



**Facultad de Ingeniería**

**Carrera de Ingeniería Civil**

**Trabajo de Investigación**

**APROVECHAMIENTO DEL ASERRÍN PARA LA FABRICACIÓN DE  
LADRILLOS ECOLÓGICOS, Y LOGRAR SU PRÓXIMA APLICACIÓN EN EL  
PERÚ**

**Autores**

Castañeda Rodriguez, Hugo Alexander (1524860)

Escalante Cotrina, Mark Stevenson (1524887)

Para obtener el Grado de Bachiller en Ingeniería Civil

**Docentes**

Janqui Cavero, Iván Artemio

Samaniego Orellana, Luis Jesús

Lima, Perú

Agosto - 2020

## Índice General

Resumen.....	1
<b>1. Introducción.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Conceptos.....</b>	<b>2</b>
1.1 Residuos sólidos.....	2
1.2 Aglutinante.....	2
1.3 Madera.....	2
1.4 Cemento.....	3
1.5 Aserrín.....	3
1.6 Agua.....	3
1.7 Mineralización.....	3
<b>3. Metodología.....</b>	<b>4</b>
<b>4. Desarrollo.....</b>	<b>6</b>
4.1 Composición física y química del aserrín (madera).....	6
<b>4.1.1 Propiedades físicas.....</b>	<b>7</b>
<b>4.1.2 Propiedades Químicas.....</b>	<b>7</b>
<b>4.1.3 Propiedades Mecánicas.....</b>	<b>7</b>
4.2 Composición química del cemento.....	9
4.3 Compatibilidad del aserrín con materiales aglutinantes.....	10
4.4 Compatibilidad del aserrín con Cemento Portland tipo I.....	10
<b>4.4.1 Propiedades optimas de los materiales (aserrín/cemento).....</b>	<b>12</b>
<b>4.4.2 Aplicación del aserrín Mineralizado.....</b>	<b>12</b>
<b>4.4.3 Dosificación aserrín/cemento experimental.....</b>	<b>13</b>
4.5 Usos en la actualidad de los residuos de la madera.....	13
<b>4.5.1 Uso agrícola.....</b>	<b>13</b>
<b>4.5.2 Uso en la industria de la construcción.....</b>	<b>14</b>
<b>4.5.3 Uso industrial.....</b>	<b>17</b>
<b>5. Conclusiones.....</b>	<b>18</b>
<b>6. Referencias bibliográficas.....</b>	<b>19</b>

## **Resumen**

La industria del aserrío por su naturaleza produce grandes cantidades de biomasa como aserrín, viruta y madera no comercial que terminan siendo desechos contaminantes para el medio ambiente. Para ello, en los últimos años se han desarrollado una diversidad de investigaciones de cómo aprovechar el residuo acumulado en los aserraderos. Este estudio pretende evidenciar y recopilar los diferentes usos comunes del aserrín y prioriza las propuestas innovadoras del uso directo del aserrín o partículas de madera en tecnología ecológica en construcción. Asimismo, se menciona los principales procesos para mineralizar las partículas de madera, mediante extracción acuosa (HA), Hidrolisis alcalina (HA), Recubrimiento con polímero (RP) o usando diferentes soluciones como Silicatos, sulfato de aluminio ( $Al_2(SO_4)_3$ ), silicato de Sodio, entre otros. Finalmente, se menciona algunos usos comunes del aserrín en la agricultura, ganadería, industrial y en construcción de obras civiles.

## **Palabras Clave**

Aserrín, Aprovechamiento de residuos sólidos, Residuos de madera, Desechos forestales, Mineralización de madera.

## **1. Introducción**

La masiva tala de árboles para la producción de madera origina toneladas de biomasa compuestas por aserrín y desperdicios propios de la industria maderera. Según (Mogollon & Liliana, 2015) en la región de Loreto, de cada troza aserrada resulta el 59% de madera comercial, 16% madera angosta y lo demás representa los desperdicios como aserrín; muchos de estos son acumulados en los alrededores de los aserraderos; que por accesibilidad mayormente, están situados en las riberas de los ríos. Cada año son acumuladas toneladas de aserrín y desperdicios de madera contaminando la flora y fauna de los afluentes.

Uno de los objetivos de este estudio es buscar las aplicaciones que pueda tener el aserrín y su viabilidad del uso en la industria de la construcción. Asimismo, se revisará su composición química tanto del residuo de la madera como de los aglutinantes que pueden ser el cemento portland tipo I, Plásticos, almidón, entre otros. También, se buscará reconocer las propiedades físicas y químicas del aserrín según el tipo de madera presente en nuestro país.

Por otro lado, con esta investigación se busca incentivar la aplicación del aserrín en productos menos nocivos para el medio ambiente, aprovechando sus propiedades físicas, mecánicas y químicas.

## **2. Conceptos**

### **1.1 Residuos sólidos**

Es todo material que son desechados después de tener una vida útil, esto puede ser reutilizado para un nuevo uso con el fin de no contaminar el medio ambiente. (UCP - Pereira, 2016).

### **1.2 Aglutinante**

Son componentes químicos y físicos que son capaces de mezclar uno o más materiales, para establecer un resultado en el ámbito de la construcción civil. Así mismo, se predomina que al mezclarse con otros materiales tienen la capacidad de adherirse o fusionar, así llegando la resistencia mecánica establecidas (E-CONSTRUIR, 2019).

### **1.3 Madera**

Es un material nativo, consistente, flexible y resistente que se encuentra en los troncos de los árboles, que con el tiempo desarrollan capas concéntricas y circulares. También, la madera es una materia prima, renovable, económica y fácil de trabajar

(Máxima Uriarte, 2020).

#### **1.4 Cemento**

Es un compuesto hidráulico, que al desarrollar la aleación con agua u otra sustancia forman una pasta blanda y así se obtiene una resistencia y duración de la masa denominado concreto. (UMACON, 2017).

#### **1.5 Aserrín**

Se le conoce como serrín o aserrín; es un material de desechos que se obtiene mediante la transformación de la madera, y así se lleva a cabo la obtención del aserrín. (Barrera Ochoa, 2016).

#### **1.6 Agua**

Es un componente de la naturaleza, que está constituida por los ecosistemas; este líquido está conformado por el 80% del cuerpo de los organismos y es vital para el ser humano. (Paredes Díaz, 2013).

