



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

REUTILIZACIÓN DE LA MADERA DE CONSTRUCCIÓN COMO AGREGADO EN CONCRETO

Arq. Juanita Ospina Copete

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Artes

Bogotá, Colombia

2023

REUTILIZACIÓN DE LA MADERA DE CONSTRUCCIÓN COMO AGREGADO EN CONCRETO

Arq. Juanita Ospina Copete

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magíster en Construcción

Directora:

MSc. Arq., Martha Luz Salcedo

Línea de Investigación:

Concreto

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Artes

Bogotá, Colombia

2023

A mi mamá y a mi hermana.

Agradecimientos

A Eduardo Montaña, Laura Trujillo y a mis compañeros de Vallejo Gerencia y Construcción por ayudarme y facilitarme el tiempo para realizar las muestras y poder desarrollar esta investigación

A mi tutora, Martha Luz Salcedo Barrera por su orientación y asesoría para llegar a culminar este trabajo.

Finalmente, a mi mamá y hermana por su apoyo incondicional, además de darme fortaleza, seguridad y confianza en mí misma para alcanzar los proyectos que he embarcado en mi vida personal y profesional.

Resumen

REUTILIZACIÓN DE LA MADERA DE CONSTRUCCIÓN COMO AGREGADO EN CONCRETO

La presente investigación tuvo como objetivo estudiar la reutilización de la madera de residuo de construcción RCD como agregado fino del concreto, teniendo unos reemplazos en el concreto del 2%, 7% y 15% en volumen del agregado fino para determinar el comportamiento mecánico del concreto con la adición de aserrín con respecto al concreto patrón. Teniendo como base un concreto de 210kg/cm², se realizan los ensayos de compresión a los 7, 14 y 28 días, logrando así presentar el porcentaje óptimo de madera (aserrín) 2%, el cual mejora el 11% de acuerdo al concreto patrón (164 kg/cm²), con base en esto se propone un elemento, un ladrillo macizo con el que se realiza ensayo de absorción; inicialmente se realizan 9 muestras de ladrillos, 3 de ellas con el 2% de la mezcla, otras 3 con la mezcla propuesta más un impermeabilizante (Sika 1) y por último 3 muestras con la misma mezcla más un inclusor de aire (Airtoc-D), en las cuales se presenta mayor absorción en el concreto con la mezcla propuesta con el 7% durante 7 días y menor absorción en los ladrillos que contienen el impermeabilizante, llegando solamente al 2%.

Con estos resultados se da inicio al ensayo ASTM para revisar la velocidad de absorción del concreto propuesto teniendo en cuenta la madera (aserrín) como agregado fino, con el que se obtiene una mayor absorción en la primera fase del ensayo, llegando del 0 al 4,42mm en $17,5 S^{1/2}$ de tiempo y una segunda fase más estable hasta llegar al 7.9 mm/s $^{1/2}$ con un tiempo (s) $^{1/2}$ 17.3 - 657.3.

Como conclusión se obtuvo que el concreto con adición de madera del 2% mejora la resistencia a la compresión del 2%, siendo óptimo para realizar un ladrillo de mampostería no estructural que se puede utilizar tanto en el interior como en el exterior, debido a su baja absorción con respecto a los ladrillos de arcilla que son comúnmente usados en nuestro país.

Palabras clave: Residuos de construcción y demolición, madera, reutilización, sostenibilidad, agregados reciclados.

Abstract

THE REUSE OF DEMOLITION WASTE (CDW) CONSTRUCTION RESIDUAL WOOD AS A FINE AGGREGATE IN CONCRETE

The objective of this research was to study the reuse of demolition waste (CDW) construction residual wood as a fine aggregate in concrete, with replacements in the concrete of 2%, 7% and 15% in volume from the fine aggregate to determine the mechanical behavior of concrete with the addition of sawdust according to the standard concrete. Based on a concrete of 210kg/cm², compression tests are performed at 7, 14 and 28 days, thus achieving the optimum percentage of wood (sawdust) 2%, which improves 11% according to the standard concrete (164 kg/cm²), based on this an element is proposed, a solid brick with which the absorption test is performed; Initially, 9 samples of bricks were taken, 3 of them with 2% of the mixture, another 3 with the proposed mixture plus a waterproofing agent (Sika 1) and finally 3 samples with the same mixture plus an air inclusor (Airtoc-D), in which there was greater absorption in the concrete with the proposed mixture with 7% for 7 days and less absorption in the bricks containing the waterproofing agent, reaching only 2%.

With these results the ASTM test is started to check the proposed concrete absorption rate taking into account the wood (sawdust) as a fine aggregate, with which a higher absorption is obtained in the first phase of the test, reaching from 0 to 4.42mm in 17.5 S^{1/2} time and a much more stable second phase reaching 7.9 mm/s^{1/2} with a time (s)^{1/2} 17.3 - 657.3.

As a conclusion, it was obtained that concrete with 2% of wood addition improves the compressive strength of 2%, being optimal for making a non-structural masonry brick that can be used both indoors and outdoors, due to its low absorption regarding to clay bricks that are commonly used in our country (Colombia).

Key words: Construction and demolition waste, wood, reuse, sustainability, recycled aggregates.

Contenido

	Pág.
Contenido	
1. Definición del problema	15
1.1 Formulación del problema	15
2. Justificación	16
3. Objetivos	19
3.1 Objetivos generales.....	19
3.2 Objetivos específicos	19
4. Marco teórico	20
4.1 Residuos de construcción	20
4.1.1 Panorama actual en Colombia.....	21
4.2 Madera.....	24
4.2.1 Características de la Madera	26
4.3 Concreto	28
4.3.1 Concreto aligerados	29
4.3.2 Diseño de mezclas	32
4.3.3 Agregados.....	33
4.4 Antecedentes	35
5. Metodología	40
5.1 Diseño de investigación.....	40
5.2 Elaboración de las probetas de concreto	42
5.3 Resultados.....	46
5.4 Propuesta de material	53
5.4.1 Muestra de ladrillo con madera al 2% totalmente sumergido	56
5.4.2 Muestra de ladrillo con madera al 2% parcialmente sumergido	57
5.4.3 Muestra de ladrillo con madera al 2% con Sika 1 como impermeabilizante sumergido	58

5.4.4	Muestra de ladrillo con madera al 2% con Sika 1 como impermeabilizante parcialmente sumergido	60
5.4.5	Muestra de ladrillo con madera al 2% con Airtoc D inclusor de aire sumergido 62	
5.4.6	Muestra de ladrillo con madera al 2% con Airtoc D inclusor de aire parcialmente sumergido	63
5.5	Ensayo ASTM C-1585.....	66
6	Conclusiones y recomendaciones.....	71
6.1	Conclusiones.....	71
6.2	Recomendaciones.....	73

Lista de figuras

Ilustración 1 Consumo de recurso en el sector de la construcción Fuente: [On Line] http://maat.com.co/servicios-econstruccion	11
Ilustración 2 Usos de la madera aserrada en Colombia (Polanco, 2007)	12
Ilustración 3 Estimación del consumo aparente de tableros de madera en Colombia (m3) (Polanco, 2007)	13
Ilustración 4 Disposición de residuos en el Relleno Doña Juana, (secretaría Distrital de ambiente, 2015)	16
Ilustración 5 Composición RCD (Guarín Cortés, Montenegro Roa, Walteros Galarza, & Reyes Gómez, 2010).....	17
Ilustración 6 Alcaldía mayor de Bogotá D.C (2015), Evaluación seguimiento y control como incentivo para la construcción sostenible [diapositivas de PowerPoint].....	21
Ilustración 7 Proceso de tratamiento de los residuos de madera	23
Ilustración 8 Directorio de recolectores aprobados por la SDM, Fuente: (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2022)	23
Ilustración 9 Porcentajes de materiales que se reciben en la entidad Maat Fuente: https://www.maat.com.co/	24
Ilustración 10 Volumen de aprovechamiento de las principales especies, 2018 - 2019 (Autores, Plataforma SUNL-VITAL,2018-2019)	25
Ilustración 11 Propiedades físicas y mecánicas de la madera sajo (WWF-Colombia, 2013, p. 78).....	27
Ilustración 12 Características físicas y mecánicas del Sande (WWF-Colombia, 2013, p. 80).....	28
Ilustración 13 Requisitos de gradación para agregados grueso Fuente: (Técnica, 2000) 33	
Ilustración 15 Adicionan del aserrín de madera a la mezcla	44
Ilustración 21 Resistencia a la compresión 210 Kg/cm2]	46
Ilustración 22 Falla de la muestra de concreto 210Kg/cm2 sin madera	47
Ilustración 23 Resistencia a la compresión 210 Kg/cm2 con el 2% de adición de madera	48
Ilustración 24 Falla de la muestra de concreto 210Kg/cm2 con el 2% de madera	48
Ilustración 25 Resistencia a la compresión 210 Kg/cm2 con el 7% de adición de madera	49

Ilustración 26 Falla de la muestra de concreto 210Kg/cm2 con el 7% de madera	50
Ilustración 27 Resistencia a la compresión 210 Kg/cm2 con el 15% de adición de madera	51
Ilustración 28 Falla de la muestra de concreto 210Kg/cm2 con el 15% de madera	52
Ilustración 29 Equipo para hacer los ladrillos. Fuente: Elaboración propia	54
Ilustración 30 Primera capa para la formación del ladrillo Fuente: Propia.....	55
Ilustración 31 Ultima capa para la formación del ladrillo Fuente: Propia	55
Ilustración 32 Presión realizada para la compactación en cada capa. Fuente: Propia.....	55
Ilustración 33 Producto final ladrillo. Fuente: Propia	55
Ilustración 34 Peso de ladrillo con 2 % de madera sumergidos en agua. Fuente: Propia	56
Ilustración 35 Peso de ladrillo con 2 % de madera parcialmente sumergidos en agua. Fuente: Propia.....	57
Ilustración 36 Muestras de 2% de madera con agua parcialmente. Fuente: Propia.....	58
Ilustración 37 Absorción de las primeras 24 horas. Fuente: Propia	58
Ilustración 38 Absorción del ladrillo durante el ensayo. Fuente: Propia	58
Ilustración 39 Absorción total de la muestra durante el ensayo. Fuente: Propia	58
Ilustración 40 Peso de ladrillo con 2 % de madera más aditivo Sika 1 totalmente sumergidos en agua. Fuente: Propia.....	59
Ilustración 41 Peso del ladrillo con 2% de madera con aditivo Sika 1 parcialmente sumergido en agua. Fuente: Propia.....	61
Ilustración 42 Elemento parcialmente sumergido en agua. Fuente: Propia.....	62
Ilustración 43 Primera medición de peso del elemento parcialmente sumergido en agua. Fuente: Propia.....	62
Ilustración 44 Elemento en la ultima toma de peso. Fuente: Propia.....	62
Ilustración 45 Ultima toma de peso del ladrillo parcialmente sumergido en agua. Fuente: Propia.....	62
Ilustración 46 Peso de ladrillo con 2 % de madera más aditivo Airtoc D sumergidos en agua. Fuente: Propia.....	63
Ilustración 47 Peso de ladrillo de concreto con madera al 2% con aditivo AIRTOC -D parcialmente sumergido. Fuente: Propia	64
Ilustración 48 Ladrillos de 2% con aditivo Airtoc D con agua parcial. Fuente: Propia.....	65
Ilustración 49 Ladrillo en la primera toma de peso.....	65
Ilustración 50 Toma de peso de la muestra	65

Ilustración 51 Ultima toma del ladrillo. Fuente: Propia	65
Ilustración 52 Grafico del resultado de absorción de agua. Fuente: Propia	69

Lista de tablas

Tabla 1 Resumen de antecedentes Fuente: Propia	38
Tabla 2 Cantidad de muestras tomadas. Elaboración propia	41
Tabla 3 Concreto sin aditivo Fuente: elaboración propia	46
Tabla 4 Concreto 210Kg/cm ² con el 2% de madera Fuente: elaboración propia	47
Tabla 5 Concreto 210Kg/cm ² con el 7% de madera Fuente: elaboración propia	49
Tabla 6 Concreto 210Kg/cm ² con el 15% de madera Fuente: elaboración propia	50
Tabla 7 Resultados por dosificación de madera. Fuente: Elaboración propia	52
Tabla 8 Consolidado a 28 días por el porcentaje de madera Fuente: Elaboración propia	53
Tabla 9 Peso de ladrillo con 2 % de madera totalmente sumergidos en agua. Fuente: Propia.....	56
Tabla 10 Peso de ladrillo con 2 % de madera parcialmente sumergidos en agua. Fuente: Propia.....	57
Tabla 11 Peso de ladrillo con 2 % de madera más aditivo Sika 1 totalmente sumergidos en agua. Fuente: Propia	59
Tabla 12 Peso del ladrillo con 2% de madera con aditivo Sika 1 parcialmente sumergido en agua. Fuente: Propia	60
Tabla 13 Peso de ladrillo con 2 % de madera más aditivo Airtoc D sumergidos en agua. Fuente: Propia.....	63
Tabla 14 Peso de ladrillo con madera al 2% con Airtoc- D parcialmente sumergido. Fuente: Propia.....	64
Tabla 15 Datos de los ladrillos. Fuente: Propia.....	67
Tabla 16 Datos obtenidos del ensayo. Fuente: Propia.....	67

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
A	Área	m^2	$\iint dx dy$
A_{BET}	Área interna del sólido	$\frac{m^2}{g}$	ver DIN ISO 9277
A_g	Área transversal de la fase gaseosa	m^2	Ec. 3.2
A_s	Área transversal de la carga a granel	m^2	Ec. 3.6
A	Coficiente	1	Tabla 3-1
A	Contenido de ceniza	1	$\frac{m_{ceniza}}{m_{bm \ 0}}$
C	Contenido de carbono	1	$\frac{m_C}{m}$
C	Longitud de la cuerda	m	Figura 3-4
C	Concentración de la cantidad de materia	$\frac{mol}{m^3}$	$\frac{n}{V}$
D	Diámetro	m	
E_A	Energía de activación	$\frac{kJ}{mol}$	Ec. 3.7
F	Fracción de material volátil	1	ver DIN 51720
Fr	Número de Froude	1	$\frac{w^2 R}{g^0}$
	Aceleración de la gravedad	$\frac{m}{s^2}$	$\frac{d^2 \vec{r}}{dt^2}$
H	Entalpía	J	$U + PV$
H_0	Poder calorífico superior	$\frac{MJ}{Kg}$	ver DIN 51857
H	Coficiente de hidrógeno	1	$\frac{m_H}{m}$
K	Coficiente de equilibrio	1	Ec. 2.5
L	Longitud	m	DF
L	Longitud del reactor	m	Figura 5-4
Q	Calor	kJ	1. LT
T	Temperatura	K	DF
T	Tiempo	s	DF
x_i	Fracción de la cantidad de materia	1	$\frac{n_i}{n}$
V	Volumen	m^3	$\int dr^3$
\vec{u}	Velocidad	$\frac{m}{s}$	$\frac{dr}{dt}, r \frac{dv}{dt}, \frac{dz}{dt}$
w_i	Fracción en masa del componente i	1	$\frac{m_i}{m_0}$
$W_{W,i}$	Contenido de humedad de la sustancia i	1	$\frac{m_{H_2O}}{m_{i,0}}$
Z	Factor de gases reales	1	$\frac{pv}{RT}$

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
$\alpha_{\square\square\square}$	Factor de superficie	$\frac{m^2}{g}$	$(W_{F,waf})(A_{BET})$
β_{\square}	Grado de formación del componente i	1	$\frac{m_j}{m_{bm \ 0}}$
\square	Wandhafbweibwinkel (Stahlblech)	1	Sección 3.2
\square	Porosidad de la partícula	1	$1 - \frac{\rho_s}{\rho_w}$
H	mittlere Bettneigungswinkel (Stürzen)	1	Figura 3-1
Θ	Ángulo de inclinación	1	Figura 4-1
\square	Velocidad de calentamiento	$\frac{K}{s}$	$\frac{dT}{dt}$
\square	Tiempo adimensional	1	Ec. 2.6
Φ_V	Flujo volumétrico	$\frac{m^3}{s}$	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$

Subíndices

Subíndice	Término
bm	Materia orgánica
DR	Dubinín-Radushkevich
E	Experimental
G	Fase gaseosa
K	Condensado
Ma	Macroporos
P	Partícula
P	Pirolizado
R	Reacción
T	Total
wf	Libre de agua
waf	Libre de agua y ceniza
0	Estado de referencia

Superíndices

Superíndice	Término
N	Exponente, potencia

Abreviaturas

Abreviatura	Término
1.LT	Primera ley de la termodinámica
DF	Dimension fundamental
RFF	Racimos de fruta fresca

Introducción

En la actualidad los residuos de construcción son catalogados como un problema ambiental, pues este sector es uno de los mayores generadores de desechos contaminantes ambientalmente, como podemos ver “*El 40% de las materias primas en el mundo, que equivalen a 3000 millones de toneladas por año, son destinadas a la construcción*” (Agudelo, Hernández, & Cardona, 2012, p. 2), teniendo en cuenta que la construcción sostenible es un tema importante, uno de sus principios es la optimización de los recursos naturales para poder atenuar el impacto ambiental que se generan por las edificaciones.

La siguiente investigación se quiere enfocar en la factibilidad del aprovechamiento de los residuos de madera de la construcción en Bogotá, y aplicar como agregado en el concreto, para identificar las características de la mezcla de estos dos materiales, de acuerdo a las características que aportan cada uno a un factible material, ya que la madera está siendo usada en incineradoras las cuales causas potenciales peligros a la salud (Suárez Romero, 2006), desde mi experiencia profesional he podido ver como se generar estos residuos de madera que ha sido usada para diferentes actividades como enconfrados, camillas, pero cuando se acaba las labores son acumuladas sin saber cuál es su destino final, porque los depósitos de escombros no reciben la madera, a menos que sean empresas especializadas como es el MAAT Soluciones Ambientales entre otras.



