechando las características de cohesión que brinda el yeso, pero teniendo en cuenta que no todo el producto recuperado posee las mismas características toda vez que cada empresa productora de placas de yeso laminado, utiliza diferentes componentes que pueden alterar el comportamiento del residuo utilizado. A continuación, se exponen las tablas de clasificación de los yesos:

Tabla 2.

Clasificación del yeso por su contenido de sulfato de calcio dihidrato.

CLASE	Composición Mineralógica	Composición Química
	Contenido de CaSO ₄ ·2H ₂ O mínimo (%)	Agua de cristalización mínimo (%)
I Extra	95	19.88
I	90	18.83
II	80	16.74
III	70	14.55
IV	60	12.56

Fuente: UNE 102001 (2014), Aljez o piedra de yeso caracterización, citado por Rodríguez (2010), (p.3), recuperado de <https://goo.gl/eTszZ6>

Tabla 3

Productos obtenidos a temperaturas de cocción.

TEMPERATURA	DENOMINACIÓN	FÓRMULA QUÍMICA
Ambiente	Aljez o piedra de yeso	CaSO ₄ 2H ₂ O
120 °C a 180 °C	Semihidrato (SH)	CaSO ₄ 1/2H ₂ O
180 °C a 300 °C	Anhidrita soluble (AnIII)	CaSO ₄ III
300 °C a 700 °C	Anhidrita II artificial (AnII)	CaSO ₄ II
>1.000 °C	Anhidrita I (AnI)	CaSO ₄ I

Fuente: Rodríguez (2010), (p.4), recuperado de <https://goo.gl/eTszZ6>.

Una vez entendida la composición química y las clasificaciones que se pueden obtener de los yesos según su cocción, se pueden abordar las características del yeso de construcción, el cual ya tratado brinda una mejora en la cohesión del mismo y sería el tipo de yeso ideal para la compactación del bloque de yeso recuperado.

Hablar de un yeso de construcción es básicamente obtener un material aglomerante a partir del yeso natural, esto se consigue mediante la calcinación del mismo a temperaturas que

oscilan entre los 90 a 130 °C, buscando eliminar molécula y media de agua, transformando el yeso de un dihidratado a un hemihidratado apto para dar cohesión en mezclas.

Eco-Ingenier. (2005). El yeso, Producción de materiales para acabados en la construcción a partir de un yeso de alta calidad y pureza: Eco Ingeniería S.A.S. Cali, Colombia. Recuperado de

<https://goo.gl/WMxeVv>.

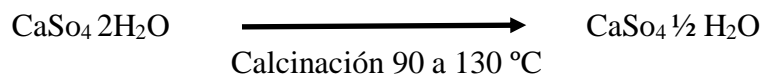


Imagen 3. Paso del yeso natural dihidrato a hemihidrato por medio de calcinación.

Fuente: Eco-Ingenier. (2005) recuperado de <https://goo.gl/WMxeVv>.

Después de tener claridad con las clases de yeso y el porqué de la calcinación del mismo para mejorar las condiciones de adhesión es necesario abordar el componente de donde se toma el residuo que sirve de materia prima para los bloques compactados que son las placas de yeso laminado o PYL, este es un material de construcción implementado en el sistema de construcción liviano, básicamente es una lámina cuya alma está compuesta por yeso y otros aditivos que mejoren las características básicas de la lámina como reguladores de fraguado, espumógenos, endurecedores y fibras entre otros, todo esto se compacta entre dos capas de celulosa multihoja para conseguir una compactación homogénea en una sola placa. Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'edificació de Lleida (2011). Sistemas constructivos con placa de yeso laminado: Asociación técnica y empresarial del yeso. Leida, España (p.10). Recuperado de <https://goo.gl/zEAXAm>

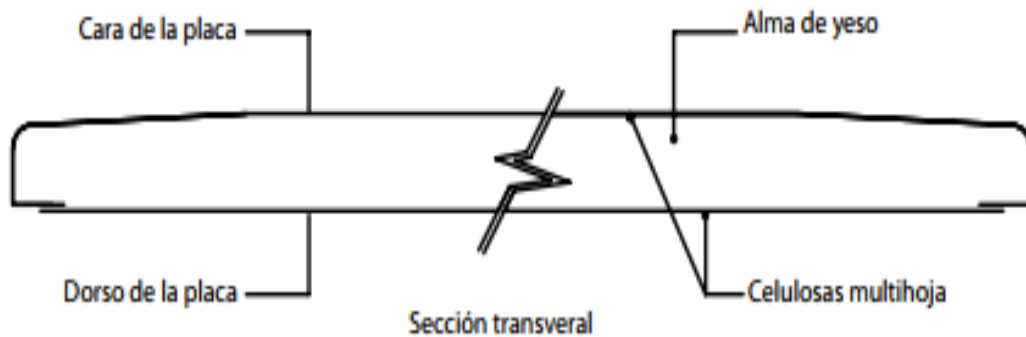


Imagen 4. Placa de yeso laminado o PYL

Fuente: Sistemas constructivos con placas de yeso laminado (p.10). Recuperado de <https://goo.gl/zEAXAm>

De esta forma se evidencia que el contenido depositado dentro de las capas de cartón multihoja es lo que realmente se recupera y se reutiliza para la compactación de los bloques y que la celulosa se debe retirar para evitar la aparición de hongos debido a la humedad generada por la adición de agua que debe llevar la mezcla.