#### **1.7 Mineralización**

Es la transformación de la materia orgánica a un estado inorgánico, haciendo uso de microorganismos y/o catalizadores (Bellido Yarleque, 2018).

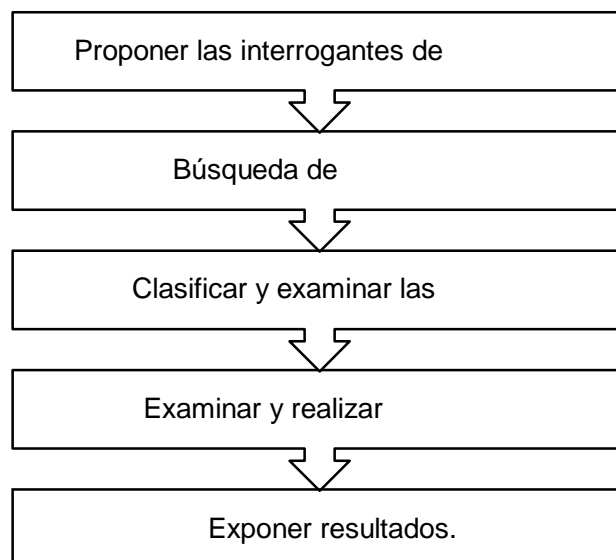
### 3. Metodología

La presente revisión bibliográfica aplica la metodología “Revisión Sistemática de la Literatura” (Systematic Literature Review, SLR) formulada por Tranfield et al. (2003) (Figura 01). También, cabe precisar que este estudio literario representa la primera parte de una investigación más exhaustiva en la cual se aborda con mayor profundidad la parte experimental sobre utilización de la composición aserrín/cemento como compuesto principal para la elaboración de un ladrillo ecológico.

Todas las etapas son aplicadas para que los objetivos planteados sean alcanzados, así como, para asegurar un estudio literario ordenado, preciso y aprovechable.

Asimismo, se revisó investigaciones completas como tesis de pregrado, artículos y revistas científicas escritas en español, inglés y portugués. Por otro lado, no se tomó en cuenta literatura de páginas web de mala reputación, textos sin citas bibliográficas y mal estructurados, literatura incompleta y publicaciones similares.

Una de las estrategias utilizadas fue el uso de palabras clave como: Aserrín, Mineralización del aserrín, uso del aserrín, Residuos del aserrío, Residuos sólidos y Producción de maderera; las cuales, haciendo uso de páginas web que, conglomeran una amplia y extensa base de datos, se introdujeron recuperando treinta (30) fuentes bibliográficas que tienen dirección directa con los objetivos de esta investigación.



**Figura 01:** Systematic Literature Review (según lo propuesto por Tranfield et al. (2003)

Finalmente, toda la información seleccionada aporta de manera significativa a este estudio, las cuales se procesaron mediante resúmenes, comparación de resultados ya sea positivos o negativos; encaminando a este estudio a enriquecer en conclusiones. En la siguiente tabla 01, se muestra una síntesis de la metodología utilizada. (Diaz Curbelo , Gento Municio , & Marreno Delgado , 2017).

**Tabla 01:** Cuadro de resumen de metodología utilizada.

**Adaptación de:** (Diaz Curbelo , Gento Municio , & Marreno Delgado , 2017)

<b>Interrogantes del estudio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Cuáles son los usos más comunes del aserrín?</li> <li>- ¿Cómo se podría utilizar los residuos sólidos de la industria maderera en nuevos materiales para la construcción de viviendas?</li> <li>- ¿Cuáles son las propiedades físicas y químicas del aserrín?</li> <li>- ¿Qué aglutinantes son compatibles con el aserrín?</li> </ul>			
<b>Términos clave utilizados</b>	Aserrín		Residuos sólidos	
	Aserrín, Mineralización del aserrín, uso del aserrín,		Residuos del aserrío, Residuos sólidos, producción maderera	
<b>Tiempo de búsqueda</b>	Abril 2020 – mayo 2020			
<b>Etapa de Selección</b>	Fuentes desde 1988 al 2019			
<b>Generador de Búsqueda</b>	Scopus	Google Académico	Scielo	Renati, entre otros
<b>Método de selección</b>	Según las etapas de Tranfiel et al. (2003)			
<b>Estudio y síntesis</b>	Caracterización cualitativa			

En el siguiente inciso se presenta los resúmenes de las fuentes elegidas, entrelazando desde un contexto general de la utilización del aserrín, los usos comunes en la actualidad; así como, algunos estudios realizados en la aplicación en diferentes campos académicos como agronomía, medio ambiente, construcción civil, entre otros. Asimismo, se trata de abordar la composición química tanto del aserrín como del cemento Portland tipo I y principalmente la interacción del aserrín/cemento.

#### **4. Desarrollo**

Desde hace muchos años se han realizado diversas investigaciones con respecto a cómo aprovechar los residuos de aserrín y viruta generados en los aserraderos; surgiendo alternativas como producir abono orgánico, herbicida natural, compactación de los residuos y la fabricación de las briquetas o ladrillos (Rivera Solano, 2020).

Asimismo, con el transcurrir de los años se han desarrollado múltiples estudios, tanto físicos como químicos con el objetivo de reutilizar el aserrín uniéndolo con aglutinantes, con los cuales se pueda formar bloques que puedan ser utilizados en construcción.

Este artículo también acerca la problemática peruana sobre el tratamiento de los residuos madereros. Es por ello, que se prioriza las maderas más comercializadas en Perú, sin dejar de lado el enfoque internacional.

En el territorio peruano, la actividad productiva de madera es una de las principales, pero, en el 2015 presentó el nivel más bajo en los últimos diez años con 1.7 millones de m<sup>3</sup> de madera rolliza. Esto proviene principalmente de las regiones de Loreto, Madre de Dios y Ucayali concentrando un 86% de la producción. Asimismo, cabe señalar que las especies más utilizadas son: Cumala, Capinuri, Capirona, Lupuna y Tornillo (FAO), 2018).

Mediante una investigación realizada a diferentes empresas dedicadas al aserrío en la ciudad de Iquitos, una de las ciudades con mayor comercialización de madera, se determinó cual es el rendimiento que tiene una troza de madera; dependiendo directamente del tipo de madera y del tipo de máquina utilizada para extraer la madera, se obtiene un rendimiento de madera comercial de 59%, madera angosta del 16%, de aserrín un 16% y desperdicios del 9%. (Mogollon & Liliana, 2015).