Ilustración 1 Consumo de recurso en el sector de la construcción Fuente: [On Line] <http://maat.com.co/servicios-econstruccion>

“La práctica constructiva es, además, uno de los principales actores en el proceso de modificación del planeta y de contaminación, pues es una gran consumidora de recursos y generadora de desechos. El 40% de las materias primas en el mundo, que equivale a 3000 millones de toneladas por año, son destinadas para la construcción. Esto mismo sucede con el 17% de agua potable, el 10% de la tierra y el 25% maderable cultivable”, (Agudelo et al., 2012) como nos muestra (Edwards, 2005) “valor que asciende al 70% si se considera el total de los recursos madereros”

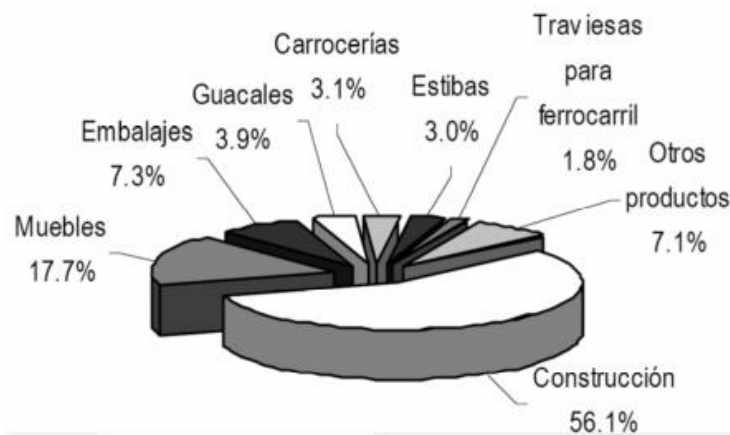


Ilustración 2 Usos de la madera aserrada en Colombia (Polanco, 2007)

De acuerdo a la ilustración 2, “la mayoría de la madera aserrada es utilizada en la construcción que equivale al 56,1% y en Bogotá en el año 2007 era de un 24.05% se han elevado las licencias de construcción lo que equivale a un consumo de 191.800 m³” como podemos ver en la siguiente ilustración. (Polanco, 2007)

Año	Producción	Importaciones	Exportaciones	Consumo Aparente
1991	177,000	12,100	9,600	179,500
1992	160,000	10,915	11,371	159,544
1993	166,000	8,606	3,518	171,088
1994	175,000	27,347	5,307	197,040
1995	176,000	51,200	10,400	216,800
1996	123,000	37,600	11,000	149,600
1997	119,000	40,500	16,400	143,100
1998	113,000	36,400	23,800	125,600
1999	174,050	38,700	71,300	141,450
2000	206,700	41,100	78,100	169,700
2001	189,600	33,300	43,300	179,600
2002	182,000	50,200	40,400	191,800
2003	182,000	50,200	40,400	191,800
Crecim.(%)	8.26%	4.06%	11.66%	7.02%

Ilustración 3 Estimación del consumo aparente de tableros de madera en Colombia (m3) (Polanco, 2007)

La implementación de la madera se está realizando por las ventajas que tiene este material, como son el aislamiento térmico, aislamiento eléctrico, la dureza, es resistente a la tracción, su plasticidad, entre otros los cuales empiezan a darle gran importancia a este material especialmente a las clases de madera que son encontradas en Bogotá D.C. (Sánchez,2015)

De acuerdo con esto lo principal sería un acercamiento a las principales constructoras que proporcionan residuos de madera, empezando a generar un uso adecuado, teniendo en cuenta que este tipo de desechos se están almacenando en rellenos sanitarios o reutilizados para compostaje o combustible.

Se busca la optimización del concreto añadiendo este material, pretendiendo lograr un mejoramiento de los concretos empleados en diseños arquitectónicos. De esta manera al utilizar la combinación de los materiales, la madera como aislamientos y un segundo material como parte estructural de este nuevo producto, la unión de las maderas utilizadas en la construcción, como es la ordinaria, el pino y el sapan, todo esto para evitar que este material termine en un depósito donde será utilizado como leña o en los basureros o caños incrementando la contaminación y la huella de carbono.

Por esta razón el trabajo se enfoca en una posibilidad de utilizar los residuos de madera que se generan en las construcciones de una ciudad como la de Bogotá, y darle una posible reutilización como agregado en las mezclas de concreto, identificar sus ventajas, desventajas y proponer un elemento hecho con este material.

1. Definición del problema

1.1 Formulación del problema

Se identifica que los residuos de madera que es desechada en las obras de construcción específicamente en la Ciudad de Bogotá se están enviando a los basureros, a los caños, o a incineradoras, creando un daño medio ambiental grave.

¿Es posible utilizar la madera de desecho de las obras para realizar un material de construcción medio ambiental y útil? ¿Cuáles serían los criterios para poder aplicar la madera como agregado natural al concreto para poder determinar algunos diseños de mezclas que funcionan como elementos para la construcción?, ¿Se podría realizar una mitigación de los residuos mediante su reutilización?, ¿Cómo se están manejando los residuos de madera en Bogotá en la actualidad?, ¿Qué impacto ocasiona los residuos de madera mal implementados? ¿Con esto se puede disminuir la huella de carbono que se produce por los métodos de reciclaje (quema o compostaje) de la madera en la actualidad?

2. Justificación

En Bogotá D.C. se presentan problemas ambientales los podemos ver en la disposición de escombros que ha tenido el relleno sanitario Doña Juana que ha ascendido un 91% desde el 2003 hasta el 2014 (Secretaría de Medio Ambiente, 2015), como lo vemos en la *ilustración 4*. La poca eficiencia en la utilización de los recursos ambientales demuestran que “Actualmente, se producen en Bogotá, cerca de 15 millones de ton/año de Residuos de Construcción y Demolición - RCD” (Casaño, Rodrigo Misle, Cabrera, Gómez, & Ocampo, 2013), los cuales deterioran la calidad de vida dentro de la ciudades por la falta de planeación para ayudar a mitigar la producción de estos desechos. Se propone con este proyecto aumentar los usos alternativos, ya sea mediante la reutilización o la explotación de este material por medio de la exploración de nuevos procesos que le den una función nueva dentro de la construcción.

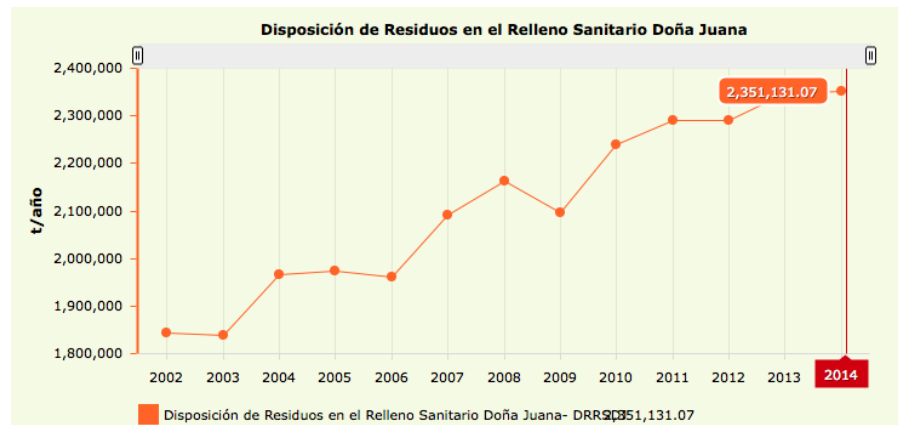


Ilustración 4 Disposición de residuos en el Relleno Doña Juana, (secretaría Distrital de ambiente, 2015)

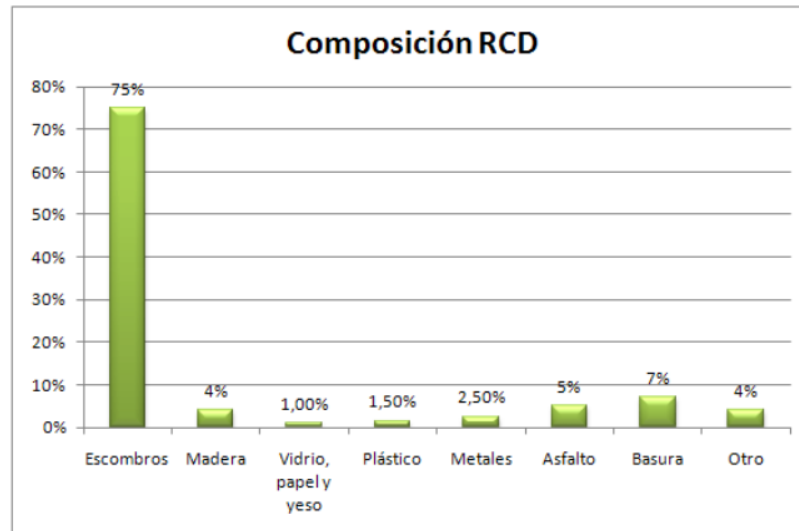


Ilustración 5 Composición RCD (Guarín Cortés, Montenegro Roa, Walteros Galarza, & Reyes Gómez, 2010)

En la ilustración 5 podemos ver que la madera representa el 4% de los desechos que se producen en la construcción, siendo el segundo con mayor porcentaje, también en el ítem de escombros se puede encontrar desde concreto, mortero y maderas los cuales equivalen al 75% del total de RCD producido en Colombia. (Guarín Cortés et al., 2010).

De acuerdo a la Guía Básica de Construcción Sostenible (Edwards, 2005), la madera se clasifica como un material apto para el reciclaje. Actualmente no se aprovecha dicha cualidad ya que se utilizan en tratamientos inadecuados para este material, como la incineración, el cual es peligroso para la salud de la población (Secretaría de Medio Ambiente, 2015).

También podemos puntualizar las ventajas ecológicas que tiene la madera sobre otros materiales, ya sea por el bajo consumo de energía que requiere para trabajarla (Fruhwald, 2002). Cuando la madera se utiliza como estructura principal de una edificación esta se considera sismo-resistente por el bajo peso que proporciona el material y permite la oscilación, presentando una disminución de daños en la construcción, paralelamente genera un aislamiento natural y son duraderas con el mantenimiento adecuado (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

La innovación que se quiere lograr con este proyecto es desarrollar un elemento que ayude a disminuir y darle otro uso a los residuos de madera (RCD) a través de la combinación como agregado dentro del concreto.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Contribuir en el cuidado ambiental con la reutilización de los residuos de madera de construcción que se generan en la ciudad de Bogotá.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar el impacto ambiental generado por la cantidad de residuos de madera de construcción y demolición en la ciudad de Bogotá.
- Analizar el impacto ambiental generado por la cantidad de residuos de madera de construcción y demolición en la ciudad de Bogotá.
- Planear estrategias de ensayo-error por medio del concreto que permitan mejorar el impacto ambiental generado por la cantidad de residuos de construcción y demolición en la ciudad de Bogotá.
- Diseñar una propuesta de material de construcción que contribuya en el mejoramiento del impacto ambiental generado por la cantidad de residuos de construcción y demolición en la ciudad de Bogotá.

4. Marco teórico

Para la construcción la madera siempre ha sido una parte fundamental para poder proporcionar viviendas a las personas, la podemos ver utilizada desde los refugios aborígenes hasta la arquitectura moderna, especialmente para Estados Unidos y Europa que hacen parte esencial de sus construcciones (Quiroga, Marzocchi, & Rintoul, 2015) ya que la madera es una de las materias primas renovables (Fruhwald, 2002) y se puede implementar como agregado para realizar concretos aligerados, como los podemos ver en los estudios hechos por la Universidad Nacional en los años 70 como reemplazo de los agregados de las mezclas de concreto (Delgado A., Gómez E., Niño A., 1996), o identificando otros posibles aligerantes para el concreto como la cascarilla de café (Salazar, García, & Olaya, 2011) o de arroz (Serrano, Victoria Borrachero, Monzo, & Paya, 2012).

4.1 Residuos de construcción

La generación de los residuos de construcción y demolición, está relacionado directamente con el sector de infraestructura, el cual se basa en la realización, rehabilitación, restauración de las edificaciones, las cuales son las principales en la producción de residuos de construcción y demolición (RCD)(Landau, 2006).

“En los próximos años, los residuos serán tan importantes para los profesionales de la industria como la energía. A través de una ley sobre residuos y canje de emisiones (2003), el gobierno británico se comprometió a reducir los residuos depositados en vertederos en un 35% del total de 1995 antes del año 2020. Este objetivo tan exigente, necesario para alcanzar los niveles establecidos por la Directiva sobre Vertederos de la Unión Europea, obliga a que todos los estados miembros deban hacer frente al problema de la generación y eliminación de residuos”.(Edwards, 2005, p. 127).

De acuerdo con esto la generación de residuos viene siendo un tema prioritario desde antes del 1995, como podemos ver en el Informe Brundtland que es la primera comisión del medio ambiente y desarrollo creada en 1984, que hizo un

llamado de atención para poder concientizar a las nuevas generaciones para lograr clasificar los recursos para ellos y las siguientes generaciones (Troyer, 1990).

En los datos que podemos encontrar en la secretaría de ambiente, sobre el manejo de los RCD en el perímetro urbano de la ciudad de Bogotá, se encuentra que, entre junio del 2012 a septiembre del 2015, se han generado 27`638.580 toneladas, reutilizando el 19,06% de esos residuos equivalente a 4`269.776 toneladas en el mismo periodo, para este control se tiene espacios de disposición final como el botadero Cemex o cantarrana.

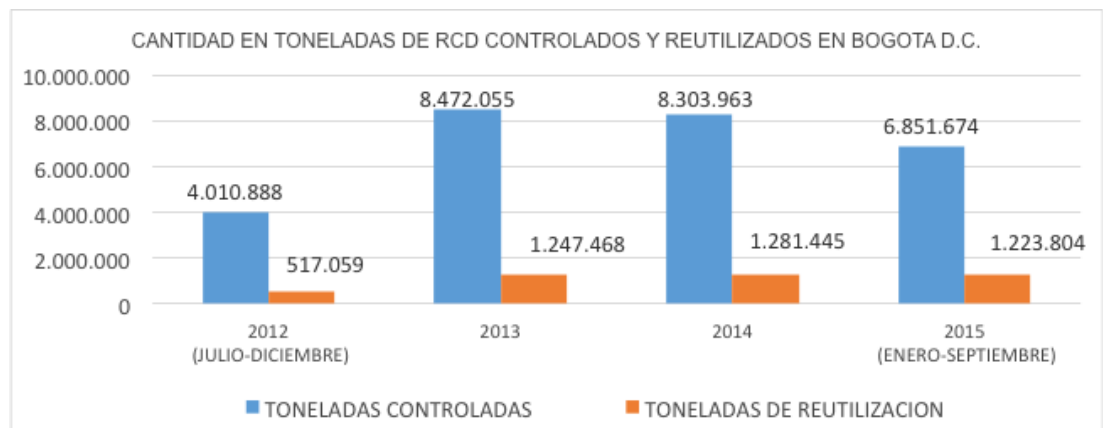


Ilustración 6 Alcaldía mayor de Bogotá D.C (2015), Evaluación seguimiento y control como incentivo para la construcción sostenible [diapositivas de PowerPoint]

Lo que se ha podido identificar en las obras de Bogotá, es que para el manejo de los residuos de la madera no se encuentra ningún ente que transporte ni una disposición final, ya que estos residuos están contaminados con restos de concreto, ACPM y puntillas, que dificultan su limpieza para poderle dar una reutilización óptima en nuevos procesos de construcción.

4.1.1 Panorama actual en Colombia

En Colombia la construcción es una de las actividades con mayor demanda especialmente en la Ciudad de Bogotá, pero con ellas trae volúmenes de residuos de construcción y de demolición que equivalen a 12 millones de toneladas al año (Andrés et al., 2015), estos desechos se están perdiendo en depósitos o vertederos, evitando la posibilidad de reciclaje, reutilización o valorización de los materiales, lo que conlleva a afectar el entorno de las ciudades (Landau, 2006)

Los residuos que se generan en la construcción, han ido aumentando de acuerdo a las estadísticas de Camacol y Dane, que muestran que el crecimiento de construcciones del año 2012 al 2015, [anexo lic 88 ago15.xls](#) (DANE,2015), siendo esta una de las actividades más contaminantes, “usando el 40% de las materias primas en el mundo, equivalentes a 3000 Ton por año” (Agudelo et al., 2012), siendo el 70% de todos los recursos madereros del mundo (Edwards, 2005). Dado que el trabajo se va a centrar en la reutilización de la madera, como material primordial para la minimización de los residuos generados en la construcción. Se tomará como referencia el plan de manejo de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), que está implementando la Secretaría Distrital de Ambiente, para poder lograr la sustentabilidad en la ciudad de Bogotá (Ambiente, 2014).

4.1.2 Residuos de madera

Los residuos de madera que son producidos por la construcción están siendo usados principalmente para la fabricación de tableros de partículas, obtención de energía, fabricación de compostaje y camas de ganado.