La base del proyecto es el trabajo con yeso recuperado por lo que se hace necesario definir que son los residuos de construcción y demolición o RCD, los cuales son descritos por la Alcaldía de Bogotá de la siguiente manera: “Corresponde a todo residuo sólido resultante de las actividades de construcción, reparación o demolición, de las obras civiles o de otras actividades conexas, complementarias o análogas, anteriormente conocidos como escombros”. Alcaldía Mayor de Bogotá. (2015). Decreto 586, Modelo eficiente y sostenible de gestión de residuos de construcción y demolición - RCD en Bogotá D.C (p.4). Recuperado de <https://goo.gl/7LfWiz>.



[Imagen 5](#). Residuos de construcción, Placas de yeso laminado.
Fuente: Elaboración Nicolás Garzón y Cesar Triana.

Los RCD, representan una problemática identificada a nivel mundial por los entes gubernamentales encargados de los temas ambientales, en Bogotá particularmente la Secretaria Distrital de Ambiente se encuentra a la cabeza de la gestión de manejos de los residuos de construcción y demolición sobre los cuales se implementó el decreto N°586 de diciembre 29 de 2015, “por medio del cual se adopta el modelo eficiente y sostenible de gestión de los residuos de construcción y demolición - RCD en Bogotá D.C.”. En la redacción del decreto se relacionan algunas definiciones, actividades o roles que diferentes actores pueden desempeñar en pro de la gestión del residuo, uno de estos roles describe la actividad que se cumple en el proceso investigativo de los bloques compactados, esta actividad es la de gestor de RCD que según la Alcaldía de Bogotá Decreto N°586 (2015) se encarga de lo siguiente: “Personas naturales o jurídicas debidamente registrados ante la autoridad ambiental, que realiza actividades de acopio

temporal, tratamiento, aprovechamiento, o disposición final de RCD en la Ciudad de Bogotá D.C.” (p.4).

Ya entrando un poco más a fondo en lo que es el proceso de fabricación del bloque nos encontramos con un concepto muy importante como lo es el fraguado, una definición relacionada a los materiales utilizados en construcción es la siguiente: “Proceso de solidificación y pérdida de la plasticidad inicial que tiene lugar en el hormigón, mortero, cemento, etc. Por la desecación y cristalización”. Diccionario de arquitectura y construcción. (2017) (párr. 6).

En lo referente al fraguado del yeso existen características especiales, Eco-Ingenier. (2005) define:

El fenómeno de fraguado corresponde al entumecimiento o endurecimiento por cristalización de la pasta de yeso, cuya rapidez de desarrollo depende de la cantidad de agua empleada, del modo y el tiempo de mezclado, de la reactividad del yeso y de los modificadores utilizados. La reacción química de fraguado va acompañada de una elevación de la temperatura y un ligero aumento de volumen. Esta reacción exotérmica puede elevar la temperatura hasta 20 °C por encima de la temperatura ambiente. (p.5).

Para la confección de los bloques de yeso compactado el proceso de fraguado se debe manejar por medio de las cantidades de agua que se adicionan a la mezcla, esto con el fin de determinar un punto exacto en la que la mezcla no se acelere en el fraguado y pierda su

plasticidad y que tampoco la aumente ya que sería imposible manipular el bloque compactado por la falta de firmeza en el mampuesto.

Existe un concepto que califica el proceso al que se someten los residuos utilizados en la elaboración de los bloques, este concepto se denomina reciclar, en la consulta de referentes y definiciones se consideró adecuada la siguiente definición de reciclar: “someter materiales usados o desperdicios a un proceso de transformación o aprovechamiento para que puedan ser nuevamente utilizados.” Publicaciones didácticas. (2014) (p.45)

En relación con esta definición también se debe considerar de alto valor la titulación del artículo El Reciclaje, Una Herramienta no un Concepto. (Boada, 2013). Artículo escrito para la Universidad Externado de Colombia, en cuyo contenido se realiza un análisis profundo de los efectos de los residuos sólidos en la ciudad de Bogotá y una crítica directa a los entes gubernamentales que se limitan a trabajar en la elaboración de escritos y leyes cargadas de

conceptos, pero no potencian ni colaboran a la implementación correcta del reciclado como una herramienta preventiva para el aprovechamiento de los residuos.

La apropiación de este concepto ha dado luz a un sin número de proyectos, desde los más simples como elementos decorativos, artesanías etc. o hasta en campos complejos de la investigación, todos ellos ven en los productos reciclados un precursor con las características necesarias para poder desarrollar nuevos productos, aprovechando de esta forma el potencial que cada uno de estos brindan en relación con sus características físicas, químicas y demás.

Cerrando el marco conceptual quedan tres componentes a tratar, el primero de ellos es la compactación: como tal en su definición, hace referencia a la acción de comprimir al máximo un

objeto o material, buscando aumentar la densidad del mismo debido a la extracción del aire que este pueda contener, esta compactación se puede dar por la acción de prensado que consiste en comprimir o apretar algo en una prensa. Gran diccionario de la Lengua Española. (2016). Compactación, Recuperado de <http://es.thefreedictionary.com/compactaci%C3%B3n>.

Para el proyecto esta definición aplica al proceso de fabricación, ya que como su nombre lo indica es un bloque compactado y es la acción que se realiza por medio de la Cinva-Ram para poder comprimir la mezcla previamente homogeneizada, generando adherencia de todos los materiales para obtener la forma y consistencia requeridas para retirar el bloque de la prensa y disponerlo para su fraguado al aire.

En segundo lugar, se encuentra el mampuesto el cual se puede definir como un material de característica pétreo, que se puede instalar de forma manual, es decir que para su asentamiento (nombre que recibe el proceso de instalación de un mampuesto), no requiere de ningún artefacto o maquinaria adicional y su método de instalación consiste en la

superposición de uno sobre el otro, esta labor se conoce como mampostería. La frontera del duero. (2017).