##### **4.1 Composición física y química del aserrín (madera)**

Para tener una noción de las propiedades del aserrín, se tiene que conocer las propiedades generales de la madera; dado que, dichas características pueden variar según el tipo de madera y el lugar de origen.



#### **4.1.1 Propiedades físicas:**

##### **Densidad**

Es una propiedad importante porque permite clasificar las maderas en pesadas, ligeras y muy ligeras, de más a menos densidad respectivamente. Un leño recién cortado puede tener 1000 kg/m<sup>3</sup> aproximadamente, luego en estado seco (12% de humedad) disminuye hasta 670 kg/m<sup>3</sup> (Calleros , 2012)

##### **Contenido de humedad**

La humedad en la madera fresca puede oscilar entre el 20 y 200%; ya en uso, la presencia de agua dentro de las partículas de madera puede ser del 8% a 25%, depende de la humedad del aire relativa. (WOODPRODUCTS, 2020)

##### **Granulometría**

El aserrín está clasificado como un compuesto de grano fino que según la ASTM (American Society for Testing and Materials) que pasa por la malla de 3/8" (9.5 mm) y las partículas más finas se retienen en la malla N° 200 (0.075 mm) (Bellido Yarleque, 2018).

##### **Contracción y expansión**

El cambio del contenido de humedad en las fibras de la madera por debajo de su límite de saturación produce variación en su magnitud tanto en sentido radial, como, tangencial y longitudinal (Bellido Yarleque, 2018).

#### **4.1.2 Propiedades Químicas**

La composición química de la madera está conformada principalmente por 3 elementos: celulosa, hemicelulosas y lignina. La celulosa es un homopolímero lineal, alargadas y que se caracteriza por unidades de glucosa y contiene una alta resistencia a la tracción. La hemicelulosa es un polisacárido que está organizado por 5 unidades distinto de azúcares (glucosa, manosa, galactosa, xilosa y arabinosa). La lignina es un proceso aromático combinado de fenilpropano o polipropano y su estructura es plenamente discontinuo (Monteoliva, 2009).

#### **4.1.3 Propiedades Mecánicas:**

##### **Resistencia a la flexión**

La madera tiene la capacidad de soportar cargas de flexión o doblado, en el momento que se aplican en sentido vertical a las fibras (vigas, pasos de escalera, entrepaños, etc.) (Bellido Yarleque, 2018).

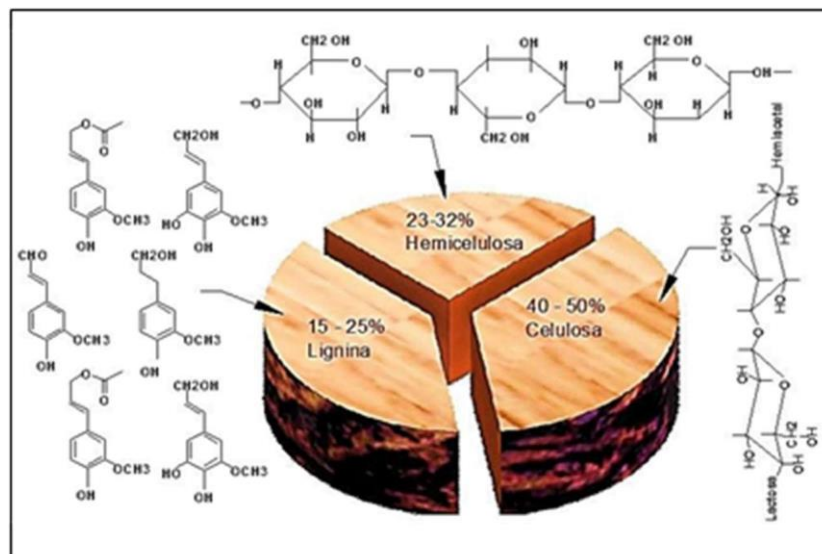
## Resistencia a la compresión

La madera es capaz de soportar las fuerzas externas que se extiende a disminuir la distancia, por ello se conoce que la madera está en compresión o prensado (Bellido Yarleque, 2018).

## Dureza

La madera presenta una resistencia a la implantación, así como a los hundimientos y al desgaste. Asimismo, depende de su estructura, edad y densidad (Bellido Yarleque, 2018).

Por consiguiente, la madera está compuesta por diversas células, y los más principales de su composición química es la celulosa alrededor del 50%, lignina un 30% y los productos orgánicos que tienen una semejanza a la celulosa y sustancias que varía un 20% entre ellos tenemos el azúcares, almidón, sales minerales, grasas, taninos, colorantes, aceites esenciales, ceras y resinas. (Aguilar Pozzer & Estela Guzowski, 2011). En la figura adjunta se muestran los principales componentes de la madera señalando con una flecha la estructura molecular de cada elemento.



**Figura 02:** Composición química de la madera

**Adaptación de:** Presentación Dra. Marcela Ibáñez, Udelar

## 4.2 Composición química del cemento

El cemento en construcción es un compuesto químico que ha sido utilizado durante muchos años para conglomerar la arena y grava, la cual reacciona con el agua formando una masa que es moldeada en una forma deseada endureciéndose con el pasar del tiempo.

Básicamente está compuesto por la combinación de Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y Arcillas ( $\text{K}_2\text{O SiO}_2 \text{ Al}_2\text{O}_3$ ), en medidas variables, que al pasar por un proceso de fundición y enfriamiento da como resultado el “Clinker”. De este modo, en el estado sólido se obtiene una “red cristalina”, el cual, contiene no solo enlaces  $\text{Si - O - Si - O}$ , sino que también está presente el átomo de Aluminio  $\text{Al}$ , produciendo una red del tipo:  $\text{O - Al - O - Si}$ . Asimismo, hay que precisar que en dichas redes queda encapsulados iones de  $\text{K}^+$  o  $\text{Ca}^{2+}$ , así como, zeolitas en su estado natural mineral.

También, se sabe que toda arcilla está acompañada de hierro con una estructura de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , el cual sustituye al aluminio dentro de las redes cristalinas y se une al silicio mediante el oxígeno:  $\text{O - Si - Fe - O}$  (Ochoa L. & Flores B. , 1994).

A su vez, cabe precisar que el cemento portland tipo I es uno de los más utilizados en el ámbito de la construcción; el cual, debe de cumplir con los estándares solicitados por las normas locales e internacionales como la ASTM C-150. De la misma forma, se sabe que este aglutinante está compuesto principalmente por cal, sílice, alúmina y óxido de hierro. (León Soto, 2010). Por consiguiente, resulta ser una buena alternativa para mineralizar las partículas de madera.