Estos productos como lo dice la Guía sobre la recuperación de residuos de madera tienen un proceso especificado en el siguiente esquema:

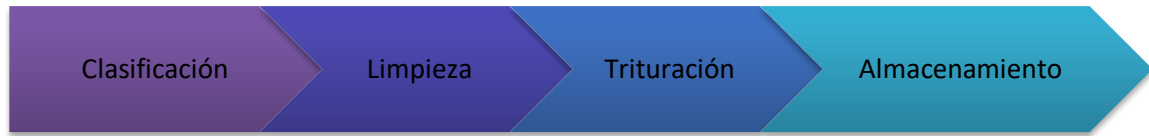


Ilustración 7 Proceso de tratamiento de los residuos de madera

En esta misma guía también especifican los tipos de madera que se pueden encontrar en los residuos de construcción dependiendo de la etapa de la construcción, ya sea madera para encofrados de elementos estructurales o algún elemento de madera que haya en la demolición como puertas o ventanas. (Aserma, 2004), con respecto a esta información la secretaría de medio ambiente genera una lista de las entidades que pueden realizar recolección estos residuos unos para su acopio y otros para su aprovechamiento como la empresa Maat como se muestra en el siguiente cuadro:

GESTORES PUNTOS LIMPIOS RCD's EN EL MARCO DE LA RESOLUCIÓN 0472 DE 2017 MINISTERIO DE AMBIENTE								
NOMBRE	MUNICIPIO	LOCALIZACIÓN	ENTIDAD QUE AUTORIZA	RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN	AÑO	MATERIALES AUTORIZADOS	CONTACTO	
2	MAAT SOLUCIONES AMBIENTALES	COTA	AUT. PSESA Lin An 3.0 BSOA74-028594	CAE	Resolución SDA No. 2019050039	2019	Materiales potencialmente aprovechables	Tel: 317403506 / 3125386436
RECUPERADORES ESPECÍFICOS APROBADOS POR LA SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE Solo pueden almacenar, acopiar y clasificar el material autorizado, pero no podrán realizar la transformación de los mismos.								
<i>Nota: El Recuperador Específico deberá garantizar que los residuos recibidos, potencialmente aprovechables, sean entregados a los CTA's y aprobados por la Autoridad Ambiental Competente.</i>								
NOMBRE	LOCALIZACIÓN	ENTIDAD QUE AUTORIZA	RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN	AÑO	MATERIALES AUTORIZADOS	CONTACTO		
1	RECOLECTORA EL TRIUNFO S.A.S.	Carrera 68 C No. 74 B- 43	SDA	RADICADO SDA - 20180820154 - 20180878073 y proceso 1807066	11/04/2018	La empresa Recolectora El Triunfo S.A.S. realiza dentro de sus actividades la recolección, acopio y comercialización de residuos aprovechables como lo son: Papel, Cartón, Plástico, madera, Metales, Otros como PVC, Drywall, Cable eléctrico.	Tel: 3112099560 - 318790045 Correo electrónico: papabrandurufu@hotmail.com	
2	CHATARRERIA AMBIENTAL PM S.A.S.	Calle 79 No. 698-35	SDA	RADICADO SDA - 20180626302	15/11/2018	La empresa Chatarreria Ambiental PM S.A.S., dentro de sus actividades económicas realiza recolección, transporte, almacenamiento y comercialización de residuos aprovechables dentro de los que se puede mencionar: Chatarra y otros metales, aluminio, Cartón, PVC, Metales, Drywall.	Tel: 3138030168	
3	METALES & VARELLAS A.M S.A.S.	Calle 78 No. 69 B - 80	SDA	RADICADO SDA - 20180620080	25/01/2019	La empresa Metales y varillas realiza dentro de sus actividades la recolección, acopio y comercialización de residuos aprovechables como lo son: Papel, Cartón, Plástico, metales, Metales. Otros como PVC, Drywall, Drywall.	Tel: 3129466326	
4	RECOLECTORES MATHIAS SAS	Carrera 69 N No. 73 A-87	SDA	RADICADO SDA 20180506883	2018	Aprobado como Recuperador Específico de RCDs aprovechables: Papel y cartón, plásticos, metales y otros (drywall - yeso).	Tel: 31413790	
5	RECUPERADORA AMBIENTAL LAS VEGAS	Carrera 69Z No. 78 - 80	SDA	Radicación: 20180602550	11/04/2018	Aprobado como Recuperador Específico de RCD: Papel, Cartón, Plástico, PVC, Drywall, yeso, Metales y Metales (hierro, acero, aluminio, etc., metales).	Tel: 3194968514	
6	EXORCIZABLES HC S.A.S.	Calle 79 No. 68 G - 87	SDA	Informe Técnico No. 01282 del 05 de agosto de 2019, del 10 agosto de 2019 radicado en RAD. 20190154762 COD: 20190154359	23/06/2019	Tipo de material autorizado para disponer: papel, cartón, plásticos, PVC, drywall, poliestireno expandido (EPS), metales, hierro y metales (acero, hierro, aluminio, etc., metales).	Tel: 5289832	
7	SOLUCIONES AMBIENTALES A&J S.A.S.	Calle 74 B Sur No. 67C - 27 (Bogotá)	SDA	Informe Técnico No. 01797, del 26 de octubre del 2019 con Rad. 20190232880 Radicado de notificación: 201902276597	20/10/2019	Recolección, almacenamiento y comercialización de Residuos aprovechables como lo son: papel, cartón, plásticos, metales, vidrio y metales (acero, hierro, aluminio, etc., metales).	Tel: 310 2310979 - 311 3429076	
8	Papelero el Norte	Carrera 51 No. 128 - 47 (Bogotá)	SDA	Informe Técnico: SDA No. 20180227967	20/11/2018	Recolección, acopio y comercialización de residuos aprovechables como lo son: Papel, Cartón, Plástico, Metales, Metales, Otros como Drywall.	Tel: 3881231	
9	Ecopanel Soluciones AR SAS	Calle 63C No. 113 - 24	SDA	Informe Técnico de Aprobación 20180507023 Proceso-4609353	16/05/2018	Recolección, acopio de materiales aprovechables: Metales, plásticos, metales y otros: hierro y drywall.	Tel: 310892382	
10	EXORCIZABLE CASALLAS & S.A.S.	Calle 77 No. 69 E 51	SDA	Informe Técnico de Aprobación No. 6953 Radicado Informe: 201802104666	25/06/2018	Se permite la recolección, acopio y comercialización de residuos aprovechables como lo son: Papel, Cartón, Plástico, Metales, Metales, Otros como PVC, Drywall- yeso.	Tel: 310801805	
11	ECO ENVIRONMENT DE CARRETA S.A.S.	Av. carrera 72 No. 30C 89 sur	SDA	Informe Técnico: SDA No. 20200256395 COD: 20200256329	11/03/2020	Recolección, acopio y comercialización de residuos aprovechables como lo son: papel, cartón, plásticos, vidrio, metales, metales.	Trabajo en cuenta que el certificado será emitido con la firma del representante legal: Eduardo Andrés Muñoz-Segura Tel: 3113987384	
12	ONL SOLUCIONES EMPRESARIALES S.A.S.	Calle 12 A No 80-99	SDA	Informe Técnico No. 00841 SDA No. 20200200399 Rad de aprobación: 20200207032	28/05/2020	Recolección, acopio y comercialización de residuos aprovechables como lo son: Papel, Cartón, Plástico, metales, Metales, Otros como PVC, Drywall.	Tel: 7627172	

Ilustración 8 Directorio de recolectores aprobados por la SDM, Fuente: (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2022)

En los reportes que presenta estas empresas en sus páginas web informan que la madera que reciben para ser tratada son en su mayoría estibas dañadas, madera sobrante de varias actividades de construcción o formaletas dañadas o en desuso siendo esta la disposición final de este material, además informan que se reciben 296.740 m3 de material para

disposición y que la madera equivale al 45,4% del total del material que reciben en esta entidad, como se muestra en el siguiente gráfico:

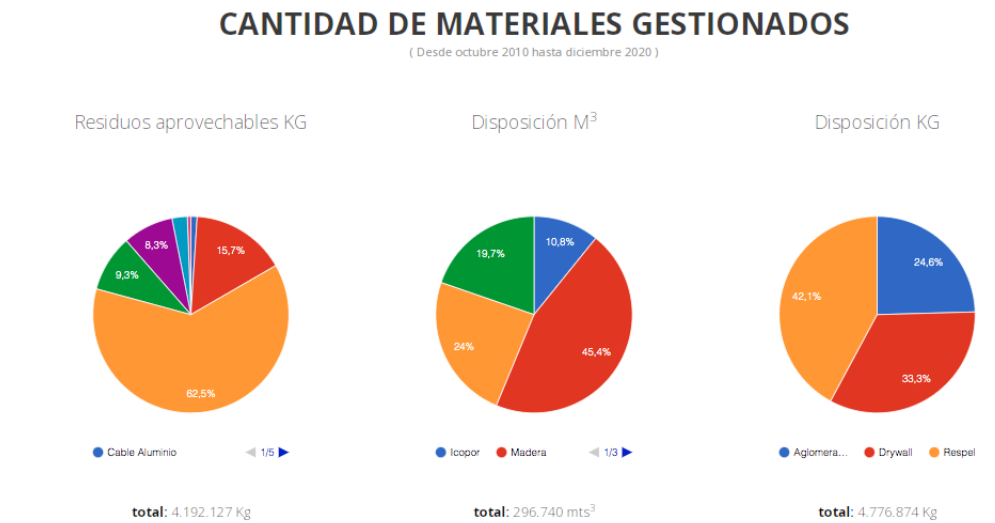


Ilustración 9 Porcentajes de materiales que se reciben en la entidad Maat Fuente:
<https://www.maat.com.co/>

Estas entidades que reciben estos elementos no hacen una comparación de los elementos que llegan a sus depósitos; en esta investigación se identificarán las maderas usadas en construcción en Colombia, más específicamente en la ciudad de Bogotá, para determinar con cual madera se realizará la experimentación como agregado en el concreto.

4.2 Madera

El reciclaje de la madera está contribuyendo a darle un nuevo uso a un material renovable que se está perdiendo por el manejo que se le están dando en las obras, ya que estas lo utilizan para formaletería y así darle forma a las estructuras de las edificaciones, teniendo en cuenta que la ventaja que tiene la madera es que genera un impacto ambiental bajo tanto en el consumo energético como en las emisiones generadas por los procesos usados para su reutilización (Hubbe, 2015).

La madera se puede reutilizar o reciclar, en este caso se utilizará el reciclaje para realizar un nuevo material por medio de la implementación del concreto como la base, estas están mayormente usadas para tableros aglomerados o biomasa (Fruhwald, 2002).

De acuerdo al boletín estadístico forestal de Colombia en donde: “concluyen que el 67% de la oferta de madera del país se concentra en diez especies principales, seis de las cuales son especies nativas provenientes de bosques natural”

Núm.	Especies	Volumen aprovechado (m ³)	Participación %
1	<i>Pinus patula</i>	534.497	14 %
2	<i>Camptosperma panamensis</i>	360.804	10 %
3	<i>Dialyanthera gracilipes</i>	351.345	9 %
4	<i>Brosimum utile</i>	280.752	8 %
5	<i>Eucalyptus globulus</i>	244.696	7 %
6	<i>Sacoglottis procera</i>	177.713	5 %
7	<i>Dipteryx sp.</i>	122.820	3 %
8	<i>Otoba gracilipes</i>	115.600	3 %
9	<i>Eucalyptus sp.</i>	91.404	2 %
10	<i>Cupressus lusitanica</i>	90.109	2 %
11	Otras	1'371.490	37 %
Total		3'741.229	100 %

Ilustración 10 Volumen de aprovechamiento de las principales especies, 2018 - 2019 (Autores, Plataforma SUNL-VITAL,2018-2019)

Estas son las maderas más utilizadas en diferentes ámbitos en Colombia, pero en la construcción se encuentran las maderas ordinarias que se usan para formaletas de diferentes elementos estructurales como las virolas y otobos (*Dialyanthera spp, irianthera sp, virola spp*), el sande (*Brosimum spp*), caracolí (*anacardium excelsum*) gualanday o chingalé (*Jacaranda spp*), laurel común (varios, familia Lauracear), sajo (*camptosperma panamensis*) y otras del bosque natural. (S. & Andina, 2016)

4.2.1 Características de la Madera

La principal característica para destacar es que el material es renovable, con facilidades de trabajar, tiene buena relación resistencia-peso, debidamente tratada tiene buena durabilidad.(Iglesias Rodriguez, J., Cartagena, & Fernández Serrano, 1997). Con esto se dice que la madera está conformada principalmente por la unión de células que se parecen a tubos huecos; *“la estructura tubular es la que confiere las propiedades de cada madera, que depende en gran medida de las características del celular constituyente, como su largo, diámetro, espesor de la pared celular, contenidos, disposición.”* (Wiessel, 2005).

En la madera encontramos una estructura compleja, ortótropa, liviana y con buena resistencia, la cual puede ser usada como material para la construcción, pero cuando llega el fin de la vida útil en la obra o en el edificio que se ha construido con ella, sirve como combustible, pero al ser quemada incrementa la huella de carbono, pero no pierde sus propiedades mecánicas, como es la compresión, ya que vemos que entre más tiempo esté expuesta al fuego su deformación se incrementa, demostrando que es un material muy deformable.(Salazar J. 2011).

“Actualmente no existe en el país una tendencia marcada en el uso de la madera como material de construcción con bases ingenieriles. En el país el uso de la madera se ha enfocado en tres líneas principales, a la carpintería para muebles y acabados arquitectónicos, a la exportación con mínimo valor agregado, y como combustible en las zonas rurales.” (Salazar j. Pg. 14. 2011).

De acuerdo a esto se quiere combinar madera con el cemento, que según el estudio de (Dominguez-Santos, 2021) puede tener una disminución en el peso del material hasta un 15% lo que ayuda a reducir los efectos de las fuerzas

sísmicas, teniendo mejor comportamiento el aserrín que la viruta en ese aspecto.

Se han identificado en las construcciones algunas maderas del pacífico colombiano, las cuales tienen diferentes características, de acuerdo al (WWF-Colombia, 2013):

- **Sajo (*Camposperma panamensis*)** : Es una madera fácil de cortar, tiene buena retención de clavos siendo óptima para hacer trabajos de formaletería en elementos constructivos en las etapas de estructura o mampostería, también se tiene que tener en cuenta que no es resistente a ataques de hongos e insectos y tiene tendencia a la mancha azul (Arévalo & Londoño, 2005) en la siguiente tabla veremos las propiedades físicas y mecánicas de esta especie.

Propiedades físicas

Densidad básica	: 0,37	gr/cm ³
Contracción tangencial	: 8,8	%
Contracción radial	: 5,6	%
Contracción volumétrica	: 13,9	%
Relación T/R	: 1,57	

Propiedades mecánicas

Módulo de elasticidad en flexión	: 127.000	kg/cm ²
Módulo de rotura en flexión	: 975	kg/cm ²
Compresión paralela (RM)	: 503	kg/cm ²
Compresión perpendicular (ELP)	: 69	kg/cm ²
Corte paralelo a las fibras	: 67	kg/cm ²
Dureza en los lados	: 274	kg
Tenacidad (resistencia al choque)	: 2,40	kg-m

Ilustración 11 Propiedades físicas y mecánicas de la madera sajo (WWF-Colombia, 2013, p. 78)

- **Sande**: Esta madera cuenta con una textura gruesa y una corteza interna que segrega látex, tiene un olor característico cuando está fresco que pierde cuando se seca, tiene la capacidad de secarse rápido pero presenta deformidades o rajaduras, además es propensa a la mancha azul, que es un hongo que se penetra mucho en el elemento, lo que ocasiona

que se manche profundamente la madera, bajándole su valor para la venta (Osorio O., 1985), a continuación se anexa las características físicas y mecánicas:

Propiedades físicas

Densidad básica	: 0,42	gr/cm ³
Contracción tangencial	: 7,3	%
Contracción radial	: 4,1	%
Contracción volumétrica	: 11,4	%
Relación T/R	: 1,78	

Propiedades mecánicas

Módulo de elasticidad en flexión	: 113.000	kg/cm ²
Módulo de rotura en flexión	: 928	kg/cm ²
Compresión paralela (RM)	: 520	kg/cm ²
Compresión perpendicular (ELP)	: 82	kg/cm ²
Corte paralelo a las fibras	: 78	kg/cm ²
Dureza en los lados	: 460	kg
Tenacidad (resistencia al choque)	: 2,24	kg-m

Ilustración 12 Características físicas y mecánicas del Sande (WWF-Colombia, 2013, p. 80)

Además de estas maderas, también podemos resaltar el pino que es una madera que se utiliza con frecuencia en las construcciones. A partir de esto haremos pruebas para ver cómo se comportan estas maderas con el material que se va a desarrollar.

4.3 Concreto

El concreto es uno de los materiales más usados en las construcciones actualmente, este material es uno de los más antiguos, que fue creado por la necesidad del hombre para construir su vivienda, empezó a utilizar arcilla o mezcla de cal y arena para poder juntar las piedras o ladrillos (Sanchez,2001).

La implementación de materiales cementantes, viene desde la cultura egipcia la cual utilizó yeso calcinado para la construcción de sus monumentos. Basándose en esto lo griegos y los romanos empezaron a desarrollar un mortero con cenizas volcánicas y cal (López, 2003), pero posteriormente empezaron agregar piedra

triturada, tejas rotas o ladrillos, los cuales fueron los primeros agregados convirtiéndolo en el primer concreto de la historia.

Después de la caída de los romanos, los conocimientos del cemento se perdieron, hasta que los normandos empezaron a desarrollar otra vez el material con piedra caliza como agregado y cal como aglomerante, siendo los primeros en utilizar herramientas como mezcladoras para juntar los materiales.

El concreto actual se empezó en 1750 con John Smeaton, con la mezcla de cal, arcillas y agua, pero en 1824 Joseph Aspdin, siguiendo el estudio de Smeaton patentó el “cemento portland” que toma su nombre por la ciudad de portland al sur de Inglaterra, y el cemento que actualmente se utiliza fue investigado y desarrollado por Isaac Johnson en 1845 al calentar la mezcla forma el Clinker mejorando las características del producto.(López, 2003).

Como podemos ver se han realizado diferentes investigaciones para el uso de diferentes fibras vegetales o agregados naturales unos que funcionan como aligerantes y otros como agregados los cuales desarrollaremos en los siguientes capítulos.

4.3.1 Concreto aligerados

Sobre los concretos aligerados con fibras vegetales, se han realizado investigaciones de la cascarilla de arroz, que funciona como aligerante por su forma aconchada la cual permite atrapar el aire gracias a su composición que presenta alto contenido de sílice, es compatible con el cemento. (Serrano et al., 2012). Por otro lado, la viruta de madera puede tener un afectación sobre la mezcla modificando el endurecimiento y el fraguado, produciendo inseguridad sobre las propiedades del producto (Fernando, Guzmán, Eduardo, & Alcívar, 2010) y el poli estireno expandido, estas son algunas investigaciones que se han venido desarrollando desde la primera Guerra Mundial y se pueden

identificar por la norma ACI 213R-03, donde especifica que el concreto liviano se determina cuando tiene una densidad en estado seco entre 1680 a 1920 Kg/m³.