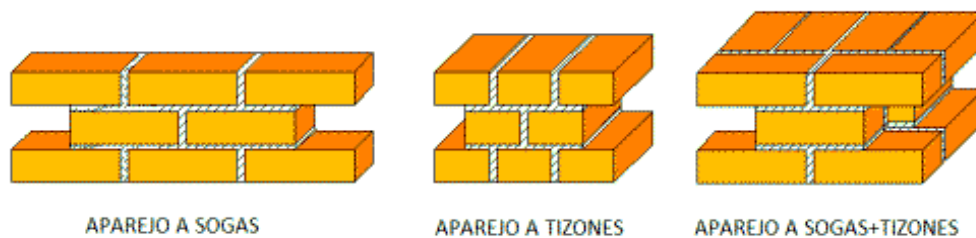


Imagen 6. Tipos de aparejos en mampostería.
Fuente: <https://goo.gl/vkxGmH>

El bloque de yeso compactado es técnicamente un mampuesto, fabricado para ser instalado de forma manual y apilado uno sobre el otro, el bloque se puede disponer al igual que un mampuesto tradicional en aparejos de soga, tizón o combinados como se aprecia en la imagen

En tercer lugar y cerrando el contenido del marco conceptual se encuentran los muros no estructurales, la NSR-10 los define de la siguiente manera: “Elemento dispuesto para separar espacios, que atiende cargas únicamente debidas a su peso propio”. Comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes. (2010).



[Imagen 7](#). Muros divisorios no estructurales.
Fuente: <https://goo.gl/hn4N6a>

Todo material o proceso constructivo utilizado en la construcción debe contar con una normatividad que soporta y avala el funcionamiento del mismo, por este motivo se hace imperativo establecer dentro del marco normativo existente, que normas aplican en el caso del bloque compactado propuesto en esta investigación, para tal fin se realiza inicialmente la consulta del reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, la cual en su título D – Mampostería estructural, título que también contiene la normatividad de los muros en mampostería no estructural, enumera las Normas Técnicas Colombianas (NTC), que regulan los

ensayos a los que se deben someter las piezas de mampostería para determinar su funcionalidad en la construcción.

Norma técnica colombiana 4017: Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla.

El capítulo 7 de esta norma establece el procedimiento del ensayo de resistencia a la compresión para las unidades de mampostería, los puntos para tener en cuenta para la elaboración del ensayo son los siguientes:

- Se deben ensayar 5 especímenes.
- Las unidades con perforaciones se deben someter a cargas en la misma posición que se disponen en la mampostería.
- Si el equipo de ensayo no tiene la capacidad de recibir las unidades de ensayo en su totalidad, estas se pueden reducir en su largo, y se debe conservar su altura y su ancho original ± 25 mm.
- La velocidad de la aplicación de la carga se debe hacer a una velocidad adecuada hasta la mitad de lo requerido por la norma, y el restante de la carga se debe realizar e no menos de 60 s, ni más de 120 s. Para efectos de cálculos e informes, se debe proceder a calcular la resistencia a la compresión de cada unidad, de la forma como lo muestra el siguiente diagrama:

$$\text{Resistencia a la compresión, } C = \frac{W}{A}$$

En donde

C= resistencia del espécimen a la compresión, en Pa x 10⁴ (ó kgf/cm²)

W= carga máxima (de rotura), en N (ó kgf), ó la indicada por la máquina de ensayo.

A=promedio de áreas brutas de las superficies superior e inferior del espécimen, en cm² (véase la nota 8)

Nota 8 Cuando se requiera de cálculo de la resistencia a la compresión sobre el área neta (como, por ejemplo, en ladrillos de perforación vertical), se sustituye A en la fórmula, por el área neta en cm², la cual se obtiene después de descontar todas las áreas correspondientes a las perforaciones de la sección perpendicular a la dirección de carga.

[Imagen 8.](#) Fórmula para el cálculo de la resistencia a la compresión.

Fuente: NTC 4017 Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla. (p.8).

Uno de los aspectos puntuales a revisar en un mampuesto debe ser su resistencia a la compresión, puesto que es el esfuerzo natural de trabajo al que se encuentra sometida toda pieza de mampostería cuando trabaja en conjunto, es decir dentro de la conformación de un muro, por tal motivo esta es una prueba obligatoria para los bloques de yeso compactado y según la morfología del bloque propuesto se debe aplicar la nota 8 que indica la norma para las unidades con perforación vertical.



[Imagen 9:](#) Unidad de mampostería con perforación vertical.

Fuente: Elaboración Nicolás Garzón y Cesar Triana.

Norma técnica colombiana 4076: Ingeniería civil y arquitectura. Unidades (bloques y ladrillos) de concreto para mampostería no estructural interior y chapas de concreto.

Esta norma en su capítulo 4 establece los requisitos físicos de una unidad de mampostería con perforación vertical y determina sus dimensiones, al igual que las clasifica según su peso y determina valores para la resistencia a la compresión.

- Liviano: una densidad de menos de 1680 kg/m^3 .

- Peso medio: una densidad de 1680 kg/m^3 hasta menos de 2000 kg/m^3 .

- Peso normal: una densidad de 2000 kg/m^3 o más.

Con respecto a las dimensiones la norma indica que, para las unidades perforadas, se deben conservar espesores de pared y de tabique de 20 mm y referente a la resistencia a la compresión indica los valores mínimos relacionados en la tabla 4.