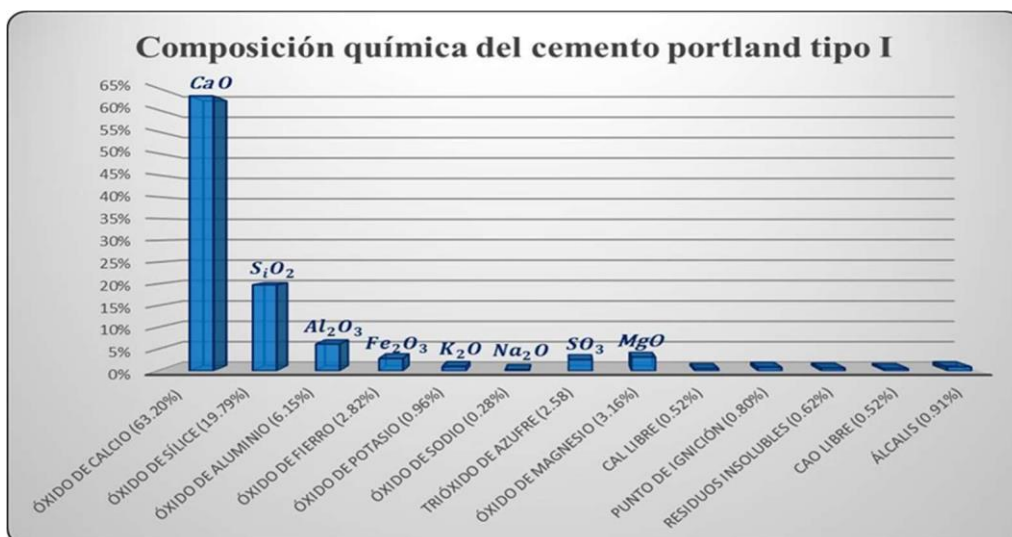


Figura 03: Composición química del cemento.

Adaptación de: Composición química del cemento (León Soto, 2010)

### **4.3 Compatibilidad del aserrín con materiales aglutinantes**

Por naturaleza ambos compuestos son incompatibles, pero, no ha sido problema para desarrollar métodos para unir ambos materiales. Por lo que, se realizó una investigación donde se determinó el comportamiento de los materiales conformados por plástico- madera; enfatizando en la interacción fisicoquímica entre los materiales elevadamente polares y los de baja polaridad como los plásticos. Se elaboró 4 muestras de plástico/madera (80%/20%, 50%/50%, 60%/40%, 65%/35%). Con el uso de un microscópico óptico de marca Nikon modelo Epiphot, se logró realizar comparaciones en la estructura de la mezcla, siendo la más favorable la mezcla de 80% plástico y 20% madera y la más favorable de 50% plástico y 50% madera. Finalmente, la investigación resalta el ordenamiento que tiene la estructura del compuesto debido a la geometría propia del aserrín y se recomienda controlar los principales parámetros dentro del proceso de elaboración como: temperatura del proceso de inyección, composición del material plástico y de madera, tiempo de proceso, morfología y cantidad de refuerzo, como la forma del polvo, fibras, hojuelas, etc. (González Sosa & Barbara pingarrón , 2008).

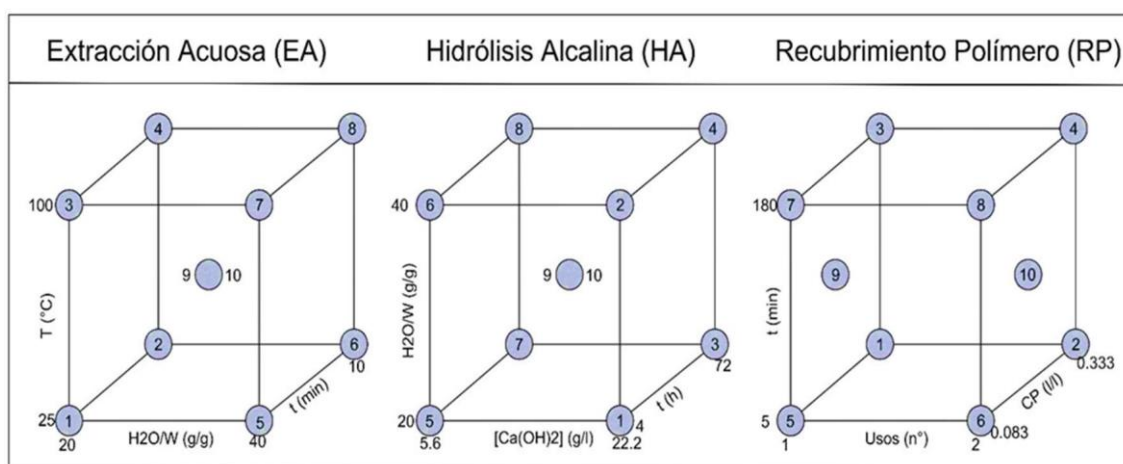
Luego, en la ciudad de Cajamarca se realizó una investigación con el propósito de evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los adobes con adición de viruta de Eucalipto. Donde, se sugirió añadir en el adobe compactado 1.5%, 3.0% y 4.5 % de viruta; elaborando un total de 140 ejemplares. Luego de los ensayos ejecutados en el laboratorio, obtuvo una resistencia a la compresión de 28,04 Kg/cm<sup>2</sup>, 29,79 kg/cm<sup>2</sup> y 30.94% correspondiente para cada porcentaje adicionado. Por otra parte, se añadió 1.5%, 3.0% y 4.5% logrando 18.06 kg/cm<sup>2</sup>, 9.81 kg/cm<sup>2</sup> y 12.48 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la flexión para cada adición. También, se ensayó la absorción de agua que para los especímenes con viruta fue de 19.36%, 20.15% y 20.95% respectivamente; y para las muestras con aserrín 16.99%, 17.75% y 18.35% respectivamente. (Carhuanambo Villanueva , 2016).