Podemos identificar en nuestro país dos líneas importantes de investigación como es la cascarilla de café y la cascarilla de arroz investigaciones realizadas por la universidad Nacional:

INVESTIGACIÓN	CASCARILLA DE CAFÉ	CASCARILLA DE ARROZ
UTILIZACIÓN	Plásticos Cartones Baldosines Briquetas Furfural Rayón Viscosas Drogas Combustibles	Cama en avícolas Flores Concentrados de animal Compostaje Combustible
PRODUCCIÓN (Ton)	25.000	400.000
PROPIEDADES FÍSICAS	Peso específico aparente seco 790Kg/m ³ Peso específico real 1.610kg/m ³ Absorción 63% Peso unitario suelto 215Kg/m ³ Peso unitario apisonado 256 Kg/m ³	Peso específico 0,78 g/cm ³ Densidad aparente sin compactar 0,108 g/cm ³ Densidad aparente compactada 0,143 g/cm ³
PROPIEDADES DE LOS MORTEROS	Morteros ligeros Buen aislamiento térmico Se necesita mineralizar la cascarilla para eliminar los contenidos de azúcares que tiene que son del 21,3%, creando este la inhibición de la	Mortero ligero Densidades de 1,1-1,3g/cm ³ Resistencias mecánicas entre 2 a 4MPa aislamientos térmicos/acústicos o rellenos Material puzolánico

	reacción del cemento y retardando el fraguado	tratamiento químico previo
INCONVENIENTES	contenido alto de res Mineralización	Porosidad su higroscopia componentes orgánicos
USO	Bloques	Aditivo para el cemento (Puzolana) Bloques
DIFERENCIAS USO	Proporciones usadas 1:3:3 con 10% de CC Compresión del 4,42 Mpa La compresión entre mayor % de CC menor es la resistencia 28 días de curado Bloques no estructurales	Proporción usada es de 1:6 con 20% de CCA Resistencia 5,49 Mapa a 6,08 Mpa 28 días de curado Funciona como puzolana para el concreto y agregado fino Bloques no estructurales
ZONAS DE OBTENCIÓN	Quindío, Valle del Cauca	Tolima, Huila, Meta, Casanare, Jamundí
TRATAMIENTOS PARA SU USO	Químico: reactivos alcalinos Adición de cloruro calcio como acelerante del fraguado	Mineralización: con agua cemento al 5% con agitación constante o con cal agrícola

La cascarilla de arroz se ha utilizado mayormente como puzolana en el cemento ya que presenta un alto nivel de sílice porcentaje superior al 90% (Serrano et al., 2012), por ello se ha vuelto un sustituto parcial del Clinker del cemento; en cuanto a la cascarilla de café es usado como agregado fino después del proceso de mineralización, la cual tiene que ser sometida para poder fusionarla con el concreto, ya que por el alto contenido de azúcar crea una reacción del cemento con la mezcla y retarda el fraguado. (Salazar et al., 2011).

Aparte de estos elementos también se ha utilizado la madera como agregado en donde se dice que: "Entre los diferentes materiales que se pueden usar como aditivos en el cemento está la madera, que tiene propiedades interesantes desde el punto de vista sísmico y mecánico, funciona bien cuando está

flexionada y comprimida y tiene baja conductividad térmica, acústica y eléctrica”. (Dominguez-Santos, 2021).

A través de los años se han realizado varias investigaciones acerca del aserrín de diferentes maderas como agregados, llegando a usar diferentes proporciones para ver su comportamiento, como añadir el 5%, 10% y 15% de aserrín o llegando a una dosificación del concreto para llegar a conocer los esfuerzos a la compresión que puede tener estos aditivos teniendo varios porcentajes. (Pintado Gonzaga & Siesquen Delgado, 2020).

De acuerdo con lo anterior podemos concluir que las maderas suaves son compatibles con el cemento y que es importante utilizar un aglutinante en la mezcla. (Fernando et al., 2010) también encontramos diferentes métodos para mineralizar la madera, como la extracción acuosa, hidrólisis alcalina y recubrimiento con polímeros (I. Yoris, S. Quiroga, A. Citroni, & Rintoul, 2010) todo esto, para lograr que el concreto no pierda sus propiedades.

4.3.2 Diseño de mezclas

Lo principal de la realización de diseño de mezclas, es encontrar un método para poder hallar la dosificación apta para la realización de elementos arquitectónicos como bloques (no estructurales), esto se apreciará en los materiales seleccionados para probar y obtener el material que se quieren lograr. (Andrés & Ospina, 2014)

Los principales componentes de concreto son el cemento portland, agregados, agua; donde Sánchez. D (2001) nos dice: *“El cemento portland, el cual ocupa entre el 7% y el 15% del volumen de la mezcla y tiene propiedades de adherencia y cohesión que proveen buena resistencia a la compresión.” “El segundo componente, los agregados, ocupa entre el 59% y el 76% del volumen de la mezcla. Son esencialmente materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales.”*

Se quiere utilizar un agregado natural, la madera de los residuos de construcción, la cual proviene de diferentes fuentes, ya sea de camillas o estibas que se utilizaron en el transporte de materiales o también las tablas para diferentes usos en obra, como para las formaletas de elementos de concreto o los cerramientos.

4.3.3 Agregados

El concreto se compone de dos tipos de agregados: los finos y los gruesos, lo que se quiere es reemplazar uno de estos dos agregados por madera que provenga de los residuos de obra, con esto se debe tener en cuenta las normas que aplican a estos elementos que componen el concreto como es la NTC 174 concretos. *Especificaciones de los agregados para concreto* siendo la misma ASTM C 33, para llegar a especificar la granulometría que queremos como muestra la siguiente tabla:

Número del tamaño del agregado	Tamaño nominal (tamices de abertura cuadrada)	Material que pasa uno de los siguientes tamices (porcentaje en masa)												
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm (No.4)	2,36 mm (No.8)	1,18 mm (No.16)
1	90 mm a 37,5 mm	100	90-100	-	25- 60	-	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37,5 mm	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25,0 mm	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	-	-	-	-	-
357	50 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0- 5	-	-
4	37,5 mm a 19,0 mm	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0- 5	-	-	-
467	37,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10- 30	0- 5	-	-
5	25,0 mm a 12,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0- 10	0- 5	-	-	-
56	25,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	40- 85	10-40	0- 15	0- 5	-	-
57	25,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0- 5	-
6	19,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20- 55	0- 15	0- 5	-	-
67	19,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20- 55	0- 10	0- 5	-
7	12,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90- 100	40- 70	0- 15	0- 5	-
8	9,5 mm a 2,36 mm (No.8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85- 100	10-30	0-10	0-5

Ilustración 13 Requisitos de gradación para agregados grueso Fuente: (Técnica, 2000)

Teniendo en cuenta la anterior imagen, todo dependerá del proceso de triturado de la madera que se utilizará, pues el agregado fino en un concreto normal sería arena, que reemplazamos por el aserrín de la madera. Que pasan por el tamiz No. 4 que equivale a 50mm a 4,75mm y los agregados gruesos son las gravas que superan el tamaño del tamiz No. 4 (Palacio León, Chávez Porras, & Velásquez Castiblanco, 2017) es decir que estos agregados constituyen entre el 60% al 75% del volumen total del concreto, las cuales tiene

que ser resistente a diferentes factores naturales que pueden generar un deterioro del material, por ello es importante que las partículas utilizadas en la mezcla sean uniformes en tamaño para que se incorporen adecuadamente con la pasta de cemento y agua. (Lopez y Sepúlveda, 2014)

Con esto se tienen que tener presente las características físicas de los agregados a utilizar (Pintado Gonzaga & Siesquen Delgado, 2020):

- **Granulometría:** En este ítem se puede determinar los siguientes valores:
 - El tamaño máximo referente a la partícula con mayor dimensión.
 - Tamaño máximo nominal donde se identifica la dimensión del tamiz superior donde lo que se retiene es mayor o igual al 15% de la muestra.
 - Módulo de finura, siendo este el que identifica el grosor de la partícula con la siguiente ecuación.

$$Mf: \frac{\% \text{ Retenido acumulado}}{100}$$

- El porcentaje de finos que son las muestras que pasan el tamiz No. 200 o de 75 μ m. (Palacio León et al., 2017).
- **Curva Granulométrica:** Este es una forma de representación de la granulometría en una curva.
- **Peso Unitario:** Es la relación entre el peso y el volumen de una muestra del agregado, además se realizar ensayos del material compactado suelto. (López, 2003)
- **Peso Específico o densidad:** Depende del agregado utilizado, pero se determina con la relación de peso a volumen de una masa. (López, 2003, p. 20)
- **Absorción:** Este se mide con las normas ASTM C127 y 128, en los agregados que se presentan en la mezcla. (Martínez-Soto & Mendoza-Escobedo, 2006)
- **Porosidad:** Es la capacidad de absorción que tienen los agregados llegando a material seco total, parcialmente húmedo, saturado o húmedo total, el cual se

relaciona a la adherencia entre materiales y su resistencia tanto en la compresión como en flexión. (López, 2003, p. 22)

Para poder determinar el tipo de agregado a utilizar se debe tener en cuenta la lista anterior siendo la granulometría del material la que determinará por los tamaños y los tamices que se presentaron anteriormente, para clasificar los desechos de madera que se van a utilizar, para llegar a mezclarlos se tendrá que realizar un proceso de limpieza y trituración para luego poder clasificarlos como agregados finos o gruesos. (Sánchez, D. 2001).

La utilización de la viruta de madera proveniente de la industria maderera, que ha sido implementada en el concreto, ha tenido efectos de endurecimiento del concreto y su fraguado (Fernando et al., 2010), para lograr eso se hace un tratamiento de mineralización para darle durabilidad a la madera dentro del concreto, este proceso se realiza, sumergiendo las virutas en una lechada de cal o cemento, en silicato de potasio o cloruro de potasio, logrando así mejorar la resistencia y evitando la putrefacción.

Teniendo en cuenta que la tesis que se está realizando es sobre la madera residual de construcción, la cual está afectada por el uso de que se le ha dado en las obras, (formaletas, camillas, maderas rollizas, etc.), estas pueden presentar residuos de concreto, ACPM, puntillas y puede presentar putrefacción. Se han realizado investigaciones en las que se han desarrollado concretos con desperdicios de madera después de ser sometidas a un proceso de cremación, volviéndolos cenizas para así, poderlas aplicar como puzolana al cemento, volviéndolo un material sustentable. (Aprianti S, 2016).

Para poder llegar a este tipo de agregados con la madera se tendrá que utilizar una trituradora del material de RCD de madera que sea apta para este uso. Es necesario considerar que el almacenamiento de las obras no es el adecuado pues las maderas tienden a contaminarse con sustancias o elementos que podrían afectar el resultado del material de concreto.

4.4 Antecedentes

A continuación, se presentarán diferentes investigaciones que se han realizado del tema internacionales y nacionales con madera-cemento:

Se ha utilizado la ceniza de madera como agregado fino sustituyéndolo con diferentes proporciones al 0, 30, 50, 70%, revisando las densidades óptimas del material para poder llegar a una dosificación de $f'c=180 \text{ Kg/cm}^2$, en la investigación de **“Diseño de un hormigón liviano elaborado con ceniza de madera como sustituto parcial del agregado fino”**, el cual se consigue un densidad menor siendo mayor a un hormigón liviano que es de 2.000 kg/m^3 , además teniendo en cuenta esto recomiendo que no se sustituya más del 30% del agregado fino en ceniza de madera ya que con los ensayos este cumple con la resistencia del diseño (180kg/cm^2). (Vivas Villarreal, 2016)

Por otra parte se ha investigado **“las características físicas y mecánicas adicionando aserrín de madera y ceniza de cascarilla de arroz en la ciudad de San Ignacio - Cajamarca”** en diferentes dosificaciones con un patrón base de $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$, en donde tienen un adición del 2%, 5%, 7%, 10%, 12% y 15% de los dos compuestos realizando pruebas a diferentes edades con 3 probetas prismáticas de 6"x6" por 45cm de largo, concluyendo que la combinación del 2% de aserrín de madera y cáscara de arroz aumentan la resistencia a la compresión y flexión con respecto al patrón base. (Pintado Gonzaga & Siesquen Delgado, 2020)

Otra investigación realizada en Lima Perú, sobre las **“Propiedades mecánicas del concreto ligero con incorporación de viruta de madera”** donde se realiza una incorporación de viruta en diferentes dosificaciones que son el 30%, 60% y 90% en probetas de 8" de alto y 4" de diámetro para ser ensayados a tracción y unas probetas prismáticas para la flexión, donde pudieron concluir que el peso específico disminuyó con respecto en un 71,26% siendo este un concreto ligero no estructural, este también se disminuyó en la resistencia a compresión llegando hasta el mínimo requerido para las especificaciones que se estaban buscando de un concreto liviano. (Bellido Yarleque, L, 2018)

También se ha investigado la **“Determinación del comportamiento mecánico del concreto con adición de aserrín”** la cual se realizan pruebas al concreto con dos diferente

porcentajes de aserrín (madera de tornillo) del 0,5%; 1% comparándolo con un concreto base con una resistencia a la compresión de 210 Kg/cm² de acuerdo a las normas ACI 211 para el diseño de mezclas para poder llegar a un conclusión se realizan ensayos de asentamiento, temperatura, concreto en estado endurecido, resistencia a la compresión, con esto se obtuvo resultados de mejora con adición de aserrín al 0,5% la compresión al 12% en cambio con la otra dosificación del 1% solo mejora el 1,8% y bajando su trabajabilidad del 20% al 40% debido a la absorción que tiene la madera. (Cigueñas Cabrera, 2020)

Tabla 1 Resumen de antecedentes Fuente: Propia

Fuente	Madera	f'c (kg/cm ²)	Cant de cemento	Agua	Relación A/C	Agregados			f'c Resultante (Kg/cm ²)	Proporciones	Granulometría	Resultados
						Fino	Grueso	Madera				
Vivas Villareal, 2016	Eucalipto	180	356,92 kg/m ³	214,15 lt	0.6	621,80 Kg/m ³ (B)	1096,88 kg/m ³	186.54	180.06	30%	Ceniza de madera agregado fino	No se puede exceder el 30% el reemplazo del agregado fino ya que se disminuye la resistencia a compresion
									172.85	50%		
									155.4	70%		
Pintado Gonzaga & Siesquen Delgado, 2020	Desecho de aserradero	210	382 Kg/m ³	202,51 lt/m ³	0.65	845 kg/m ³	966 kg/m ³	7,64 kg/m ³	221.26	2%	Aserrín como agregado fino y grueso	Las probetas con adición de aserrín con el 2% tuvieron un incremento del 1,44%, además se recomienda que los agregados pasen con el tamiz No. 100 y se agregue 2% de agua para obtener un asentamiento adecuado sin afectar la resistencia del material
									202.35	5%		
									183.67	7%		
									156.34	10%		
									128.01	12%		
98.64	15%											
Bellido Yarleque, 2018	Tornillo	178	356,46 kg/m ³	229,39 lt/m ³	0.9	921,22 kg/m ³	872,02 Kg/m ³	106.938	145.61	30%	Viruta como fibra	Se disminuye el peso del concreto llegando a un concreto ligero no estructural, además de la disminución de la resistencia a la compresión, flexión y tracción con mayor porcentaje de adición de viruta.
									128.97	60%		
									86.15	90%		
Cigueñas Cabrera, 2020	Tornillo	210	367,38 Kg/m ³	205 Lt/m ³	0.537	715,61 Kg/m ³	1147,24 Kg/m ³	1,84 y 3,67 Kg/m ³	292.23	0,5%	Aserrín	El resultado a la compresión de acuerdo al agregado de aserrín aumenta el 12% y el 1,8% con respecto al porcentaje añadido, además se mantienen en una mezcla trabajable con un asentamiento entre 2" a 4"
									259.34	1%		

De la tabla anterior se puede deducir que se han realizado diferentes ensayos con agregados de madera en diferentes formas con ceniza, aserrín y viruta, las cuales presenta diferentes comportamientos, como por ejemplo cuando se agrega más de 30% de ceniza el concreto disminuye su resistencia a la compresión, o si se añade viruta al concreto se reduce su peso, reduciéndose sus esfuerzos físicos, pero en proporciones de 0.5% y 1% con aserrín se puede aumentar su resistencia a la compresión hasta el 12%.

5. Metodología

Con base en los resultados de las investigaciones presentadas en el cuadro del capítulo anterior, se eligió el diseño de mezcla de Cigüeñas Cabrera 2020 con las siguientes características:

- Resistencia a compresión de 210 Kg/cm² (21 Mpa)
- Cemento 367.38 Kg/m³
- Agua 205 lts/m³
- Relación a/c 0.537
- Agregado Grueso 1147.24 kg/m³
- Agregado Fino 715.61 kg/m³

En la presente investigación se evaluaron las propiedades mecánicas del concreto aligerado con aserrín de residuos de madera de obra mediante testigos, basándonos en la tesis de determinación del comportamiento mecánico del concreto con adición de aserrín (Cigüeñas Cabrera, 2020), en donde se utilizó un concreto de 210 kg/cm² con adición de aserrín de madera de tornillo con unas proporciones de 0,5% y 1%, con esto nos basamos en su diseño de mezcla para realizar la muestras de acuerdo a nuestras variables.

Para lograr un adecuado funcionamiento de la madera dentro de la mezcla se realizó la mineralización mediante una lechada de cal al 0.1% de acuerdo al peso del aserrín recolectado de la madera de los residuos de construcción, esto se realiza el día anterior al ejecutar las muestras para que la madera guarde su humedad y no afecta la relación agua cemento del diseño de la mezcla.

5.1 Diseño de investigación

Experimental, porque se realizaron unas muestras con un concreto patrón y otras con diferentes porcentajes de madera para comparar y analizar sus propiedades.

Se realizarán 4 muestras para cada tipo de concreto propuesto los cuales son concreto patrón de 210 Kg/cm² de acuerdo al diseño de mezcla propuesto en la tesis (Cigüeñas Cabrera, 2020), las otras muestras son con un añadido de madera de 2%, 7% y 15% de madera de residuo de construcción (madera mixta), a las cuales se les realizará el ensayo de resistencia con 3 probetas de 4"x8", las cuales se ensayarán a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 2 Cantidad de muestras tomadas. Elaboración propia

No. De muestra	Cant. de muestras 7 días	Cant. De muestra 14 días	Cant. Muestra 28 días	Dosificación de madera	Total, de muestras
M1	3	3	3	0%	9
M2	3	3	3	2%	9
M3	3	3	3	7%	9
M4	3	3	3	15%	9
Total, de muestras					36

Las muestras son identificadas con:

- Numero de cilindro
- Fecha de toma

Variable dependiente

Slump, tiempo de fraguado, resistencia a compresión.