Para efectos del proyecto, esta norma determina si el bloque de yeso compactado se puede clasificar como un mampuesto liviano o no según su densidad, adicional a esto determina la medida mínima que deben tener las paredes del mampuesto debido a que presenta perforaciones verticales. Otro aspecto muy importante que brinda esta norma y que sirve de punto comparativo, es la resistencia mínima a la compresión que deben manejar los mampuestos de concreto, de esta forma se puede determinar a qué rango de resistencia puede llegar el mampuesto propuesto.

[Tabla 4.](#)

Valores de la resistencia a la compresión

Resistencia a la compresión a los 28 d (R_c 28) ^A , evaluada sobre el área neta promedio	
Mínimo Mpa	
Promedio de 3 unidades	Individual
6,0	5,0
<p>A la resistencia a la compresión se ha especificado a los 28 d. Sin embargo, las unidades o chapas se pueden utilizar en períodos más tempranos, cuando exista un historial sobre evolución de la resistencia de unidades o chapas de iguales características, y éste indique que las primeras alcanzan dicha resistencia. Esto no exime de la verificación directa de la calidad a las unidades o chapas.</p>	

Fuente: NTC 4076 Unidades de concreto para mampostería no estructural. (p.4).

Norma técnica colombiana 4205: Unidades de mampostería de arcilla cocida.

Ladrillos y bloques cerámicos. Parte 2: Mampostería no estructural.

Las clasificaciones y rotulados que indica esta norma para la mampostería no estructural, tanto para unidades con perforaciones horizontales, verticales o macizas permite determinar el enmarque bajo el cual se podría denominar el bloque de yeso compactado propuesto, y cuál es el punto comparativo con la resistencia a la compresión de unidades no estructurales tradicionales.

Inicialmente la norma habla de una clasificación en función de sus perforaciones o morfología tradicional y considera livianos a todos lo que posean perforaciones horizontales, de esta manera y aunque el bloque propuesto no es en arcilla si se podría clasificar dentro de los bloques livianos gracias a sus perforaciones verticales.

De la norma se toma en cuenta la medida de designación y rotulación de los mampuestos, la cual recomienda una serie de marcaciones y avisos que deben ser implementados en la designación comercial del bloque y gravado de manera física en una de sus caras, todo esto con

la finalidad de resaltar su característica no estructural; el nombre comercial debe estar acompañado de “no estructural interior”, adicional a esto se deben poner las iniciales según el tipo de bloque de la siguiente manera: M para bloques macizos; PH para bloques con perforación horizontal y PV para bloques con perforación vertical. Si bien es cierto que el bloque de yeso compactado se encuentra en proceso de investigación, es de interés rescatar desde un principio este tipo de indicaciones que permiten tener un mayor conocimiento del manejo que requiere este tipo de mampuestos.

En segunda instancia la norma habla de las propiedades físicas con las que deben contar las unidades de mampostería no estructural en términos de resistencia a la compresión y absorción de agua, esto permite obtener datos que brinden puntos de comparación al momento de revisar las resistencias a compresión que logren alcanzar los bloques de yeso compactado, la absorción de agua no será tomada en cuenta para esta investigación debido a que al ser yeso el componente principal de la propuesta se debe dar un manejo de mayor profundidad investigativa que esta fuera del alcance de este proyecto.

En la tabla 5, podemos observar los valores mínimos de resistencia a compresión con los que deben contar los mampuestos según los tipos de características descritas con anterioridad.

Las paredes y perforaciones en los mampuestos no estructurales, es otro de los aspectos de los que habla la norma y que, por las características de fabricación propuestas para el bloque de yeso compactado, se hace necesario incluir dentro de los apartes abordados.

La norma indica que las unidades de mampostería no estructural no están sujetas como tal a requisitos especiales para las dimensiones de las paredes y tabiques, pero en el caso de las unidades fabricadas con condiciones para permitir el paso de acometidas de manera

vertical, las perforaciones dispuestas para dicho fin deben tener una dimensión mínima de 50mm. A lo que el prototipo fabricado cumple con una perforación de 70mm.

Tabla 5.

Propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural

Tipo	Resistencia mínima a la compresión Mpa (kgf/cm ²)		Absorción de agua máxima en %	
	Prom 5 Unidades	Unidad	Interior	
			Prom 5 Unidades	Unidad
PH	3,0 (30)	2,0 (20)	17	20
PV	14,0 (140)	10,0 (100)	17	20
M	14,0 (140)	10,0 (100)	17	20
Unidades livianas PH	2,0 (20)	1,5 (15)	17	20

Fuente: NTC 4205 Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Parte 2: Mampostería no estructural.

Con respecto al área total de las perforaciones de los mampuestos, la norma indica que no pueden ser mayores al 75% de área bruta de la sección medida y delimita el número de celdas por unidad según su ancho como lo detalla en la tabla 6.

Tabla 6. Numero de celdas en la dirección del ancho del muro.