### **4.4 Compatibilidad del aserrín con Cemento Portland tipo I**

En la actualidad el aprovechamiento del aserrín tiene un impacto positivo en las industrias, ya que existe una incompatibilidad molecular entre el aserrín y el cemento. Por lo cual, se ha desarrollado una investigación experimentando tres tipos de tratamientos para lograr mineralizar la madera y mejorar las características de los compuestos de Madera-Cemento. Cabe precisar que cada tratamiento actúa de manera diferente con el fin de mejorar la eficacia de fraguado del cemento. El primer método, es la extracción acuosa, donde se trata de extraer los azúcares solubles en

el agua presentes en las fibras de la madera. El otro método es la hidrólisis alcalina, degradando las hemicelulosas y los azúcares. Por último, el tercer método realizado en esta investigación es el recubrimiento con polímero (estireno acrílico), el cual forma una película en la superficie de la madera, actuando como agente de recubrimiento (Yoris , Quiroga, Citroni , & Rintoul, 2010).

La matriz de ensayo utilizada para los dos primeros métodos (EA y HA) se fundamenta en el diseño experimental cúbico-centrado; mientras que el tercero (RP), utiliza un cubo de dos caras centradas (Yoris , Quiroga, Citroni , & Rintoul, 2010). En la siguiente Figura se muestran gráficamente y la tabla 2 se presenta las 10 condiciones tratadas experimentalmente.



**Figura 04:** Esquema de diseño experimental para cada tratamiento de Mineralización.

**Adaptación de:** (Yoris , Quiroga, Citroni , & Rintoul, 2010).

**Tabla 2:** Condiciones Experimentales.

**Adaptación de:** (Yoris , Quiroga, Citroni , & Rintoul, 2010)

N°	Extracción			Hidrólisis			Recubrimiento	
	H <sub>2</sub> O/W (g/g)	T (°C)	t (min)	[Ca(OH) <sub>2</sub> ] (g/l)	t (h)	H <sub>2</sub> O/W (g/g)	[CP] (l/l)	t
1	20	25	5	22.2	4	20	0.3	
2	20	25	45	22.2	4	40		
3	20	100	5	22.2	72			
4	20	100	45	22.2	7			
5	40	25	5	5.6				
6	40	25	45					
7	40	100						
8	40	10						
9	30							
10								

Por otra parte, (Ludovico Beraldo, Rodrigues, & Mendes, 2020) implementaron dos formas distintas para mineralizar la madera. El primero se trata de sumergir las fracciones de madera en una solución de silicato al 5% durante 5 minutos, para luego ser sumergidas en una solución de sulfato de aluminio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) al 10%. El otro modo de mineralización es sumergir el aserrín en una solución de silicato de Sodio al 5% y acto seguido, ser vertido en otra mezcla de Cloruro de Calcio de 3%.

#### **4.4.1 Propiedades optimas de los materiales (aserrín/cemento)**

Para condiciones experimentales, los agregados deben cumplir ciertas condiciones, empezando por el agua que debe de estar sin impurezas; el aserrín libre de impurezas y con mínimo contenido de húmedas, tiene que pasar por un proceso de mineralización con soluciones químicas mencionadas líneas anteriores; en caso se diseñara una mezcla con añadidura de arena de grano grueso, se debe considerar el volumen de arena fina, menos del 10% de la masa total. Asimismo, el cemento recomendado es, cemento portland tipo I (DecorexPro, 2019).

#### **4.4.2 Aplicación del aserrín Mineralizado**

En los últimos años, los residuos de aserrín, papel y cal; son aprovechados o aplicados en la construcción civil debido a que son de bajo costo. Estos residuos sólidos contienen propiedades aislantes y una conductividad térmica, su resistencia a la compresión oscila entre 0.06 MPa a 0.080 MPa, esto indica que puede ser utilizado para muros no estructurales (Eboziegbe Patrick Aigbomian, 2013). Con el cemento y aserrín realizaron el ensayo de la resistencia a la compresión de los ladrillos compuestos de aserrín con cemento portland, para la cual se realizaron 12 muestras.

Los procedimientos de ensayo utilizados se basaron en los estándares americanos de Ensayo de Materiales (ASTM) D 1037-78 (11) (ASTM, 1996). Finalmente, Obtuvieron como resultados, que los ladrillos no alcanzaron la resistencia requerida por la ASTM, ya que su utilidad no es apta para soportar cargas de alta resistencia, pero se puede utilizar en interiores de las casas como tabiquerías que no soportan cargas estructurales (Kisito, Banana, & Ssonko kaboggoza, 2006).

En Argentina aplicaron el proceso de mineralización para experimentar con dos especies de madera (Eucalipto y Álamo) para reducir la contaminación de dicho residuo. El objetivo es mineralizar los residuos de los aserraderos con tres tipos de cementos argentinos (CPC 40- IRAM 5000-cemento C1, ARI50 - IRAM 50001 – cemento C2, CPP40 – ARS - IRAM 50001 – cemento C3) para obtener un compuesto y elaborar elementos no estructurales. Así mismo, la combinación más efectiva fue de los residuos de eucalipto, utilizando los cementos CPC40 o ARI50 Y con la adición de

3% de cloruro de calcio (Humberto Balzamo, 2009).

Del mismo modo en el mismo país, se logró reemplazar el sistema constructivo ICF (insulated concrete form) o también conocido como encofrado para concreto reforzado; sustituyendo por un material compuesto de concreto y fibras de madera mineralizada. Lo más resaltante de esta nueva tecnología es que, se pasó de un material derivado de petróleo, inflamable, con balance de CO<sub>2</sub> negativo y poco accesible económicamente, a utilizar bloques compuestos por fibras mineralizadas de madera reciclada (aserrín) con balance de CO<sub>2</sub> positivo, ignífugo y económico. (SIMACON, 2020).

#### **4.4.3 Dosificación aserrín/cemento experimental**

En el país de Brasil se ha realizado un estudio con el cual se pretendía dar un uso constructivo al aserrín a través de bloques elaborados a base de cemento/aserrín. Para lograr la dosificación se mineralizó el aserrín (pun = 410 kg.m<sup>3</sup>, pap =600 kg.m<sup>3</sup>, h=37.16%) en una proporción de 30:35:35(cemento: aserrín: arena, en volumen); esto con el propósito del cemento sea hidratado por las partículas de agua presente en el aserrín, con esto se lograría formar una lámina alrededor de las partículas de madera; para evitar emisiones de sustancias que podrían perjudicar el fraguado del cemento (Regina Garcez , Oliveira Machado, Oliari Garcez , & Alberto Gatto, 2018).