Variable independiente

Porcentaje de aserrín de madera, madera mixta de residuos de obra.

Recolección de materiales

Los materiales pétreos utilizados en las muestras se trajeron del guamo – Tolima, que fue traído a Bogotá D.C por la empresa Materiales de cantera, el cemento portland tipo I es Argos, en cuanto a la madera de residuos de construcción se recogieron de una obra que

se está ejecutando en la localidad de chapinero para llegar al aserrín se utilizó una sierra circular SKIL, ya que procesarla en un equipo de molienda fue imposible, debido a que estas maderas presentan diferentes elementos como clavos, puntillas, etc.

5.2 Elaboración de las probetas de concreto

Se realizan las probetas de concreto de acuerdo con la ASTM C31 donde se contempla el proceso de realización y curado de los cilindros para la realización del ensayo de resistencia a la compresión.

Materiales:

- 9 cilindro de 4"x8"
- Varilla de compactación
- Lubricante (acpm)
- Trompo
- Mazo de caucho
- Palustre
- Cuchara

En la elaboración de los cilindros, lo primero que se realizó es la limpieza de los cilindros con grata:



Ilustración 14 Limpieza de cilindros
fuente propia

Luego se realiza la lubricación con acpm la cual se aplicó con una poli sombra impregnada para que quede pareja la aplicación en especial la base y en el borde, para que en el desmolde las muestras no se dañen al ser retiradas, esto se realizó unos minutos antes para evitar la contaminación del concreto con el lubricante puesto en las probetas.

Al tener el concreto mezclado se empieza a llenar las probetas de a tercios, donde cada tercio se compacto con 25 inserciones de la varilla de forma espiral terminando en el centro para poder sin tocar las paredes del cilindro, cuando se terminó de llenar se golpeó con el martillo de goma para sacar el aire que puede que haya quedado en la muestra.



Ilustración 15 Adicionan del aserrín de madera a la mezcla



Ilustración 16 Mezcla en trompo Fuente propia



Ilustración 17 Mezcla de concreto con madera Fuente propia



Ilustración 18 Inserción de la varilla en muestra de concreto Fuente propia



Ilustración 19 Muestra en estado fresco Fuente propia



Ilustración 20 Muestra desencofrada 24h después Fuente propia

Ya teniendo el cilindro listo se esperan 24 horas para ser desencofrado y se llevado a la piscina de cilindros para su curado hasta el día de la rotura.

5.3 Resultados

Se presentan los ensayos de campo de resistencia a la compresión del concreto:

Tabla 3 Concreto sin aditivo Fuente: elaboración propia

CONCRETO SIN ADITIVOS								
No. De muestra	Edad (Días)	Diseño (Kg/cm2)	Diámetro (cm)	Carga (kN)	Resistencia a compresión (PSI)	Carga (Kg/cm2)	Promedio (Kg/cm2)	Resistencia (%)
M3	9	210	10	80,9	1494	105,03	105,43	50%
M3	9	210	10	82,3	1520	106,86		
M3	9	210	10	80,4	1485	104,40		
M3	14	210	10	89,6	1622	114,03	118,24	56%
M3	14	210	10	96,5	1764	124,01		
M3	14	210	10	89,9	1660	116,70		
M3	28	210	10	135,8	2387	167,81	163,35	78%
M3	28	210	10	120	2216	155,78		
M3	28	210	10	132,1	2368	166,47		

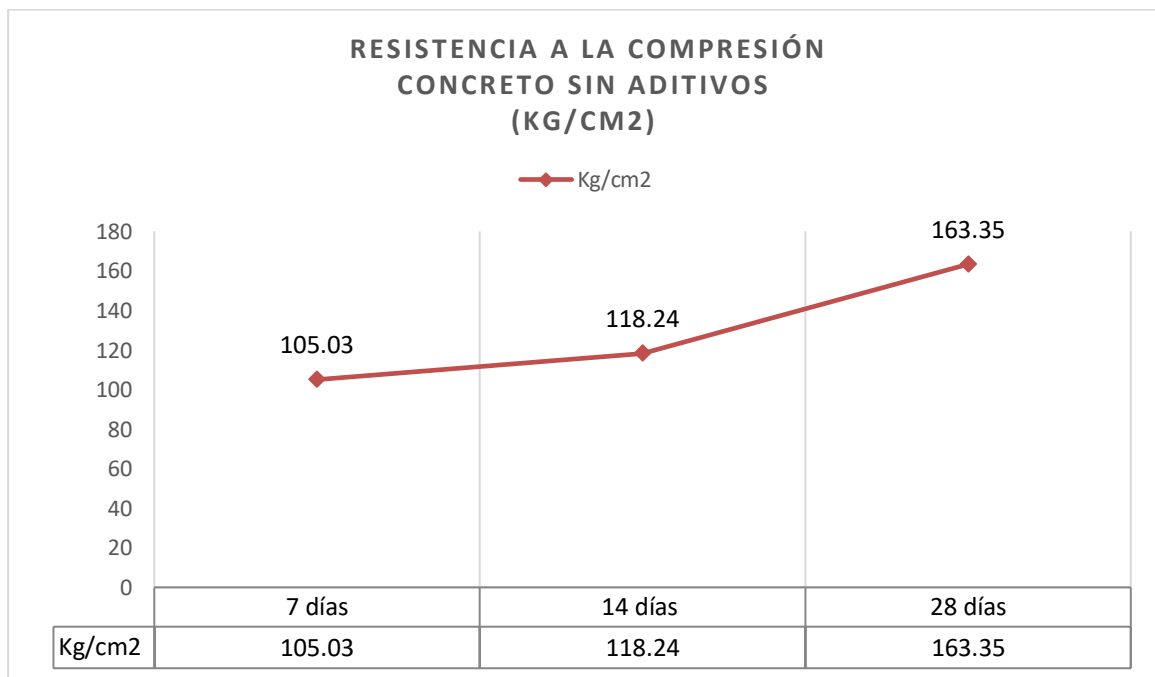


Ilustración 21 Resistencia a la compresión 210 Kg/cm2

Se evidencia que se presenta un incremento del 105.43 Kg/cm² al 163.35Kg/Cm² a los 28 días, pero este no alcanza el 100% de resistencia, se muestra la falla presentada en los cilindros:



Ilustración 22 Falla de la muestra de concreto 210Kg/cm² sin madera

Tabla 4 Concreto 210Kg/cm² con el 2% de madera Fuente: elaboración propia

CONCRETO CON 2% DE MADERA								
No. De muestra	Edad (Días)	Diseño (Kg/cm ²)	Diámetro (cm)	Carga (kN)	Resistencia a compresión (PSI)	Carga (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)	Resistencia (%)
M5	7	2%	10	94,4	1726	121,34	115,01	55%
M5	7	2%	10	83,5	1542	108,40		
M5	7	2%	10	88,8	1640	115,29		
M5	14	2%	10	100,4	1854	130,34	133,20	63%
M5	14	2%	10	101,4	1873	131,67		
M5	14	2%	10	108,1	1957	137,58		
M5	28	2%	10	145,9	2564	180,25	181,63	86%
M5	28	2%	10	141,7	2540	178,56		
M5	28	2%	10	149,1	2647	186,08		

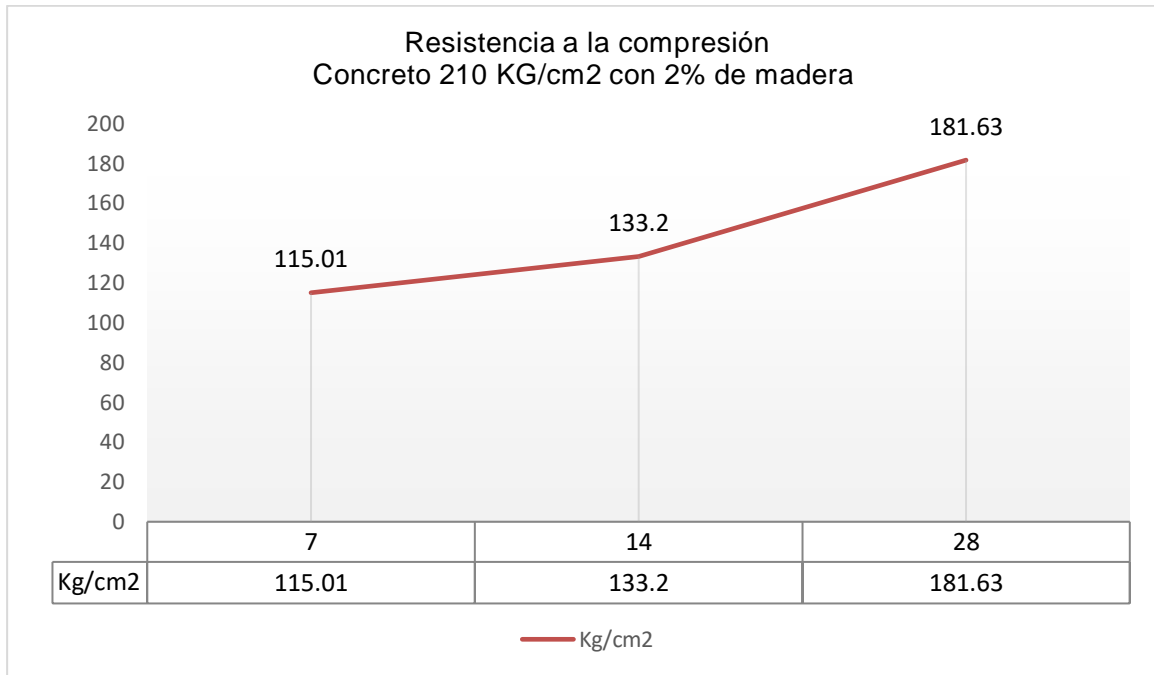


Ilustración 23 Resistencia a la compresión 210 Kg/cm² con el 2% de adición de madera

Se evidencia que se presenta un incremento del 115.01 Kg/cm² al 181.63 Kg/cm² a los 28 días, pero este no alcanza el 100% de resistencia, se muestra la falla presentada en los cilindros:



Ilustración 24 Falla de la muestra de concreto 210Kg/cm² con el 2% de madera

Tabla 5 Concreto 210Kg/cm2 con el 7% de madera Fuente: elaboración propia

CONCRETO CON 7% DE MADERA								
No. De muestra	Edad (Días)	Diseño (Kg/cm2)	Diámetro (cm)	Carga (kN)	Resistencia a compresión (PSI)	Carga (Kg/cm2)	Promedio (Kg/cm2)	Resistencia (%)
M3	7	210 - 7%	10	68,3	1261	88,65	89,56	43%
M3	7	210 - 7%	10	70,6	1278	89,84		
M3	7	210 - 7%	10	70,9	1283	90,19		
M3	14	210 - 7%	10	70,9	1322	92,94	94,18	45%
M3	14	210 - 7%	10	70,7	1332	93,64		
M3	14	210 - 7%	10	73,9	1365	95,96		
M3	28	210 - 7%	10	98,1	1724	121,20	122,44	58%
M3	28	210 - 7%	10	100,2	1796	126,26		
M3	28	210 - 7%	10	95,1	1705	119,86		

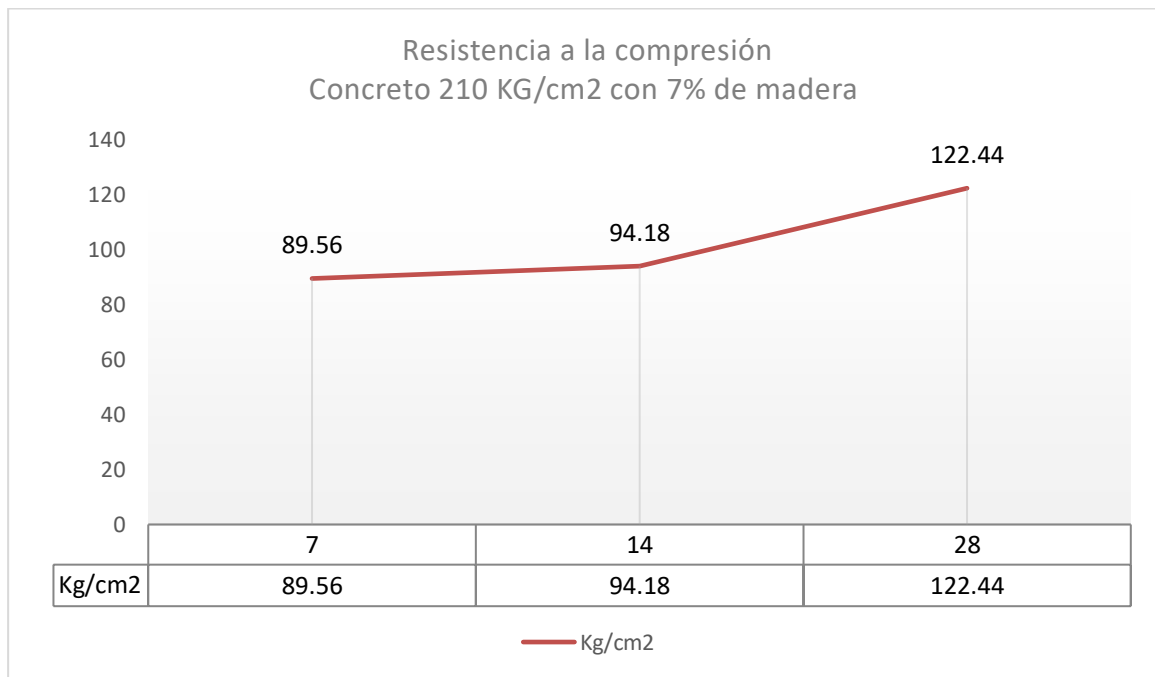


Ilustración 25 Resistencia a la compresión 210 Kg/cm2 con el 7% de adición de madera

Se evidencia que se presenta un incremento del 89.56 Kg/cm2 al 122.44 Kg/cm2 a los 28 días, pero este no alcanza el 100% de resistencia, se muestra la falla presentada en los cilindros:

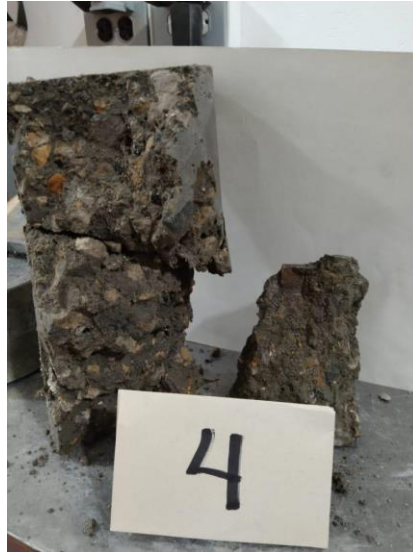


Ilustración 26 Falla de la muestra de concreto 210Kg/cm² con el 7% de madera

Tabla 6 Concreto 210Kg/cm² con el 15% de madera Fuente: elaboración propia

CONCRETO CON 15% DE MADERA								
No. De muestra	Edad (Días)	Diseño (Kg/cm ²)	Diámetro (cm)	Carga (kN)	Resistencia a compresión (PSI)	Carga (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)	Resistencia (%)
M2	9	210 - 15%	10	31	572	40,21	39,79	19%
M2	9	210 - 15%	10	31	572	40,21		
M2	9	210 - 15%	10	30	554	38,95		
M2	14	210 - 15%	10	35.6	644	45,27	45,39	22%
M2	14	210 - 15%	10	34,8	643	45,20		
M2	14	210 - 15%	10	35,9	650	45,70		
M2	28	210 - 15%	10	58,8	1075	75,57	78,76	38%

M2	28	210 - 15%	10	65,3	1159	81,48		
M2	28	210 - 15%	10	63,5	1127	79,23		

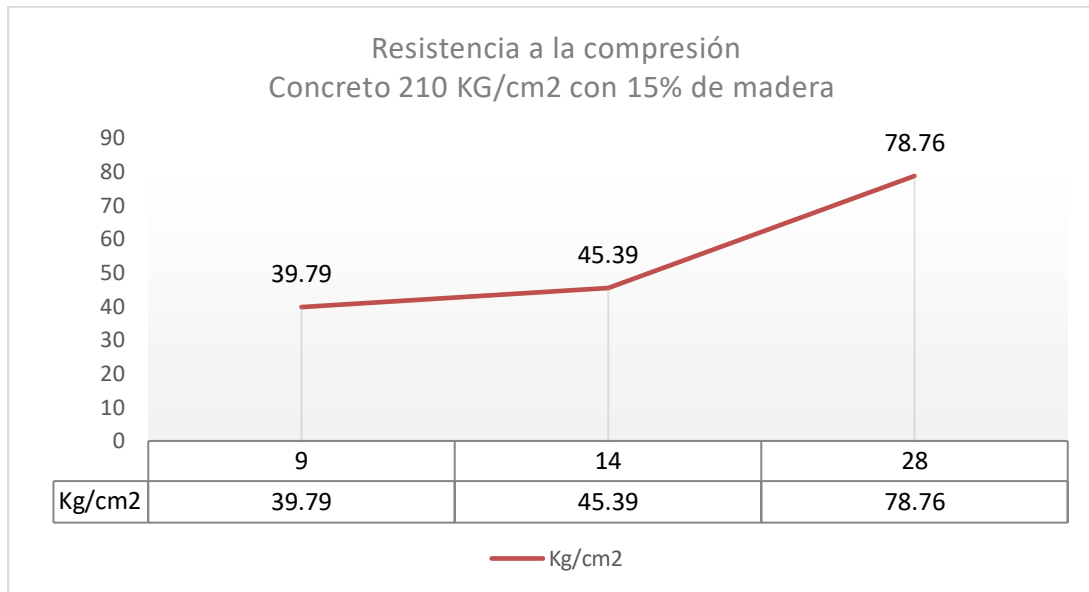


Ilustración 27 Resistencia a la compresión 210 Kg/cm² con el 15% de adición de madera

Se evidencia que se presenta un incremento del 39.79 Kg/cm² al 78.76 Kg/cm² a los 28 días, pero este no alcanza el 100% de resistencia, se muestra la falla presentada en los cilindros:

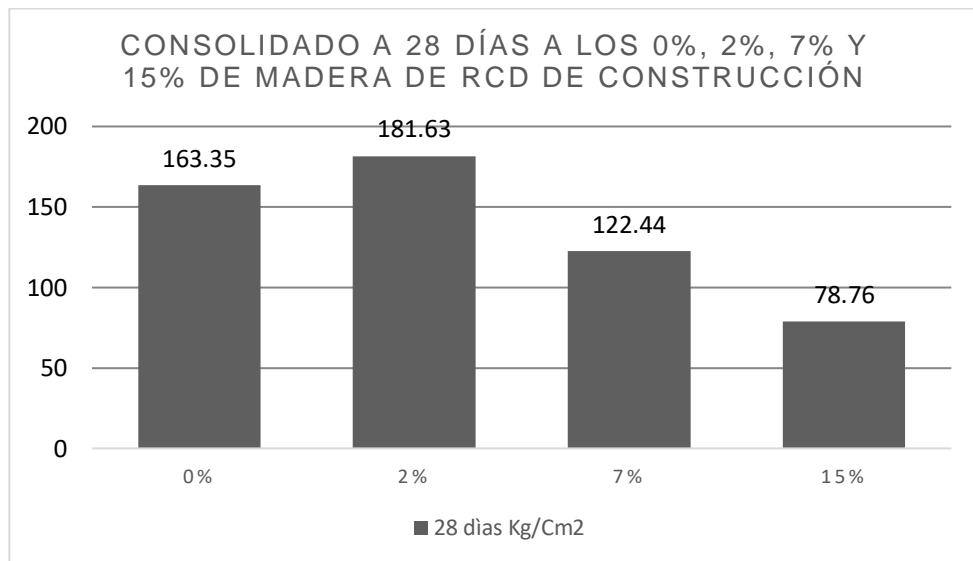


Ilustración 28 Falla de la muestra de concreto 210Kg/cm² con el 15% de madera

Teniendo en cuenta estos resultados se presenta el consolidado de los resultados a los 28 días

Tabla 7 Resultados por dosificación de madera. Fuente: Elaboración propia

EDAD	DOSIFICACIÓN DE MADERA %	RESISTENCIA (Kg/cm ²)
28	0	163.35
28	2%	181.63
28	7%	122.44
28	15%	78.76

Tabla 8 Consolidado a 28 días por el porcentaje de madera Fuente: Elaboración propia

A pesar de que las muestras no llegaron al 100% de su resistencia se puede evidenciar que el concreto con adición de 2% de concreto subió su resistencia comparada al concreto patrón en un 11,19% equivalente a 181.63 Kg/cm².