Ancho real del ladrillo (cm)	Número de celdas en la unidad	Número mínimo de celdas en la dirección del ancho del muro
5	3	1
8		
10		
15		
15	4	2
20		
25		

Fuente: NTC 4205 Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Parte 2: Mampostería no estructural. (p.8)

Según la indicación con respecto a las áreas y la tabla anterior, se hace necesario determinar las áreas del bloque, el ejercicio para hallarlas se expresa a continuación:

$$\text{Área bruta del bloque: } A = 2 \cdot (a \cdot b + a \cdot h + b \cdot h)$$

En donde: a es la medida de la base (30 cm), b es el ancho del bloque (15 cm) y h es la altura del bloque (12 cm).

$$\text{Por lo tanto: } A = 2 \cdot (30 \text{ cm} \cdot 15 \text{ cm} + 30 \text{ cm} \cdot 12 \text{ cm} + 15 \text{ cm} \cdot 12 \text{ cm})$$

$$A = 2 \cdot 990 = 1980 \text{ cm}^2.$$

Área bruta del bloque: 1980 cm ²

Ahora se debe determinar el área de las perforaciones para restarla al área bruta y obtener el área neta del bloque:

$$\text{Área de las perforaciones cilíndricas: } A = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot (r + h)$$

$$\text{Por lo tanto: } A = 2 \cdot \pi \cdot 3.5 \cdot (3.5 + 12)$$

$$A = 21.99 \cdot 18.5$$

$$A = 340.86 \text{ cm}^2$$

El área hallada anteriormente corresponde a la de una sola perforación por lo que el área total de las perforaciones es el producto de multiplicar el área hallada por dos:²

Área de las perforaciones del bloque: 681.72 cm ²
--

Restando el área de las perforaciones al área bruta, obtenemos el área neta del bloque:

Área neta del bloque: 1298.27 cm ²

Formulas recuperadas de: <https://goo.gl/onnxlj> y <https://goo.gl/m7Qhvh>

Una vez obtenidos estos datos podemos deducir que las perforaciones son el 41% del área bruta y que se encuentra dentro de las tolerancias que da la norma al igual que el número de perforaciones (2) por el ancho del bloque.

Por último, se tiene en cuenta dentro de esta norma la indicación sobre la coordinación modular, la cual establece que para la mampostería de tipo no estructural no se debe regir a ningún tipo de medida modular, más sin embargo si debe ajustarse a los requerimientos que detalla la NTC-296 los cuales se listan a continuación.

Norma técnica colombiana 296: Dimensiones modulares de unidades de mampostería de arcilla.

Las dimensiones que se manejan de manera comercial para la presentación de mampuestos que se ajusten a la coordinación modular están normalizadas por la NTC 296, pero cabe aclarar que la fabricación de unidades es libre en dimensiones, siempre y cuando se trate de mampostería no estructural como lo indica la NTC 4205-2.

Si por el contrario lo que se desea fabricar es una unidad modular, esta debe contar con medidas modulares y especificar su sentido de coordinación, la definición de la coordinación se detalla a continuación con el fin de entender esta terminología referente a la mampostería:

- **Coordinación modular:** Es el método implementado para dimensionar una edificación y sus componentes, buscando que las medidas sean múltiplos o submúltiplos de una dimensión común, lo que se conoce como modulo.
- **Coordinación horizontal:** Es la coordinación que se determina sobre un plano horizontal.

- **Coordinación vertical:** Es la coordinación que se determina en un plano vertical.
- **Coordinación Espacial:** Coordinación modular de dimensiones en los dos planos, tanto vertical, como horizontal.

Según lo expuesto anteriormente los bloques deben tener medidas en múltiplos de la dimensión común de la construcción en las tres dimensiones, con el fin de ejemplificar estas medidas, la norma dispone de las siguientes tablas que indican las dimensiones modulares y las modulaciones horizontales, en esta última la altura que se le quiera proporcionar al mampuesto es libre.

En la columna donde habla de “dimensiones reales” hace referencia a la medida modular del mampuesto sin la junta de pega es decir a su medida de fabricación.

Tabla 7.

Dimensiones modulares

Dimensiones modulares (mm)			Dimensiones reales (mm)		
Longitud	Ancho	Altura	Longitud	Ancho	Altura
240	120	60	230	110	50
260	130	65	250	120	55
300	150	75	290	140	65
400	200	100	390	190	90

Fuente: NTC 296 Dimensiones modulares de unidades de mampostería de arcilla. (p.3)

Tabla 8.

Dimensiones de unidades modulación horizontal

Medida modular Altura x ancho x longitud (cm)	Medidas reales Altura x ancho x longitud (cm)
6 x 15 x 30	6 x 14 x 29
10 x 15 x 30	10 x 14 x 29
15 x 20 x 40	15 x 19 x 39
20 x 20 x 40	20 x 19 x 39

Fuente: NTC 296 Dimensiones modulares de unidades de mampostería de arcilla. (p.3)

Debido a que el bloque propuesto se fabrica con la prensa manual Cinva-Ram, y sus moldes ya se encuentran prediseñados, las dimensiones obtenidas no corresponden a lo indicado por la norma según las tablas 7 y 8, las dimensiones del diseño son: longitud 30cm, ancho 15cm y altura 12cm, esto sucede con las medidas del prototipo, pero no indica que la fabricación sea supeditada a esas medidas ya que se pueden implementar molduras que permitan obtener dimensiones modulares.

Desarrollo del proyecto

A continuación, se detalla el proceso de producción de los bloques compactados a partir de residuos de placas de yeso laminado recuperados de obra:

1. Se inicia con la recuperación del residuo de placas de yeso laminado el cual se clasifica con el fin de dejar un solo tipo de placa, en este caso lamina estándar de marca Gyplac, con esto se busca que el producto base obtenido sea el mismo para la elaboración de todas las mezclas y que los bloques compactados no presenten diferencias en su compuesto base.



Imagen 10. Residuo de placas de yeso laminado en obra.
Fuente: Elaboración Nicolás Garzón y Cesar Triana.

2. Teniendo pleno conocimiento con base de las referencias consultadas, realizamos la separación de la celulosa de recubrimiento de las placas de yeso compactadas, iniciando con la modalidad de inmersión en agua.