Por otro lado, se realizó las proporciones del compuesto de aserrín de Virola SSP – Cemento Portland tipo I, para hallar las propiedades de absorción, hinchamiento y flexión estática de los tableros. Se realizó 4 ensayos diferentes (A, B, C y T), siendo T el testigo; con las siguientes proporciones de cemento y aserrín (A= 80% y 20%, B=70% y 80%, C=60% y 40% y T=100% y 0%). Como resultado se obtuvo que las proporciones 60 y 40% presenta mayor absorción de humedad e hinchamiento. (Camac Gomez, 2012).

### **4.5 Usos en la actualidad de los residuos de la madera**

#### **4.5.1 Uso agrícola**

Debido a la problemática originada por los residuos sólidos generados por la industria maderera; una de las alternativas propuestas e inclusive ya implementadas, hace muchos años, es el aprovechamiento del aserrín o viruta de madera como abono agrícola. Esto debido a su gran capacidad de descomponer los hongos y su eficacia para impedir la proliferación de malas hierbas en las plantaciones (Rivera Solano, 2020). Sin duda, es una buena alternativa que contribuye con la mitigación de la

contaminación que significa los residuos como el aserrín que en su mayoría termina en descomposición o incineración al aire libre, emitiendo grandes cantidades de CO<sub>2</sub> y otros gases dañinos para el ecosistema.

De igual forma, otra alternativa de utilización es como suplemento alimenticio en los vacunos, aplicando bacterias ruminales aptas para degradar aserrín obteniendo un impacto positivo en el peso para la producción de carne (Fregoso Madueño, y otros, 2016).

#### **4.5.2 Uso en la industria de la construcción**

Por otro lado, una solución un poco más compleja es la reutilización de los residuos madereros para la elaboración de un compuesto de Tereftalato de Polietileno (PET) reutilizado, con aserrín de madera y un pequeño porcentaje de arcilla bentonita; principalmente plástico/madera. Para ello, es necesario realizar ensayos para evaluar las propiedades fisicoquímicas y granulometrías de los materiales. Luego, mediante la metodología de fusión térmica se obtiene el compuesto plástico madera. Los resultados son positivos, obteniendo un material resistente a la ruptura entre los 4456 MPa y 9441 MPa, así como biodegradable entre 2 a 4 años aproximadamente (Polaco Ramírez & Quispe Baldeón).

En una investigación efectuada con el objetivo de encontrar una opción para el aprovechamiento del aserrín que sea diferente al uso bioenergético; propuso briquetas con la propiedad de aislante térmico. Su metodología se basó en la elaboración de briquetas cilíndricas acondicionando polvo o harina de aserrín con un tamaño de partícula de  $0.10 \pm 0.04$  mm y añadió 30 gramos de engrudo de almidón de maíz diluido (aglutinante) en 60 ml de agua destilada. Asimismo, elaboró un lote con una dosificación de 70% aglutinante / 30% aserrín y otra con 80% aglutinante / 20% aserrín.

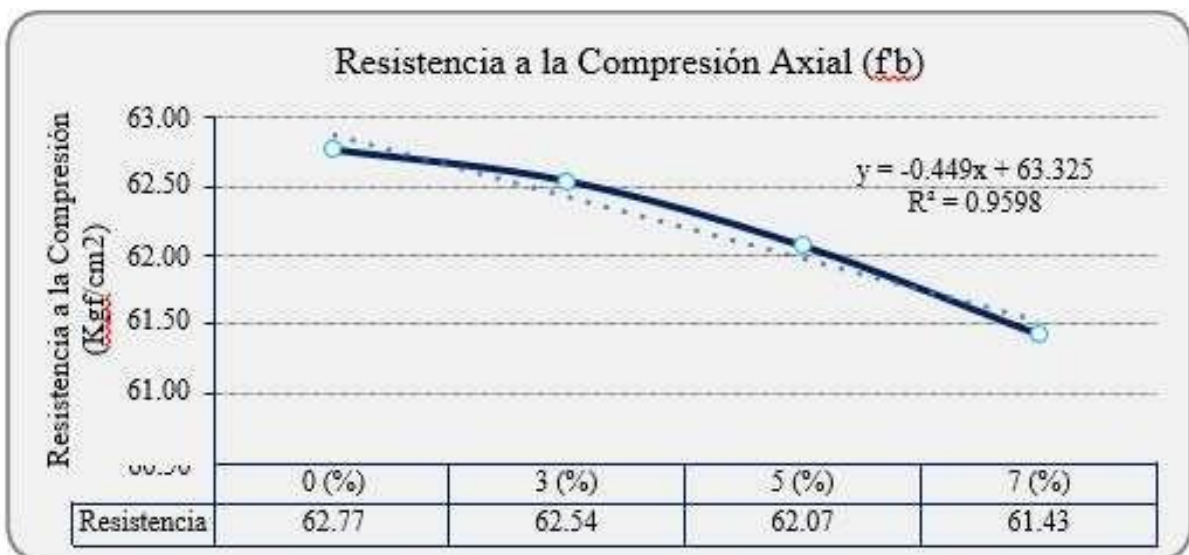
Con lo que, evaluó el secado de las briquetas introduciendo en una estufa a 45 °C durante 48 horas, hasta alcanzar el equilibrio higroscópico; el contenido de humedad en porcentaje, resultado de comparar los pesos de las briquetas húmedas con las muestras secadas al horno; su densidad se estimó mediante el sumergimiento o desplazamiento de agua; el índice de friabilidad según la Farmacopea Argentina, resistencia al aplastamiento y la estimación de la capacidad de aislamiento térmico para ambas muestras se mantuvo por debajo del control de  $57,3 \pm 0,1$  °C (Ortega Sánchez, 2019).

Entonces, se puede inferir que el aserrín no solamente puede ser utilizado como biocombustible o como desecho, sino que, por sus propiedades físicas, mecánicas y



químicas, se puede utilizar como aislante térmico en tabiques para viviendas modulares.