Teniendo en cuenta los resultados cabe resaltar que los materiales que se utilizaron en las muestras fueron lo más parecidos posible a los que se usaron en la mezcla de la tesis de la cual, se basaron los ensayos.

A su vez debemos resaltar utilización de diferentes maderas, ya que en estos ensayos se utilizó madera de residuos de construcción la cual es de diferentes tipos.

5.4 Propuesta de material

Teniendo en cuentas estas muestras de concreto y sus resistencias se propone como material un ladrillo que contenga el 2% de madera para revisar su comportamiento, de acuerdo a esto se realizan 3 tipos de muestras:

- 3 ladrillos de concreto con 2% de madera de reciclaje

- 3 ladrillos de concreto con 2% de madera con un impermeabilizante (Sika 1)
- 3 ladrillos de concreto con 2% de madera con inclusor de aire (Airtoc D toxement)

A los cuales se le realizaron dos tipos de pruebas de absorción una con los ladrillos completamente sumergidos y la otra parcialmente sumergidos para revisar su comportamiento.

De acuerdo a esto se realiza el molde para realizar los ladrillos macizos con la mezcla de concreto con el 2% de madera:



Ilustración 29 Equipo para hacer los ladrillos. Fuente: Elaboración propia

En el siguiente registro fotográfico se muestra el proceso de realización de cada uno de los ladrillos:



Ilustración 30 Primera capa para la formación del ladrillo Fuente: Propia



Ilustración 31 Última capa para la formación del ladrillo Fuente: Propia



Ilustración 32 Presión realizada para la compactación en cada capa. Fuente: Propia



Ilustración 33 Producto final ladrillo. Fuente: Propia

Después de tener los ladrillos, se sumergieron 7 días para ver su comportamiento como se ven en las siguientes tablas:

5.4.1 Muestra de ladrillo con madera al 2% totalmente sumergido

En la siguiente tabla se representa el comportamiento de la muestra totalmente sumergida por 7 días, tomando una lectura por día:

Tabla 9 Peso de ladrillo con 2 % de madera totalmente sumergidos en agua. Fuente: Propia

No muestra	CONCRETO CON MADERA AL 2% (KG)								
Días	0	1	2	3	4	5	6	7	PROM
1	2.65	2.81	2.83	2.83	2.84	2.84	2.835	2.84	2.81
2	2.86	3.01	3.03	3.03	3.03	3.03	3.028	3.03	3.01
3	2.71	2.86	2.88	2.89	2.89	2.90	2.89	2.89	2.86

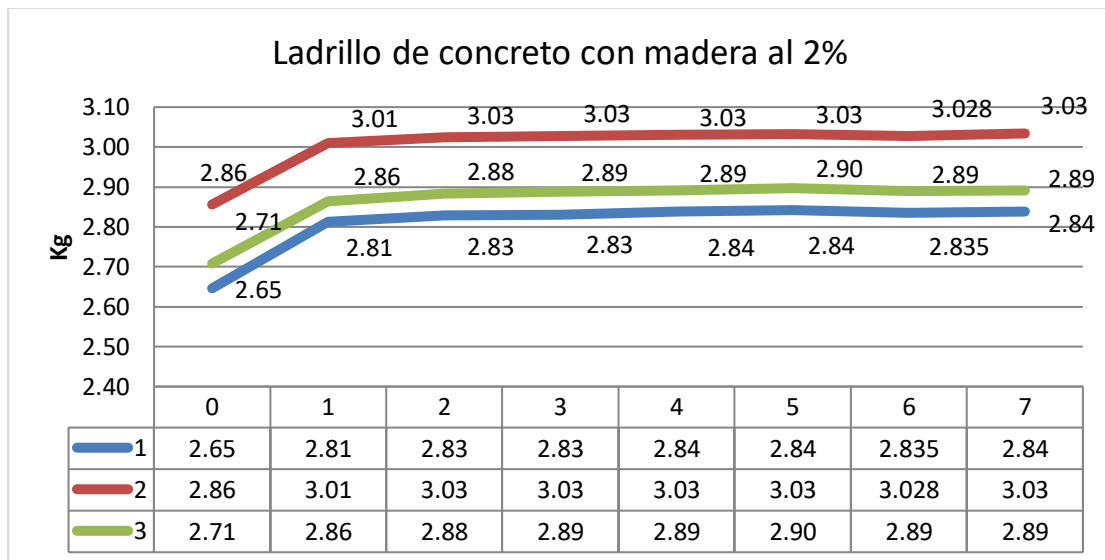


Ilustración 34 Peso de ladrillo con 2 % de madera sumergidos en agua. Fuente: Propia

De acuerdo a la tabla se puede evidenciar que las muestras suben en su peso del día 1 al 2 teniendo su mayor absorción de agua y en los siguientes días se mantiene estable, teniendo un aumento en su peso del 7% desde la primera toma.

5.4.2 Muestra de ladrillo con madera al 2% parcialmente sumergido

En la siguiente tabla se muestra el siguiente ensayo realizado con el ladrillo parcialmente sumergido en agua, tomando lecturas dos veces por día:

Tabla 10 Peso de ladrillo con 2 % de madera parcialmente sumergidos en agua. Fuente: Propia

No. Muestra	CONCRETO CON MADERA AL 2% (KG)						
Fecha y hora	PI	19/04/23 AM	19/04/23 PM	20/04/23 AM	20/04/23 PM	21/04/23 AM	22/04/23 AM
1	2.69	2.77	2.78	2.79	2.80	2.80	2.80
2	2.88	2.96	2.99	2.99	2.99	3.00	3.00
3	2.74	2.82	2.83	2.84	2.84	2.848	2.85

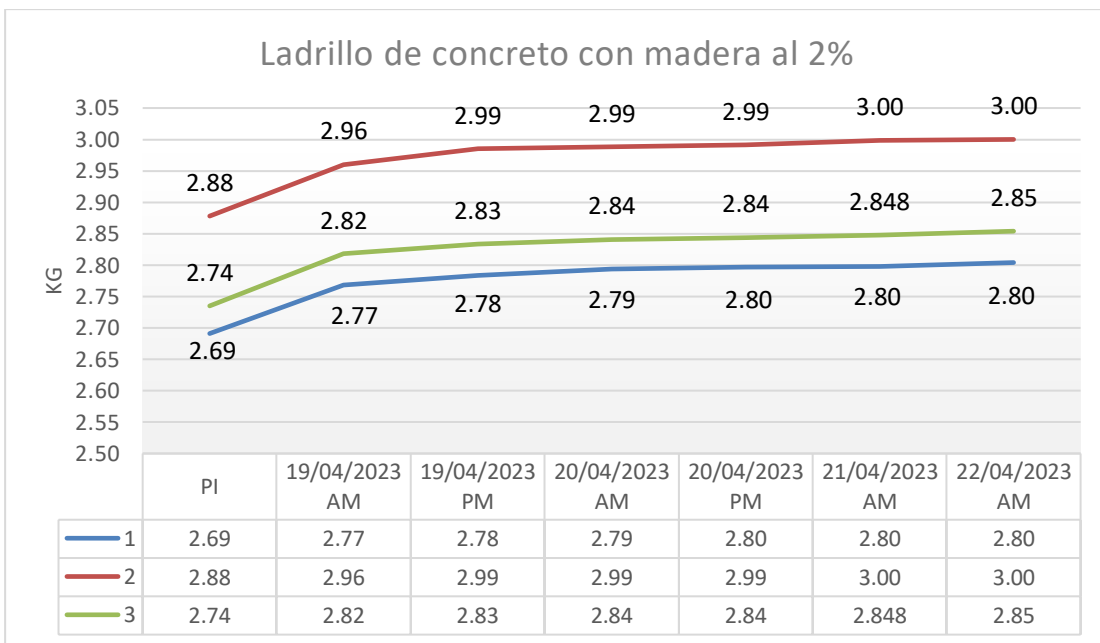


Ilustración 35 Peso de ladrillo con 2 % de madera parcialmente sumergidos en agua. Fuente: Propia

Se puede ver en el grafico que en las primeras 24 horas se genera la mayor absorción, luego presenta otro incremento entre la segunda y la tercera toma, en las siguientes tomas

se muestra estable en su peso con un aumento total del 4% del peso inicial, pero en el seguimiento de los elementos se pudo ver que se generó una absorción paulatina hasta verse todo el ladrillo completamente mojado, como se muestra en el siguiente registro fotográfico:



Ilustración 36 Muestras de 2% de madera con agua parcialmente. Fuente: Propia



Ilustración 37 Absorción de las primeras 24 horas. Fuente: Propia



Ilustración 38 Absorción del ladrillo durante el ensayo. Fuente: Propia



Ilustración 39 Absorción total de la muestra durante el ensayo. Fuente: Propia

5.4.3 Muestra de ladrillo con madera al 2% con Sika 1 como impermeabilizante sumergido

En la siguiente tabla se representa el comportamiento de la muestra con un aditivo impermeabilizante estando totalmente sumergida por 7 días tomando una lectura por día:

Tabla 11 Peso de ladrillo con 2 % de madera más aditivo Sika 1 totalmente sumergidos en agua.
Fuente: Propia

No muestra	CONCRETO CON MADERA AL 2% +SIKA 1 (KG)								
Días	0	1	2	3	4	5	6	7	PROM
1	3.03	3.12	3.13	3.12	3.13	3.12	3.13	3.13	3.11
2	3.05	3.12	3.13	3.13	3.13	3.13	3.13	3.13	3.12
3	3.01	3.09	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.09

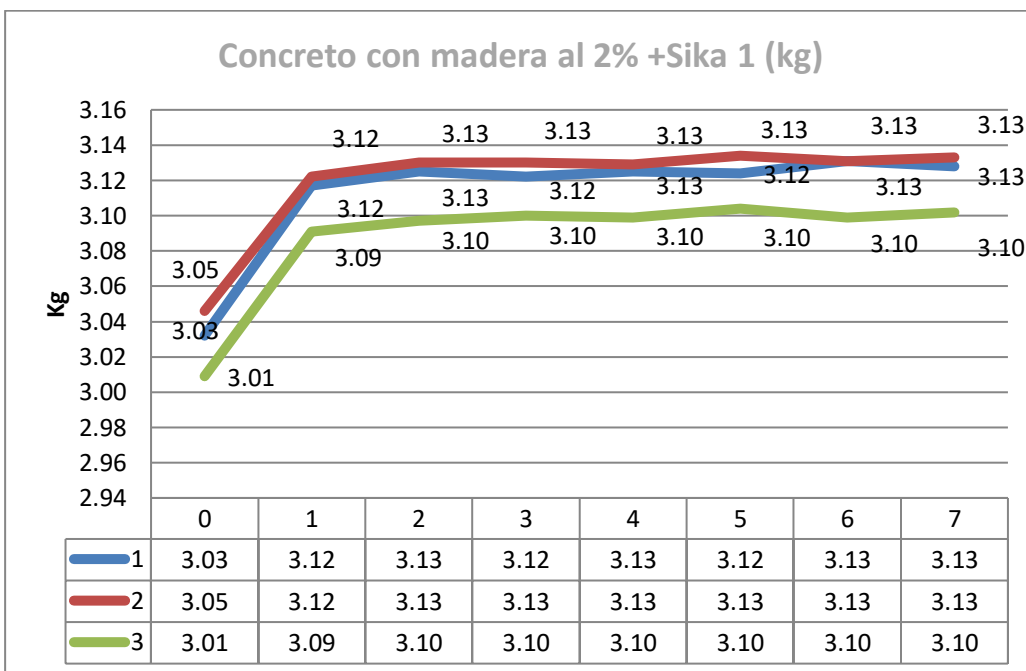


Ilustración 40 Peso de ladrillo con 2 % de madera más aditivo Sika 1 totalmente sumergidos en agua.
Fuente: Propia

De acuerdo a la tabla se puede evidenciar que las muestras suben en su peso del día 1 al 2 teniendo su mayor absorción de agua y en los siguientes días se mantiene estable, pero presentando un 3% de aumento con respecto al peso inicial del elemento.

5.4.4 Muestra de ladrillo con madera al 2% con Sika 1 como impermeabilizante parcialmente sumergido

En la siguiente tabla se muestra el siguiente ensayo realizado con el ladrillo parcialmente sumergido en agua, tomando lecturas dos veces por día:

Tabla 12 Peso del ladrillo con 2% de madera con aditivo Sika 1 parcialmente sumergido en agua.
Fuente: Propia

no. muestra	CONCRETO CON MADERA AL 2% +SIKA 1 (KG)						
Fecha y hora	PI	19/04/23 AM	19/04/23 PM	20/04/23 AM	20/04/23 PM	21/04/23 AM	22/04/23 AM
1	3.03	3.05	3.06	3.07	3.08	3.08	3.08
2	3.04	3.06	3.08	3.08	3.09	3.09	3.09
3	3.01	3.03	3.05	3.05	3.06	3.06	3.06

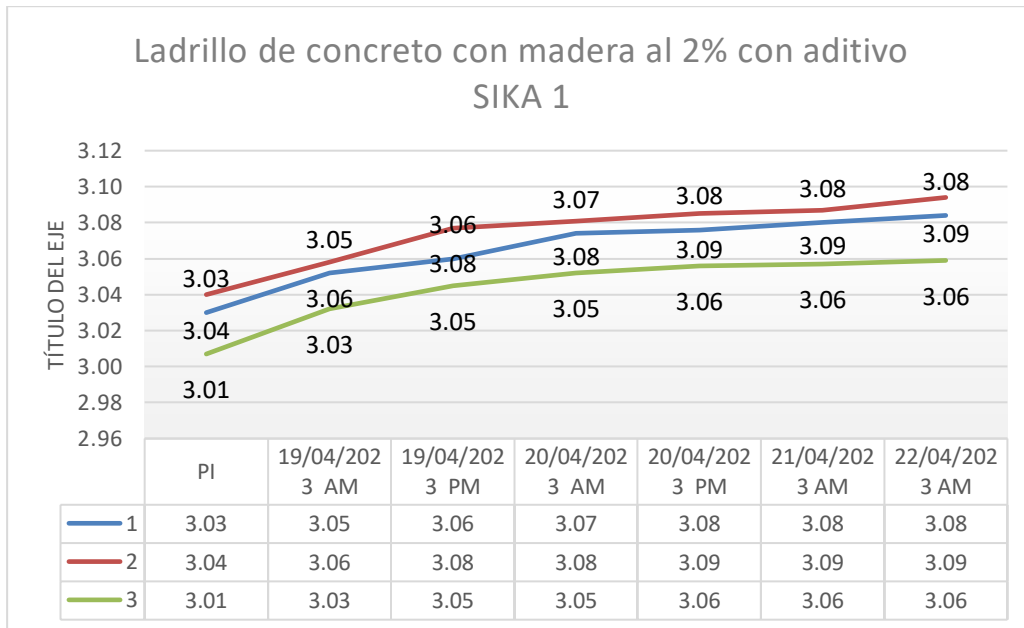


Ilustración 41 Peso del ladrillo con 2% de madera con aditivo Sika 1 parcialmente sumergido en agua. Fuente: Propia

En los resultados nos muestra que la subida de peso del ladrillo no fue tan significativa como cuando estaba totalmente sumergida, como se puede evidenciar en la grafica el peso de ladrillo solo alcanza a variar 5 gr de su peso al final del ensayo que equivale al 2% del peso inicial. Además, en las siguientes fotografías se puede ver que el agua siempre llevo a un limite de altura en la superficie del ladrillo así representando su poca absorción debido al aditivo añadido a la mezcla.