[Imagen 11.](#) Piezas de residuo recuperado clasificadas y sometidas a inmersión en agua.
Fuente: Elaboración Nicolás Garzón y Cesar Triana.



[Imagen 12.](#) Separación de la celulosa de los residuos recuperados.
Fuente: Elaboración Nicolás Garzón y Cesar Triana.

las piezas libres de celulosa se llevaron al laboratorio, ocho días después, con el fin de someterlas al proceso de triturado en el molino industrial, de este proceso de triturado no fue posible obtener material adecuado para compactar, esto debido a que las piezas de residuo conservaban humedad por motivo de la inmersión en agua que no se

detectaba a simple vista pero que en el proceso de molienda arrojaba una pasta imposible de manipular, como se aprecia en la imagen 13.



[Imagen 13.](#) Pasta de yeso producto del triturado
Fuente: Elaboración Nicolás Garzón y Cesar Triana.

3. Una vez descartado el proceso anteriormente descrito debido a que el producto obtenido no permite realizar ninguna mezcla, se procede a implementar una segunda técnica que consiste en el triturado de las piezas de residuo totalmente secas, este procedimiento lo realiza la empresa Knauf en la recuperación de sus residuos en planta con maquinaria especializada, buscando una adaptación del proceso de Knauf, se monta una criba de 10 mm en el interior del molino, con el fin de separar el polvo de yeso, de la celulosa.

Este proceso es el que a la final brinda un resultado óptimo y con el que se decide trabajar para obtener el polvo de yeso recuperado, necesario para el diseño de las mezclas.



[Imagen 14.](#) Celulosa retirada parcialmente alojada en la criba del molino y polvo de yeso recuperado.
Fuente: Elaboración Nicolás Garzón y Cesar Triana.

Debido a que durante el proceso de molienda el molino permite el paso de partículas de celulosa junto con el polvo de yeso recuperado, como se evidencia en la imagen 14, es necesario pasar el polvo por una malla en polietileno de alta densidad, tipo mosquitero, logrando así separar por completo la celulosa del polvo de yeso recuperado



[Imagen 15.](#) Malla de polietileno tipo mosquitero y separación de la celulosa.
Fuente: Elaboración Nicolás Garzón y Cesar Triana.

4. Una vez obtenido el polvo de yeso recuperado, se procede a realizar las mezclas junto a los diferentes materiales propuestos, buscando composiciones que alternen partes de yeso puro, cemento blanco, cal y arena. Estos materiales se encontraron relacionados en las pruebas realizadas en las diferentes tesis consultadas dentro del marco referencial y cumplen las siguientes funciones dentro del proceso:
- Yeso puro: Su función dentro de la mezcla es ser un colaborante en el proceso de fraguado de la pieza a compactar y potenciar las características del yeso recuperado.
 - Cemento blanco: Actúa como un elemento estabilizador proporcionando fuerza y consistencia a la mezcla, y no se utiliza el gris para no alterar el color que le proporciona el yeso.
 - Cal: La finalidad del uso de la cal es la misma del cemento blanco por ser un material conglomerante, pero se utiliza con el fin de determinar la factibilidad de la implementación de un material más económico que no eleve el costo final del bloque.
 - Arena de peña: Cumple la función de compactación en las mezclas de concretos o morteros y se realizaron muestras con adiciones de arena con el fin de establecer si permite una mejor compactación del bloque, debido a que su granulometría es mayor a la de los otros materiales utilizados.



[Imagen 16.](#) Mezclas de materiales.

Fuente: Elaboración Nicolás Garzón y Cesar Triana.

5. Se procede a realizar las primeras mezclas y a relacionar cada una de ellas, tomando los pesos de los materiales adicionados y observando las características que brinda cada una de ellas durante el proceso de compactación, y en el resultado final de la obtención del bloque.



[Imagen 17.](#) Pesaje de cada uno de los materiales antes de adicionar a la mezcla.

Fuente: Elaboración Nicolás Garzón y Cesar Triana.



[Imagen 18.](#) Homogeneización de la mezcla y adición de agua para compactar.
Fuente: Elaboración Nicolás Garzón y Cesar Triana.

6. Por último, se procede al cargue de la prensa Cinva-Ram con la mezcla diseñada para compactar, es de anotar que previamente la prensa fue aseada y lubricada en todas sus paredes para que se pueda desmoldar con facilidad el bloque, buscando obtener un acabado fino en las caras del bloque compactado.



[Imagen 19.](#) Cargue de la Cinva-Ram y compactación de la mezcla.
Fuente: Elaboración Nicolás Garzón y Cesar Triana.



[Imagen 20.](#) Obtención del prototipo del bloque compactado.
Fuente: Elaboración Nicolás Garzón y Cesar Triana.

Para realizar las pruebas de resistencia a la compresión de los prototipos compactados, es necesario tener cinco unidades de cada una de las mezclas propuestas, esto lo indica la norma NTC-4017 (p.2). Las diferentes mezclas diseñadas se relacionan en la tabla que se presenta a continuación donde se especifican los pesos agregados por material:

[Tabla 9.](#)
Pesos por material implementados en las mezclas.

TABLA DE MEZCLAS							
MEZCLA N.º	RESIDUO DE YESO RECUPERADO	CEMENTO BLANCO	YESO PURO	ARENA	CAL	AGUA EN ml	N.º DE MUESTRAS
1	300 gr.	1500 gr.	1500 gr.	0 gr.	0 gr.	2400	1
2	300 gr	1000 gr.	500 gr.	0 gr.	0 gr.	2400	1
3	300 gr	500 gr.	500 gr.	0 gr.	500 gr.	2927,5	1
4	300 gr	0 gr..	1000 gr	1000 gr.	2000 gr.	2400	1
5	300 gr	1000 gr.	1000 gr.	1000 gr.	1000 gr.	5323	1

Fuente: Elaboración Nicolás Garzón y Cesar Triana.