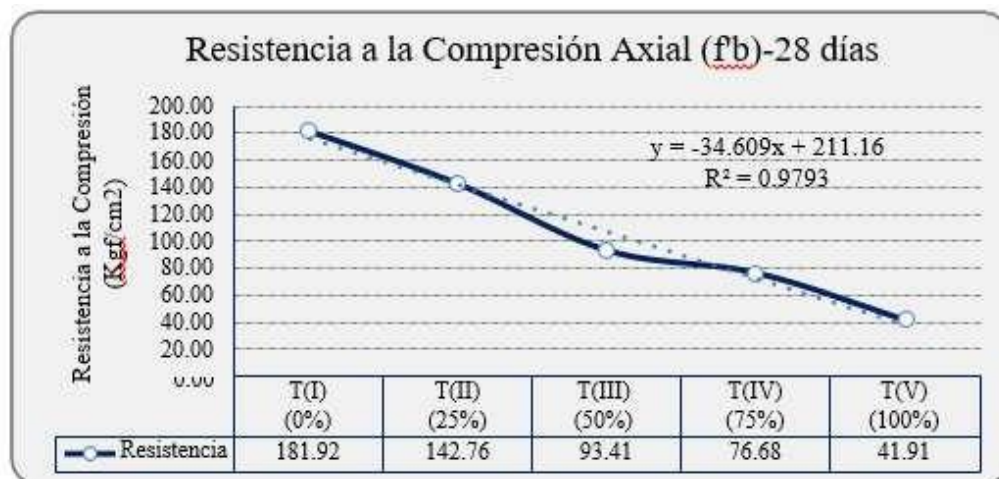
Como muestra de ello, experimentalmente se elaboró bloques de arcilla con añadidura de 0%, 3%, 5%, 7% de aserrín. El resultado obtenido fue, ladrillos con resistencia a la compresión axial adecuada bajo los estándares de la NTP 331.017. Sin embargo, como se muestra (figura 5), la resistencia tiende a bajar conforme se aumenta los porcentajes de aserrín; por lo que, para que no afecte su resistencia y las dimensiones de los ladrillos (alabeo), solo sería conveniente añadir 3% de aserrín. La adición del 5% y 7% de aserrín no es recomendable, dado que, no cumple con la resistencia requerida por la Norma Técnica Peruana. (Olave, 2017). Sin embargo, este producto posee gran capacidad térmica y acústica a comparación con el ladrillo de arcilla común.



**Figura 5:** Resistencia a la compresión de las unidades de albañilería elaboradas con arcilla y aserrín.

**Adaptación de:** (Olave, 2017)

También, se experimentó en ladrillos de concreto, adicionando aserrín de Pinus elliottii en reemplazo del agregado fino (arena) con las proporciones de 0 (TI), 25(TII), 50(TIII), 75(TIV) y 100%(TV). Para ello, se realizaron 15 muestras para cada tratamiento, 5 muestras para las pruebas físicas y 10 para las pruebas mecánicas. Las unidades del Tipo III, fabricadas con añadidura de 50% de aserrín a la mezcla, resultaron ser las más óptimas, puesto que cumple los estándares requeridos por la norma brasileña (NBR) (Regina Garcez, Santos , & Gatto Alberto, 2013). En la Figura 6 se presentan los valores de resistencia a la compresión axial de las unidades de albañilería con las diferentes añadiduras de aserrín; como se observa, cuanto más porcentaje de aserrín se le añade al compuesto, menos es la resistencia en compresión axial, esto no limita su uso en la construcción.



**Figura 6:** Resistencia a la compresión de las unidades de albañilería elaboradas con concreto y aserrín.

**Adaptación de:** (Regina Garcez, Santos, & Gatto Alberto, 2013)

Asimismo, se probó con cenizas de aserrín en un 10%, 15% y 20% en las propiedades mecánicas de un ladrillo de concreto. De este modo, con los ensayos realizados a dicho experimento, se obtuvo un ladrillo modular de cemento con cenizas en un 20%, el cual fue óptimo y cumplió con los parámetros solicitados por la Norma Técnica Peruana (NTP-albañilería). Los resultados se presentan en la siguiente figura (Ibañez & Rodríguez, 2018).



**Figura 7:** Resistencia a la compresión de las unidades de albañilería elaboradas con concreto y aserrín.

**Adaptación de:** (Ibañez & Rodríguez, 2018)

En otro ámbito, se ha experimentado bloques compuestos en su mayor parte por astillas de madera, es decir, virutas y aserrín con una dosificación de 1:1 o 1:2; teniendo en cuenta que todas las proporciones se miden en volumen, por ejemplo, la relación de 1:2 se toma 1 cubo de aserrín y 2 cubos de virutas. También, el tamaño de la partícula recomendado oscila entre 15 a 25 mm de largo y de ancho 2- 5 mm; cabe precisar que los materiales deben estar libres de contener cualquier impureza. Finalmente, como producto se obtiene un bloque resistente a la tracción, grietas y golpes; incluso, teniendo en cuenta que los agregados pueden ser comprados en cualquier distribuidor local a un módico precio, así como, los bloques pueden ser elaborados por las propias personas (CONSTRUCT-YOURSELF, 2016).

#### 4.5.3 Uso industrial

También, se aprovecha en el uso de biocombustible generando energía eléctrica, térmica y potencial, para el sector vivienda, industrial y comercial (Fregoso Madueño, y otros, 2016). Por ello, se puede decir que en la actualidad se está aprovechando los residuos sólidos, y así evitando la contaminación ambiental.

## **5. Conclusiones**

De los estudios y experimentos observados, se puede decir que durante mucho tiempo el aserrín y/o desperdicio sólido de la industria maderera en general ha sido utilizado en la agricultura como abono o como medio para generar energía calorífica a través de la combustión. Pero en algunos casos, el residuo sólido ha sido desechado a la intemperie y en el peor de los casos se ha sido incinerado, generando grandes masas de gases dañinos para el ecosistema como el dióxido de carbono, monóxido de carbono, entre otros.

Asimismo, de los estudios revisados en este artículo, tanto los ejecutados en Brasil como en el Perú, ninguno ha aplicado algún método para unir las partículas del aserrín con las del cemento portland, para mejorar sus propiedades de resistencia y evitar el fenómeno de inhibición del fraguado. Del mismo modo, se ha encontrado en el aserrín un gran beneficio como aislante térmico; esto es directamente aplicable para la construcción de viviendas en zonas donde la temperatura del ambiente suele estar por debajo de los 0 °C.

Por otro lado, se ha visto que por naturaleza el aserrín, que es un producto orgánico, es incompatible con un material mineral como el cemento portland; pero, eso no es impedimento para unir los dos compuestos. En este artículo se ha tratado tres métodos (ver figura 4), para realizar la mineralización de las partículas del aserrín, lo cual sería un gran avance para la elaboración de ladrillos y concretos a base de aserrín y cemento portland.