Ilustración 42 Elemento parcialmente sumergido en agua. Fuente: Propia



Ilustración 43 Primera medición de peso del elemento parcialmente sumergido en agua. Fuente: Propia



Ilustración 44 Elemento en la ultima toma de peso. Fuente: Propia



Ilustración 45 Ultima toma de peso del ladrillo parcialmente sumergido en agua. Fuente: Propia

5.4.5 Muestra de ladrillo con madera al 2% con Airtoc D inclusor de aire sumergido

En la siguiente tabla se representa el comportamiento de la muestra con un aditivo inclusor de aire estando totalmente sumergida por 7 días tomando una lectura por día:

Tabla 13 Peso de ladrillo con 2 % de madera más aditivo Airtoc D sumergidos en agua. Fuente: Propia

No muestra	CONCRETO CON MADERA AL 2% + AIRTOC D (KG)								
días	0	1	2	3	4	5	6	7	PROM
1	3.09	3.18	3.19	3.19	3.19	3.20	3.19	3.19	3.18
2	2.92	3.01	3.02	3.01	3.02	3.02	3.02	3.02	3.00
3	2.99	3.06	3.07	3.06	3.07	3.07	3.07	3.07	3.06



Ilustración 46 Peso de ladrillo con 2 % de madera más aditivo Airtoc D sumergidos en agua. Fuente: Propia

Como se evidencia en la grafica se ve que el elemento absorbe la mayor cantidad de agua en sus primeras 24 horas en los siguientes días se mantuvo estable, pero se evidencia que desde su primera toma sube un 3% del peso inicial.

5.4.6 Muestra de ladrillo con madera al 2% con Airtoc D incluso de aire parcialmente sumergido

En la siguiente tabla se representa el comportamiento de la muestra con un aditivo incluso de aire estando parcialmente sumergida por 3 días:

Tabla 14 Peso de ladrillo con madera al 2% con Airtoc- D parcialmente sumergido. Fuente: Propia

no. muestra	CONCRETO CON MADERA AL 2% +AIRTOC D (KG)							
	Fecha y hora	PI	19/04/23 AM	19/04/23 PM	20/04/23 AM	20/04/23 PM	21/04/23 AM	22/04/23 AM
1		3.07	3.13	3.15	3.16	3.16	3.17	3.17
2		2.89	2.94	2.97	2.97	2.98	2.986	2.99
3		2.94	2.99	3.01	3.02	3.03	3.03	3.04

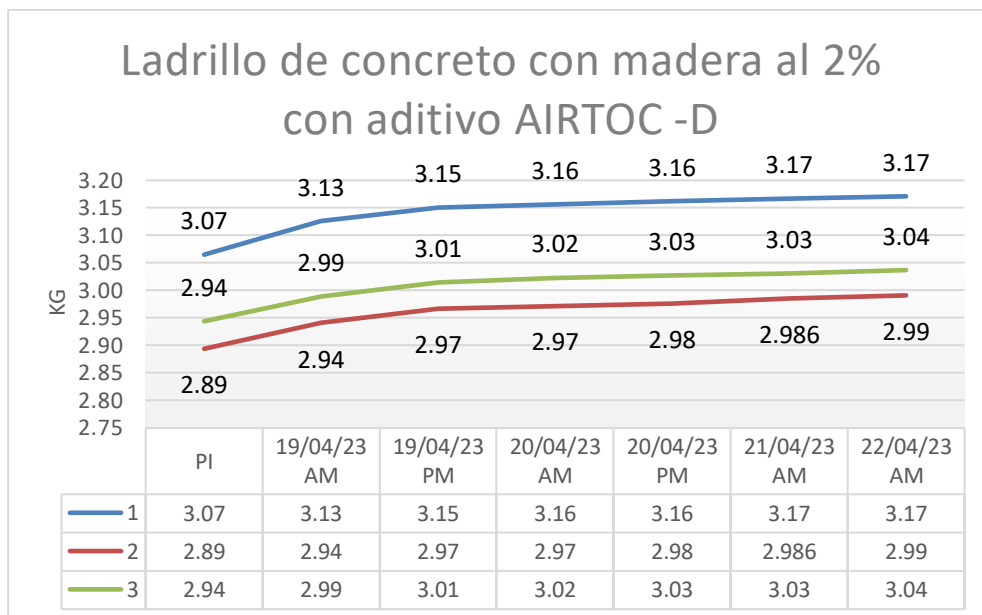


Ilustración 47 Peso de ladrillo de concreto con madera al 2% con aditivo AIRTOC -D parcialmente sumergido. Fuente: Propia

El grafico nos muestra que la gran subida se presenta en la primera toma y luego se va estabilizando, pero como se vio en la muestra totalmente sumergida el ladrillo sube el 3% con respecto a su peso inicial, igualmente se puede evidenciar en el elemento que se tuvo una gran absorción desde el inicio del ensayo al final, ya que el ladrillo fue presentando manchas en sus caras, pero nunca llego hasta la cara superior del elemento.



Ilustración 48 Ladrillos de 2% con aditivo Airtoc D con agua parcial. Fuente: Propia



Ilustración 49 Ladrillo en la primera toma de peso



Ilustración 50 Toma de peso de la muestra



Ilustración 51 Ultima toma del ladrillo. Fuente: Propia

Realizando estos ensayos en las tres muestras se aprecia que tienen el mismo comportamiento en cuanto a al cambio de peso por el agua añadida al elemento en sus primeras 12 a 24 horas, despues de esto se mantienen en el peso al cual llegaron estando totalmente sumergidas o parcialmente sumergidas en agua.

5.5 Ensayo ASTM C-1585

Teniendo en cuenta los resultados anteriores se busco un ensayo que permitiera visualizar con claridad la absorcion que están presentando los elementos en el ladrillo con la mezcla al 2% de madera, a continuación se muestra el proceso del ensayo ASTM C-1585 donde se determina la velocidad de absorcion de los concretos de cemento hidraulico, esto se acomodará para las muestras del elemento propuesto (Ladrillo).

Para poder llegar a los resultados se toma la siguiente ecuacion

$$I: \frac{m_i}{a \cdot d}$$

I: La absorción, en mm

mi: El cambio de masa en gramos, del especimen en un tiempo t,

d: La densidad del agua en g/mm^3

Materiales

Para realizar el ensayo se requieren los siguientes materiales:

- Bandeja
- Material de soporte para los especimenes
- Bascula
- Cronometro
- Toallas absorbentes

De acuerdo a esto se toman 3 ladrillos a los que se le confirman las medidas para poder realizar el ensayo de absorción de agua, estos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 15 Datos de los ladrillos. Fuente: Propia

Probeta	ANCHO	LARGO	AREA	ESPESOR	VOLUMEN
	mm	mm	(mm ²)	mm	mm ³
M1	106	215	22790	55	1253450
M2	108	212	22896	56	1282176
M3	108	212	22896	53	1213488

Luego de tener estas medidas los elementos se acondicionan para realizar el ensayo, para esto se cubren con pintura epoxica de marca Kolor todas sus caras excepto una que sera la expuesta al agua, ademas la ASTM C1585 dice que el nivel del agua debe quedar 1mm a 3mm arriba del soporte del elemento y debe mantener la misma altura durante todo el ensayo, ya que se va tomando su masa durante los tiempo que se ven en la tabla siguiente, donde se muestran los resultados obtenidos en el ensayo:

Tabla 16 Datos obtenidos del ensayo. Fuente: Propia

ENSAYO ASTM C-1585									
Método de ensayo normalizado para medir el ritmo de absorción de agua de los "Hormigón de cemento hidráulico"									
TIEMPO			Probeta	Masa (gr)	Δ masa (g)	ABSORCION			
M/H/D	SEG	S1/2				(g/s)	PROMEDIO		
						(g/s)	ΣΔ		
PI	0	0	M1	2727	0,0	0,000	0	0	
			M2	2792	0,0	0,000			
			M3	2634	0,0	0,000			
1MIN	60	7,7	M1	2790	63	2,764	2,35	2,35	
			M2	2849	57	2,490			
			M3	2675	41	1,791			
2MIN	120	11,0	M1	2807	17	0,746	0,73	3,08	
			M2	2865	16	0,699			
			M3	2692	17	0,742			
3MIN	180	13,4	M1	2821	14	0,614	0,67	3,75	
			M2	2882	17	0,742			
			M3	2707	15	0,655			
4MIN	240	15,5	M1	2830	9	0,395	0,31	4,05	
			M2	2889	7	0,306			
			M3	2712	5	0,218			

5MIN	300	17,3	M1	2839	9	0,395	0,36	4,42
			M2	2897	8	0,349		
			M3	2720	8	0,349		
6MIN	360	19,0	M1	2839	0	0,000	0,13	4,55
			M2	2900	3	0,131		
			M3	2726	6	0,262		
7MIN	420	20,5	M1	2849	10	0,439	0,36	4,91
			M2	2908	8	0,349		
			M3	2733	7	0,306		
8MIN	480	21,9	M1	2849	0	0,000	0,19	5,10
			M2	2913	5	0,218		
			M3	2741	8	0,349		
9MIN	540	23,2	M1	2858	9	0,395	0,16	5,26
			M2	2918	5	0,218		
			M3	2738	-3	-0,131		
10MIN	600	24,5	M1	2858	0	0,000	0,23	5,50
			M2	2924	6	0,262		
			M3	2748	10	0,437		
15MIN	900	30,0	M1	2865	7	0,307	0,25	5,75
			M2	2928	4	0,175		
			M3	2754	6	0,262		
20MIN	1200	34,6	M1	2866	1	0,044	0,06	5,80
			M2	2928	0	0,000		
			M3	2757	3	0,131		
25MIN	1500	38,7	M1	2870	4	0,176	0,22	6,02
			M2	2934	6	0,262		
			M3	2762	5	0,218		
30MIN	1800	42,4	M1	2875	5	0,219	0,12	6,14
			M2	2938	4	0,175		
			M3	2761	-1	-0,044		
40MIN	2400	49,0	M1	2875	0	0,000	0,13	6,27
			M2	2940	2	0,087		
			M3	2768	7	0,306		
50MIN	3000	54,8	M1	2879	4	0,176	0,19	6,46
			M2	2944	4	0,175		
			M3	2773	5	0,218		
60MIN	3600	60,0	M1	2883	4	0,176	0,09	6,55
			M2	2946	2	0,087		
			M3	2773	0	0,000		
2HR	7200	84,9	M1	2880	-3	-0,132	0,00	6,55
			M2	2945	-1	-0,044		
			M3	2777	4	0,175		

3HR	10800	103,9	M1	2882	2	0,088	0,07	6,62
			M2	2948	3	0,131		
			M3	2777	0	0,000		
4HR	14400	120,0	M1	2890	8	0,351	0,25	6,87
			M2	2950	2	0,087		
			M3	2784	7	0,306		
7HR	25200	158,7	M1	2889	-1	-0,044	0,03	6,90
			M2	2955	5	0,218		
			M3	2782	-2	-0,087		
12HR	43200	207,8	M1	2894	5	0,219	0,18	7,07
			M2	2958	3	0,131		
			M3	2786	4	0,175		
1 día	86400	293,9	M1	2897	3	0,132	0,10	7,17
			M2	2959	1	0,044		
			M3	2789	3	0,131		
2 días	172800	415,7	M1	2901	4	0,176	0,10	7,28
			M2	2960	1	0,044		
			M3	2791	2	0,087		
3 días	259200	509,1	M1	2906	5	0,219	0,20	7,48
			M2	2965	5	0,218		
			M3	2795	4	0,175		
4 días	345600	587,9	M1	2905	-1	-0,044	0,10	7,58
			M2	2970	5	0,218		
			M3	2798	3	0,131		
5 días	432000	657,3	M1	2913	8	0,351	0,32	7,90
			M2	2976	6	0,262		
			M3	2806	8	0,349		

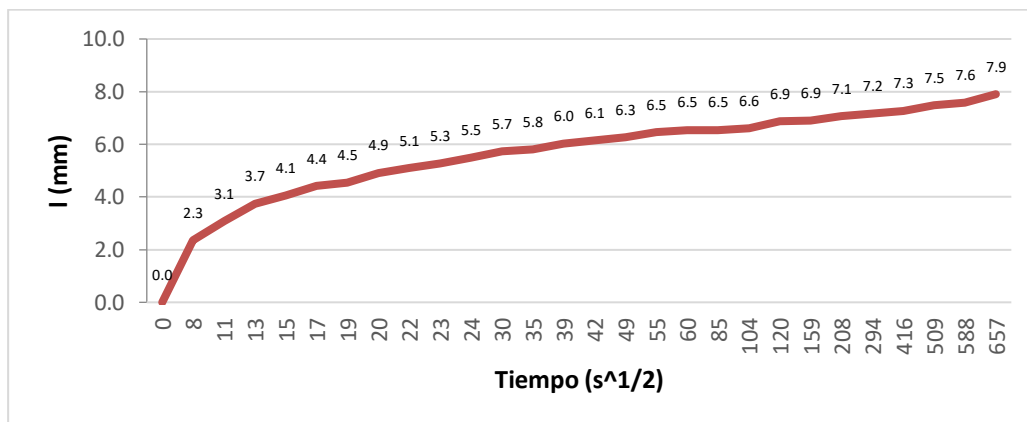


Ilustración 52 Grafico del resultado de absorción de agua. Fuente: Propia

En la gráfica se puede evidenciar que la absorción generada por los elementos va aumentando de acuerdo al paso del tiempo, llegando hasta 7,9 mm en el total del tiempo que se hizo el ensayo.

6 Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

1. De lo expuesto anteriormente se puede concluir que la madera como material de residuos de construcción se puede usar como parte de un material útil para la construcción, llevándola a un proceso de molienda hasta llegar a aserrín para poder incluirla como agregado fino del concreto.
2. De acuerdo a los resultados obtenidos en el desarrollo del material, en donde se realizan los ensayos de compresión a los 7, 14 y 28 días con diferentes porcentajes de madera el 2% el 7% y el 15% con un concreto de 210kg/cm^2 para poder determinar qué porcentaje puede funcionar con el elemento que se propuso, se concluye que el mejor reemplazo es el de 2% subiendo el porcentaje de resistencia a la compresión el 11,19% con respecto al concreto patrón donde se obtuvo un resultado de 163 Kg/cm^2 y el resultado de concreto con madera al 2% fue de 181 kg/cm^2 .
3. Con los resultados obtenidos en los ensayos de compresión se decide realizar un elemento no estructural (ladrillo macizo) reemplazando el 2% del agregado fino por el aserrín de madera de residuos de obra.
4. Para la elaboración del material se realizó mediante una prensa de madera que daba la capacidad de presionar las 3 capas que componen el material y generar una buena fusión entre capas teniendo en cuenta que el material usado fue el concreto con el 2% de madera, por lo cual se obtiene un ladrillo macizo con pesos aproximados de 2,65 a 3 kg por elemento.
5. Teniendo en cuenta esto, se desarrolla un elemento de mampostería un ladrillo macizo al cual se le hacen ensayos de absorción con diferentes aditivos a la mezcla: un impermeabilizante (Sika 1) y un inclusor de aire (Airtoc D Toxement), como consecuencia se ve una menor absorción con respecto al concreto sin aditivos, ya que el concreto con la madera presenta el 7% de absorción completamente sumergido y el parcialmente del 4% como se ven en las tablas 9-10, en cambio los ladrillos con el

impermeabilizante llegaron al 3% totalmente sumergido y 2% parcialmente sumergido como se muestra en la tabla 11-12, por otra parte los ladrillos con el inclusor de aire se mantuvo estable en los dos ensayos teniendo una absorción del 3% como se muestran en las tablas 13-14, por consiguiente el que presenta una menor absorción es el ladrillo que tiene el aditivo impermeabilizante.

6. En la realización del ensayo de la norma ASTM C1585 donde se determina la velocidad de absorción del concreto donde depende directamente del área del elemento siendo este un rectángulo con medidas de 106mm por 215mm, siendo esta la cara puesta sobre la lámina de agua, donde se puede analizar que su absorción aumenta de forma no lineal con respecto a la raíz cuadrada del tiempo siendo la primera fase de $T(s)^{1/2}$ 0-17.3 la que tiene la mayor absorción y la segunda fase de $T(s)^{1/2}$ 17.3-657.3 muestra una absorción menor y más estable hasta llega a una absorción total de $7.9 \text{ mm/s}^{1/2}$.
7. Se concluye que el material propuesto (Ladrillo macizo) sirve para realizar muros de mampostería no estructural teniendo en cuenta el resultado de compresión con resultado de 181 Kg/cm², o como adoquín peatonal, tanto para interior como para exterior ya que su absorción es baja de acuerdo a la norma de ladrillo de arcilla (NTC 4205) donde la mínima absorción de ladrillo macizo es del 13,5%, además lo mas importante de este elemento es la reutilización de los desechos de madera.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda continuar con las investigaciones de la madera de residuos de construcción para disminuir su impacto, además profundizando en las propiedades físicas, químicas y mecánicas que pueden producir con otros materiales, también se puede profundizar en los ensayos que nos permitan conocer los componentes de las maderas que se utilizan en construcción asimismo añadiendo los aglomerados que son tan utilizados en formaletas.

En cuanto al material se pueden proponer otro tipo de elemento como una baldosa o tableta acústica para muros con la mezcla y hacerle los ensayos correspondientes, por otro lado, se puede extender esta investigación realizando ensayos de resistencia a la flexión, ensayos de compresión de muretes o los coeficientes de dilatación térmica.

Para futuras investigaciones se puede realizar la optimización de la producción del ladrillo teniendo en cuenta el proceso de recolección y molienda de la madera de RCD para llegar al aserrín que se utiliza en el elemento, o continuar con los ensayos químicos, físicos y mecánicos utilizando aditivos en la mezcla para ver su funcionamiento en el ladrillo.