Pruebas de resistencia a la compresión: una vez culminado el proceso de elaboración de los bloques y posterior a un tiempo de fraguado de 20 días, los prototipos se llevan al laboratorio para realizar la prueba a compresión, que determinara los niveles de resistencia a dicho esfuerzo para cada una de las mezclas, los resultados que arroja esta prueba se detallan en la tabla 10.

Tabla 10. Resistencia a la compresión en kgf/cm²

mezcla 1

ITEM	A BASE	B ANCHO	H ALTO	RADIO	ÁREA BRUTA	ÁREA PERFORACION	ÁREA NETA	KN	KGF	RESISTENCIA A COMPRESION Kgf/cm2	PROMEDIO kgf/cm2
1	30	15	12	3,5	1980	681,7272	1298,273	56,7	5781,70	4,453	3,72
2	30	15	12	3,5	1980	681,7272	1298,273	54,6	5567,56	4,288	
3	30	15	12	3,5	1980	681,7272	1298,273	45,6	4649,83	3,582	
4	30	15	12	3,5	1980	681,7272	1298,273	39,4	4017,62	3,095	
5	30	15	12	3,5	1980	681,7272	1298,273	40,5	4129,79	3,181	

mezcla 2

1	30	15	12	3,5	1980	681,7272	1298,273	36,5	3721,91	2,867	3,36
2	30	15	12	3,5	1980	681,7272	1298,273	40,5	4129,79	3,181	
3	30	15	12	3,5	1980	681,7272	1298,273	36,07	3678,06	2,833	
4	30	15	12	3,5	1980	681,7272	1298,273	39,62	4040,05	3,112	
5	30	15	12	3,5	1980	681,7272	1298,273	61,1	6230,37	4,799	

mezcla 4

1	30	15	12	3,5	1980	681,7272	1298,273	26,62	2714,44	2,091	0,88
2	30	15	12	3,5	1980	681,7272	1298,273	4,8	489,46	0,377	
3	30	15	12	3,5	1980	681,7272	1298,273	6,09	621,00	0,478	
4	30	15	12	3,5	1980	681,7272	1298,273	10,5	1070,69	0,825	
5	30	15	12	3,5	1980	681,7272	1298,273	7,8	795,37	0,613	

mezcla 5

1	30	15	12	3,5	1980	681,7272	1298,273	7,86	801,48	0,617	0,77
2	30	15	12	3,5	1980	681,7272	1298,273	13,92	1419,42	1,093	
3	30	15	12	3,5	1980	681,7272	1298,273	6,89	702,57	0,541	
4	30	15	12	3,5	1980	681,7272	1298,273	9,81	1000,33	0,771	
5	30	15	12	3,5	1980	681,7272	1298,273	10,5	1070,685	0,825	

El prototipo que mayor carga máxima de rotura soporto fue el bloque 5 de la mezcla 2 que soporto una carga de 61,1 kN, lo que representa una resistencia a la compresión de 4.799 kgf/cm² la imagen 21 permite apreciar el momento de la prueba con los valores arrojados por la prensa universal.



[Imagen 21](#). Prueba de resistencia a la compresión.
Fuente: Elaboración Nicolás Garzón y Cesar Triana.

Conclusiones

Se descarta el método de separación de la celulosa por inmersión de agua debido a que el residuo conserva humedad interna que imposibilita la obtención de polvillo para mezclar, por lo que sería necesario someter las piezas sin triturar a un proceso de secado, que elevaría el costo final del producto, por ende, se concluye que el triturado en seco es el proceso adecuado para obtener el polvillo de mezcla.

La implementación de un molino de tipo agrícola como el que se utilizó permite el paso de una buena parte de celulosa a pesar del uso de la criba, lo que obliga a realizar un proceso adicional de tamizado para eliminar la celulosa lo que genera un trabajo adicional en el ciclo de elaboración del bloque.

Del proceso de compactación del residuo de placas de yeso laminado, se puede concluir que es totalmente factible la fabricación del bloque con la implementación de la prensa manual Cinva – Ram, ya que con cada una de las mezclas diseñadas fue posible desmoldar los bloques sin que se presentaran fisuras mayores ni desmoronamiento de los mismos.

La homogeneización de la mezcla de forma manual no es la más adecuada para el resultado final de la compactación, puesto que al momento de adicionar agua se generan condensaciones de material que no permiten tener un producto uniforme en su textura, esto inicialmente no se consideró como un problema mayor, pero en el momento de fallar los bloques se observó que estas condensaciones o grumos, se mantenían y no permitieron la compactación del material de manera uniforme. Estas condensaciones se aprecian en la imagen 22.



[Imagen 22](#). Condensaciones de material al adicionar agua a la mezcla.
Fuente: Elaboración Nicolás Garzón y Cesar Triana.

El método de compactación del bloque en la prensa permite la elaboración de unidades con diferentes tipos de molduras en sus caras laterales, lo que representa un valor agregado al producto final, ofreciendo posibilidades de acabados desde la construcción del muro sin la necesidad de adicionar procesos de enlucidos.

Las mezclas de mejor comportamiento a la compresión fueron aquellas que contenían mayor cantidad de cemento blanco llegando a los 3.72 kgf/cm^2 , contra 0.88 kgf/cm^2 que se obtuvo en una mezcla realizada sin adición de cemento, por lo que se concluye que este material conglomerante es el que mejores características de cohesión brinda para la elaboración del bloque.