A. Anexo: Resultados de compresión Informe de laboratorio BAC



BAC - ENGINEERING CONSULTANCY GROUP
NIT 900.478.591-8
Laboratorio: 29C No. 77 - 55
BOGOTÁ
Of: CRA 11 #94A-25 Of. 601

FECHA DE ACTA	N° ACTA	ACTA DE OBRA N°	N° ALBARAN	N° REGISTRO
19/12/2022	2022/158830	5	CBOG0075-M3	CB.2022/3077

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS NORMALES DE CONCRETO S/ NTC 673:2021

CLIENTE / OBRA: 9486: Laura Trujillo

N° OBRA 25826

TITULO DE OBRA: Falla de concretos

DATOS DEL SUMINISTRO

RESISTENCIA DE DISEÑO: 21 MPA -3000PSI

DATOS DE LA TOMA DE MUESTRA

FECHA DE TOMA: 02/11/2022

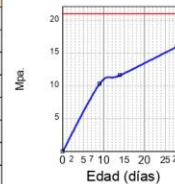
FECHA RECOGIDA: 11/11/2022

ELEMENTO HORMIGONADO

MEZCLADO EN OBRA - 5m ADITIVO

RESULTADOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN

Código probeta	Edad homigón (días)	Fecha de ensayo	Dámetro promedio (mm)	Área (mm²)	Densidad (kg/m³)	Carga de Fractura (kN)	Resistencia a la compresión de Fractura (MPa)	Resistencia a la compresión (PSI)	Porcentaje de resistencia nom.	Tipo de Fractura	Notas
822698	9	11/11/2022	100,0	7854	2400	80,90	10,3	1494	49%	TIPO 3	
822699	9	11/11/2022	100,0	7854	2370	82,30	10,5	1520	50%	TIPO 5	
822700	9	11/11/2022	100,0	7854	2280	80,40	10,2	1485	49%	TIPO 5	
822701	14	16/11/2022	101,0	8012	2290	89,60	11,2	1622	53%	TIPO 4	
822702	14	16/11/2022	100,5	7933	2340	96,50	12,2	1764	58%	TIPO 4	
822703	14	16/11/2022	100,0	7854	2270	89,90	11,5	1660	55%	TIPO 4	
822704	28	30/11/2022	102,5	8252	2230	135,80	16,5	2387	78%	TIPO 4	
822705	28	30/11/2022	100,0	7854	2170	120,00	15,3	2216	73%	TIPO 3	
822706	28	30/11/2022	101,5	8091	2160	132,10	16,3	2368	78%	TIPO 3	



OBSERVACIONES:

Revisó y aprobó:

SILVA BERBESI, DIEGO
Ingeniero Civil
Team Leader

Fin de acta



BAC - ENGINEERING CONSULTANCY GROUP
 Nit: 900.478.591-8
 Laboratorio: 29C No. 77 - 55
 BOGOTÁ
 Of. CRA 11 #94A-25 Of. 601

FECHA DE ACTA	Nº ACTA	ACTA DE OBRA Nº	Nº ALBARAN	Nº REGISTRO
19/12/2022	2022/158832	3	CBOG0075-M5	CB.2022/3079

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS NORMALES DE CONCRETO S/ NTC 673:2021

CLIENTE / OBRA: 9486: Laura Trujillo

Nº OBRA 25826

TITULO DE OBRA: Falla de concretos

DATOS DEL SUMINISTRO

RESISTENCIA DE DISEÑO: 21 MPA -3000PSI

DATOS DE LA TOMA DE MUESTRA

FECHA DE TOMA: 04/11/2022

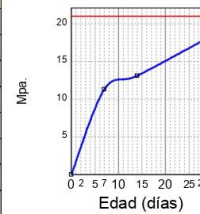
FECHA RECOGIDA: 11/11/2022

ELEMENTO HORMIGONADO

MEZCLADO EN OBRA - PROPORCIONES 1 / 2 / 3 - 2% MADERA 0,3 kg

RESULTADOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN

Código probeta	Edad hormigón (días)	Fecha de ensayo	Diámetro promedio (mm)	Área (mm²)	Densidad (kg/m³)	Carga de Fractura (kN)	Resistencia a la compresión de Fractura (Mpa)	Resistencia a la compresión (PSI)	Porcentaje de resistencia nom.	Tipo de Fractura	Notas
822716	7	11/11/2022	100,5	7933	2280	94,40	11,9	1726	57%	TIPO 5	
822717	7	11/11/2022	100,0	7854	2320	83,50	10,6	1542	51%	TIPO 5	
822718	7	11/11/2022	100,0	7854	2320	88,80	11,3	1640	54%	TIPO 5	
822719	14	18/11/2022	100,0	7854	2240	100,40	12,8	1854	61%	TIPO 5	
822720	14	18/11/2022	100,0	7854	2340	101,40	12,9	1873	62%	TIPO 5	
822721	14	18/11/2022	101,0	8012	2260	108,10	13,5	1957	64%	TIPO 5	
822722	28	02/12/2022	102,5	8252	2190	145,90	17,7	2564	84%	TIPO 4	
822723	28	02/12/2022	101,5	8091	2240	141,70	17,5	2540	83%	TIPO 4	
822724	28	02/12/2022	102,0	8171	2330	149,10	18,3	2647	87%	TIPO 4	



OBSERVACIONES:

Revisó y aprobó:

SILVA BERBESI, DIEGO
 Ingeniero Civil
 Team Leader

Fin de acta



BAC - ENGINEERING CONSULTANCY GROUP
Nit: 900.478.591-8
Laboratorio: 29C No. 77 - 55
BOGOTÁ
Of. CRA 11 #94A-25 OF. 601

FECHA DE ACTA	N° ACTA	ACTA DE OBRA N°	N° ALBARAN	N° REGISTRO
19/12/2022	2022/158831	2	CBOG0075-M4	CB.2022/3078

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS NORMALES DE CONCRETO S/ NTC 673:2021

CLIENTE / OBRA: 9486: Laura Trujillo

N° OBRA 25826

TITULO DE OBRA: Falla de concretos

DATOS DEL SUMINISTRO

RESISTENCIA DE DISEÑO: 21 MPA -3000PSI

DATOS DE LA TOMA DE MUESTRA

FECHA DE TOMA: 04/11/2022

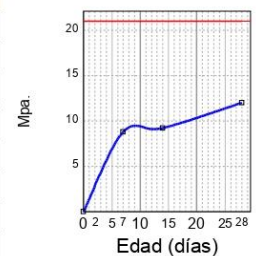
FECHA RECOGIDA: 11/11/2022

ELEMENTO HORMIGONADO

MEZCLADO EN OBRA - PROPORCIONES 1 / 2 / 3 - 7% MADERA 1,05 kg

RESULTADOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN

Código probeta	Edad hormigón (días)	Fecha de ensayo	Diámetro promedio (mm)	Área (mm ²)	Densidad (kg/m ³)	Carrega de Fractura (kN)	Resistencia a la compresión de Fractura (Mpa)	Resistencia a la compresión (PSI)	Porcentaje de resistencia nom.	Tipo de Fractura	Notas
822707	7	11/11/2022	100,0	7854	2280	68,30	8,7	1261	41%	TIPO 5	
822708	7	11/11/2022	101,0	8012	2120	70,60	8,8	1278	42%	TIPO 4	
822709	7	11/11/2022	101,0	8012	2150	70,90	8,9	1283	42%	TIPO 5	
822710	14	18/11/2022	99,5	7776	2250	70,90	9,1	1322	43%	TIPO 4	
822711	14	18/11/2022	99,0	7698	2300	70,70	9,2	1332	44%	TIPO 5	
822712	14	18/11/2022	100,0	7854	2180	73,90	9,4	1365	45%	TIPO 5	
822713	28	02/12/2022	102,5	8252	2300	98,10	11,9	1724	57%	TIPO 3	
822714	28	02/12/2022	101,5	8091	2260	100,20	12,4	1796	59%	TIPO 4	
822715	28	02/12/2022	101,5	8091	2260	95,10	11,8	1705	56%	TIPO 4	



OBSERVACIONES:

Revisó y aprobó:

SILVA BERBESI, DIEGO
Ingeniero Civil
Team Leader

Fin de acta



BAC - ENGINEERING CONSULTANCY GROUP
 Nit: 900.478.591-8
 Laboratorio: 29C No. 77 – 55
 BOGOTÁ
 Of: CRA 11 #94A-25 Of. 601

FECHA DE ACTA	Nº ACTA	ACTA DE OBRA Nº	Nº ALBARAN	Nº REGISTRO
19/12/2022	2022/158829	4	CBOG0075-M2	CB.2022/3076

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS NORMALES DE CONCRETO S/ NTC 673:2021

CLIENTE / OBRA: 9486: Laura Trujillo

Nº OBRA 25826

TITULO DE OBRA: Falla de concretos

DATOS DEL SUMINISTRO

SUMINISTRADOR :

RESISTENCIA DE DISEÑO: 21 MPA -3000PSI

DATOS DE LA TOMA DE MUESTRA

FECHA DE TOMA: 02/11/2022

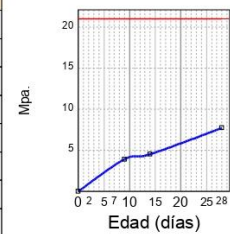
FECHA RECOGIDA: 11/11/2022

ELEMENTO HORMIGONADO

MEZCLADO EN OBRA - PROPORCIONES 1 / 2 / 3 - 15% MADERA

RESULTADOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN

Código probeta	Edad hormigón (días)	Fecha de ensayo	Díámetro promedio (mm)	Área (mm²)	Densidad (kg/m³)	Carrega de de Fractura (kN)	Resistencia a la compresión de Fractura (Mpa)	Resistencia a la compresión (PSI)	Porcentaje de resistencia nom.	Tipo de Fractura	Notas
822686	9	11/11/2022	100,0	7854	5750	31,00	3,9	572	19%	TIPO 4	
822687	9	11/11/2022	100,0	7854	5680	31,00	3,9	572	19%	TIPO 4	
822688	9	11/11/2022	100,0	7854	5690	30,00	3,8	554	18%	TIPO 5	
822689	14	16/11/2022	101,0	8012	1970	35,60	4,4	644	21%	TIPO 5	
822690	14	16/11/2022	100,0	7854	1950	34,80	4,4	643	21%	TIPO 5	
822691	14	16/11/2022	101,0	8012	2000	35,90	4,5	650	21%	TIPO 5	
822692	28	30/11/2022	100,5	7933	1980	58,80	7,4	1075	35%	TIPO 3	
822693	28	30/11/2022	102,0	8171	1980	65,30	8,0	1159	38%	TIPO 4	
822694	28	30/11/2022	102,0	8171	1950	63,50	7,8	1127	37%	TIPO 3	



OBSERVACIONES:

Revisó y aprobó:

SILVA BERBESI, DIEGO
 Ingeniero Civil
 Team Leader

Fin de acta

Bibliografía

- Agudelo, H. A., Hernández, A. V., & Cardona, D. A. R. (2012). Sostenibilidad: actualidad y necesidad en el sector de la construcción en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 15(1), 105–118. Retroceded from <http://www.bdigital.unal.edu.co/31618/>
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2022). Subdirección De Control Ambiental Al Sector Público Cta-Centro De Tratamiento Y Aprovechamiento Aprobados Por La Secretaría Distrital De Ambiente Cta-Centros De Tratamiento Y Aprovechamiento Aprobados Por La Car. Retrieved from https://oab2.ambientebogota.gov.co/documents/10184/1032703/DIRECTORIO+AMBIENTAL+RCD_+%28SDA-CAR%29+-+21+septiembre.pdf/cd005435-951a-4b21-9e78-b6399bb1c1e8
- Andrés, H., & Ospina, T. (2014). *Valoración De Propiedades Mecánicas Y de durabilidad de concreto adicionad con residuos de llantas de caucho*.
- Andres, R., Salazar, R., Enrique, P., Centeno, M., Fernando, Y., Urrego, S., ... Arjona, S. D. (2015). Los residuos de la construcción y demolición en la ciudad de Cali: un análisis hacia su gestión, manejo y aprovechamiento. *Tecnura*, 19(44), 157–170.
- Aprianti S, E. (2016). A Huge Number of Artificial Waste Material can be Supplementary Cementitious Material (SCM) for Concrete Production – A review Part II. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.115>
- Arévalo, R., & Londoño, A. (2005). Manual para la identificación de maderas que se comercializan en el departamento del Tolima. *Ibagué, Colombia*. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Manual+para+la+ide+ntificaci+n+de+maderas+que+se+comercializan+en+el+departamento+del+Tolima#0>
- Aserma, C. (2004). guía sobre la recuperación de residuos de madera valorizar madera, alargar su ciclo de vida.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). NSR-10, Título G Norma Sísmoresistente Colombiana, 168.
- Cigueñas Cabrera, P. C. (2020). Determinación del comportamiento mecánico del concreto con adición de Aserrín, 1–14. Retrieved from <https://n9.cl/azmw7>
- Dominguez-Santos, D. (2021). Structural performance of concrete blocks with wood aggregates for the construction of medium and high-rise buildings. *Informes de La Construcción*, 73(564). <https://doi.org/10.3989/IC.81319>
- Edwards, B. (2005). *Guía básica de la sostenibilidad*. G Gili. Editorial Gustavo Gili. Retrieved from http://www.ggili.com/PDF/DP/670_ES.pdf
- Fernando, L., Guzmán, V., Eduardo, G., & Alcívar, S. (2010). Hormigones livianos.

Escuela Superior Politécnica Del Litoral.

- Fruhwald, D. A. (2002). Ventajas ecológicas de la madera como materia prima. *AITIM JULIO-AGOSTO*, 49–51.
- Garcés Riffo, L. E. (2004). *Hormigón de aserrín*. Universidad Austral de Chile.
- Guarín Cortés, N. L., Montenegro Roa, L. Y., Walteros Galarza, L. H., & Reyes Gómez, S. T. (2010). Estudio Comparativo en la Gestión de Residuos de Construcción y Demolición en Brasil y Colombia, 14.
- Hubbe, M. A. (2015). What Next for Wood Construction/Demolition Debris? *BioResources*, 10(1), 6–9. Retrieved from <http://ezproxy.unal.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=99816570&lang=es&site=eds-live>
- I. Yoris, A., S. Quiroga, A., A. Citroni, J., & Rintoul, I. (2010). Influencia de los Tratamientos de Mineralización de la Madera en las Propiedades Mecánicas de los Compuestos de Madera-Cemento.
- Iglesias Rodríguez, J. ., J., B. E. F., Cartagena, B., & Fernández Serrano, A. (1997). Utilización de la madera como material estructural en la construcción de obras de paso. *In Congresos Forestales*, 241–246.
- Landau, L. (2006). Residuos de construcción y demolición. *Universidad de Huelva*, 1–25. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:No+Title#0>
- López, L. G. de. (2003). *EL CONCRETO Y OTROS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN*. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/>
- Lopez y Sepúlveda. (2014). Caracterización Física De Diferentes Muestras De Agregados Pétreos Para El Concreto-Zona Norte De Bogota, 2. Retrieved from <http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANU>
- Martínez-Soto, I. E., & Mendoza-Escobedo, C. J. (2006). Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 7(3), 151–164. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2006.07n3.012>
- Osorio O., M. (1985). Ceratocystis pilifera, HONGO CAUSANTE DE MANCHA AZUL EN MADERA DE Pinus radiata. *Bosque*, 6(2), 116–119. <https://doi.org/10.4206/bosque.1985.v6n2-07>
- Palacio León, O., Chávez Porras, A., & Velásquez Castiblanco, Y. L. (2017). Evaluación y comparación del análisis granulométrico obtenido de agregados naturales y reciclados. *Tecnura*, 21(53), 96–106. <https://doi.org/10.14483/22487638.8195>
- Pintado Gonzaga, J. H., & Siesquen Delgado, J. C. (2020). Caracterización física - mecánica de concreto adicionando aserrín de madera y ceniza de cascarilla de arroz en la ciudad de San Ignacio - Cajamarca. *Universidad Andina Del Cusco*, 1–118. Retrieved from <https://n9.cl/hjqj78>
- Polanco, C. (2007). Comercialización de madera en Colombia y sus oportunidades. *Refocosta. Recuperado El*. Retrieved from

- <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Comercializaci+n+de+madera+en+Colombia+y+sus+Oportunidades#0%5Cnhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Comercializaci+n+de+madera+en+Colombia+y+sus+oportunidades#0>
- Quiroga, A., Marzocchi, V., & Rintoul, I. (2015). Influence of wood treatments on mechanical properties of wood-cement composites and of *Populus Euroamericana* wood fibers. *Composites Part B: Engineering*, 84, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.08.069>
- Rocha, T. M. S., Miranda, L. F. R., & Parchen, C. F. A. (2019). Influência da composição granulométrica das partículas de resíduos de madeira nas propriedades de compósitos minerais: parte 1 - cimento-madeira. *Ambiente Construído*, 19(3), 113–126. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000300328>
- S., M., & Andina, F. (Ed. .-O. (2016). *Estudio de estimación y caracterización del consumo de madera en los sectores de vivienda y grandes obras de infraestructura*. Bogotá D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; ONF Andina. 2016.
- Salazar, J., García, C. D., & Olaya, J. M. (2011). Dosificación de hormigones ligeros con cascarilla de café. *Ingeniería e Investigación*, 51–57.
- Secretaria de Medio Ambiente. (2015). Observatorio Ambiental de Bogotá. *Secretaria Distrital de Ambiente*, 1–6.
- Serrano, T., Victoria Borrachero, M., Monzo, J. M., & Paya, J. (2012). Morteros aligerados con cascarilla de arroz Diseño de mezclas y evaluación de propiedades. *Dyna-Colombia*, 79(175), 128–136.
- Suárez Romero, J. L. (2006). PARTE 1. GUÍA BASICA DE SOSTENIBILIDAD EN LA EDIFICACION.
- Técnica, N. (2000). 2000-06-21 Concretos. Especificaciones De Los Agregados Para Concreto.
- Troyer, W. (1990). Preserving Our World: A Consumer's Guide to the Brundtland Report, 135.
- Vivas Villarreal, K. N. (2016). "DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO." Universidad técnica de ambato. Retrieved from <https://www.infodesign.org.br/infodesign/article/view/355%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/731%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/269%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/106>
- Wiessel, C. (2005). Preservación de maderas, 1–9.
- WWF-Colombia. (2013). *Maderas de Colombia. Programa Subregional Amazonas Norte & Chocó-Darién*. Retrieved from http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/maderas_de_colombia_15_version_aprobada.pdf