La mezcla que se considera óptima para la elaboración de los bloques contiene 67% de yeso recuperado, 22% de cemento blanco y 11% de yeso puro, logrando un promedio de resistencia a la compresión de 3.36 kgf/cm^2 utilizando un 3% menos de cemento blanco, 14% menos de yeso puro y 17% más de yeso recuperado, comprado con la mezcla que llegó a los 3.72 kgf/cm^2

Recomendaciones

Es necesario realizar el triturado en molinos que realicen la separación de la celulosa evitando un tamizado adicional y que no generen pérdidas de producto, ya que al triturar al aire libre se pierde polvo triturado de residuo recuperado.

Se recomienda trabajar en el diseño de mezclas con proporciones diferentes a las ya ensayadas, con el fin de encontrar mejores texturas en el producto final ya que una de las características que no se logró mejorar durante el ejercicio realizado es la eliminación del polvillo que suelta el bloque de manera constante ante la fricción.

En los referentes teóricos, Rodríguez (2010) (p.4), indica la implementación un proceso de calcinación del yeso antes de adicionarlo a cualquier tipo de mezcla con el fin de aumentar sus capacidades de fraguado, con respecto a esto se recomienda calcinar el residuo a diferentes temperaturas y realizar una medición de los niveles de humedad buscando mejoras en la compactación.

Se considera que es necesario mejorar el proceso de homogeneización de la mezcla, en la medida de lo posible sería ideal tecnificarlo y no hacerlo de forma manual, esto con el fin de eliminar las condensaciones de material, lo cual mejoraría considerablemente la compactación del bloque gracias a un material parejo en su textura.

Los bloques compactados a base de residuos de placas de yeso laminado dejan abiertas líneas de investigación, tales como la respuesta termo acústica trabajando en conjunto, cual es el índice de absorción de agua y como se podría hacer funcionar bajo exposición a humedad, también se requiere trabajar en la fabricación de bloques de $\frac{1}{4}$, accesorios, pigmentos y materiales de pega diferentes al cemento blanco.

Referencias bibliográficas

Forero, S., Pulido, L. y Aguirre, M. (2012). Evolución de las normas técnicas y la inclusión de nuevos sistemas constructivos. *Estudios económicos Camacol*, N.º 44. Recuperado de <https://goo.gl/vdrkyk>

Domínguez, L. (2005). Las tres edades de la construcción. *Informes de la construcción*, N.º 498. Recuperado de <https://goo.gl/RuXM8h>

GRI, (s.f.). *¿Por qué reciclar los residuos de yeso?* Recuperado de <https://goo.gl/DyJJpi>

Begliardo, H. (2015). *Reutilización y valorización del yeso residual de construcciones*. (Tesis de maestría en ingeniería ambiental). Universidad Tecnológica Nacional-F.R. Santa fe, Argentina. Recuperado de <https://goo.gl/JNxjnn>

Fernández S. (2013). Reciclaje y cierre del ciclo de vida de las placas de yeso laminado. *Interempresas Industria del Agua*. Recuperado de <https://goo.gl/VeqNdU>

Rodríguez, A. (2010). *Adición de residuos de yeso lamiendo tratado, en el yeso de construcción*. Recuperado de <https://goo.gl/eTszZ6>

Eco Ingeniería S.A.S. (2005). *El yeso, Producción de materiales para acabados en la construcción a partir de un yeso de alta calidad y pureza*. Recuperado de <https://goo.gl/WMxeVv>

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2015). Decreto 586, *Modelo eficiente y sostenible de gestión de residuos de construcción y demolición - RCD en Bogotá D.C.* Recuperado de <https://goo.gl/7LfWiz>.

Diccionario de arquitectura y construcción. (2017). *Definición de fraguado y conceptos relacionados*. Recuperado de <https://goo.gl/Z2x4J9>.

Eco-Ingenier. (2005). *El yeso, Producción de materiales para acabados en la construcción a partir de un yeso de Alta calidad y pureza*. Recuperado de <https://goo.gl/WMxeVv>.

Publicaciones didácticas. (2014). *La importancia de reciclar*. España. Recuperado de <https://goo.gl/VK8Pb5>.

Gran diccionario de la Lengua Española. (2016). *Compactación*, Recuperado de <http://es.thefreedictionary.com/compactaci%C3%B3n>.

La frontera del duero. (2017). *Mampuesto*, recuperado de <https://goo.gl/kRDQY4>.

Comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, Título D – Mampostería estructural*. Recuperado de <https://goo.gl/pWRFYz>

Keller, K., Ávalos, H., Gallego, R., Ramírez, E., Gasset, M., Ruiz, E. et al. (2011) *Sistemas constructivos con placas de yeso laminado. Asociación técnica y empresarial del yeso*. Recuperado de <https://goo.gl/zEAXAm>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) (2005) NTC-4017 *Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla*.

ICONTEC (1997) NTC-4076 *Ingeniería civil y arquitectura. Unidades (bloques y ladrillos) de concreto, para mampostería no estructural interior y chapas de concreto*.

ICONTEC (2009) NTC-4205-2 *Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Parte 2 Mampostería no estructural*.

BLOQUES COMPACTADOS A PARTIR DE RESIDUOS DE PLACAS DE YESO-
LAMINADO RECUPERADOS DE OBRA

56

ICONTEC (2000) NTC-296 *Ingeniería civil y arquitectura. Dimensiones modulares de unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos.*