De la misma forma, en los últimos años se han ejecutado prototipos de ladrillos con diferentes proporciones de cemento/aserrín, siendo la dosificación más óptima 30:35:35(cemento: aserrín: arena, en volumen) para ladrillos de concreto con adición de aserrín. Así como, para el caso de ladrillos de arcilla, resulta prudente añadir solo el 3% de cenizas de aserrín, dado que, la resistencia a la compresión axial se ve perjudicada al añadir material orgánico en grandes cantidades en la mezcla (figura 6). En el caso de los ladrillos de cemento/aserrín, resulta favorable añadir cal en pequeñas proporciones para estabilizar la mezcla.

Finalmente, cabe señalar que, en este artículo no se han considerado las diferentes variedades de madera y su granulometría, contenido de humedad y otros factores que pueden alterar las mezclas y dosificaciones; sin embargo, se busca incentivar la investigación y el aprovechamiento del recurso maderero que en la actualidad para muchos países sigue siendo un agente contaminante en las riveras de los ríos o en campos de incineración.

## 6. Referencias bibliográficas

- Aguilar Pozzer, J., & Estela Guzowski . (2011). Materiales y materias primas. Buenos Aires, Argentina.
- Barrera Ochoa, A. (2016). El aserrín como material expresivo en el diseño interior. Obtenido de <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/5922/1/12241.pdf>
- Bellido Yarleque, L. J. (2018). "PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO LIGERO CON INCORPORACIÓN DE VIRUTAS DE MADERA". "PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO LIGERO CON INCORPORACIÓN DE VIRUTAS DE MADERA". Lima, Perú.
- Calleros , H. (2012). Tecnología de la madera. Obtenido de Tecnología de la madera: <https://sites.google.com/site/tecnologiadelamadera/about-me>
- Camac Gomez, R. A. (2012). INFLUENCIA DE LA MEZCLA DE ASERRIN – CEMENTO EN LAS PROPIEDADES DE ABSORCION, HINCHAMIENTO Y A LA FLEXION ESTATICA DE LOS TABLEROS DE Virola spp. INFLUENCIA DE LA MEZCLA DE ASERRIN – CEMENTO EN LAS PROPIEDADES DE ABSORCION, HINCHAMIENTO Y A LA FLEXION ESTATICA DE LOS TABLEROS DE Virola spp. Huancayo, Perú.
- Carhuanambo Villanueva , J. (2016). Propiedades Mecánicas y físicas del adobe compactado con adición de viruta y aserrín . Cajamarca. CONSTRUCT-YOURSELF. (2016, 10 09). La composición de los bloques de arbolita. Obtenido de <http://es.construct-yourself.com/building-materials-and-constructions/construction-materials/the-composition-of-wood-concrete-blocks.html#hh3>
- DecorexPro. (2019). DecorexPro. Obtenido de Bloques de cemento y Aserrín : <https://es.decorexpro.com/blok-haus/iz-cementa-i-opilok/>
- Diaz Curbelo , A., Gento Municio , Á. M., & Marreno Delgado , F. (2017, Diciembre 15). Herramientas para la gestión de riesgos en cadenas de suministro: una revisión de la literatura .
- Eboziegbe Patrick Aigbomian, f. d. (2013). Desarrollo de materiales de construcción Wood-Crete a partir de aserrín y papel usado. Elsevier. E-CONSTRUIR. (2019). MATERIALES AGLUTINANTES O AGLOMERANTES EN LA CONSTRUCCIÓN. Obtenido de MATERIALES AGLUTINANTES O AGLOMERANTES EN LA CONSTRUCCIÓN: <http://e-construir.com/materiales/aglutinantes.html#definicion>
- Fregoso Madueño, J. N., Goche Télles, J. R., Rutiaga Quilones, J. G., Gonzáles

- Laredo, R. F., Bocanegra Salazar, M., & Chávez Simental, J. A. (2016). Usos alternativos de los desechos de la industria del aserrío.
- González Sosa, J. V., & Barbara pingarrón , A. (2008, Septiembre 18). Desarrollo de un material compuesto plastico(PP)-Madera(Aserrín) usando materia prima de reuso. Puebla, México.
- Humberto Balzamo, A. B. (2009, Octubre 09). COMPUESTOS NO-ESTRUCTURALES DE CEMENTOS COMERCIALES. COMPUESTOS NO-ESTRUCTURALES DE CEMENTOS COMERCIALES. Buenos Aires, Argentina .
- Ibañez, C. S., & Rodríguez, Y. K. (2018). Renati. Obtenido de Renati: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/30963>
- Kisito, S., Banana, a., & Ssonko kaboggoza, j. r. (2006). La producción de ladrillos de material compuesto de aserrin con cemento Portland como aglutinante. Uganda Revista de Ciencias Agrícolas - Julio 2006.
- León Soto, C. A. (2010). Concreto (hormigón) cn cemento sol tipo-I de resistencia tempranas con la tecnología " sika viscocrete 20he". Lima, Perú.
- Ludovico Beraldo, A., Rodrigues, M., & Mendes, A. (2020). Compuesto de Aserrín y Cemento. San Pablo, Brasil.
- Máxima Uriarte, J. (2020, 03 10). Madera. Obtenido de <https://www.caracteristicas.co/madera/>
- Mogollon, & Liliana, L. (2015). Evaluacion de residuos solidos generados en la industria del aserrio y su aprovechamiento con alternativas de tecnologías limpias, Iquitos- Loreto – Perú. Iquitos-Loreto.Perú.
- Monteoliva, S. (2009). La madera: propiedades y productos forestales. La madera: propiedades y productos forestales.
- Ochoa L., R., & Flores B. , E. (1994, Diciembre). Quimica del Cemento. Quimica del Cemento. Lima, Perú.
- Olave, J. C. (2017). Renati. Obtenido de Renati: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/10230>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el. (2018). (FAO). LA INDUSTRIA DE LA MADERA EN EL PERÚ. Lima, Lima, Perú.
- Ortega Sánchez , A. D. (2019, junio). Estudios del Comportamiento mecánico de morteros modificados con fibras de aserrín bajo esfuerzos de compresión . Medellin, Colombia.
- Paredes Díaz, J. (2013). IMPORTANCIA DEL AGUA. Obtenido de <https://www.usmp.edu.pe/publicaciones/boletin/fia/info86/articulos/importanciaAgu a.html>

- Polaco Ramírez , S. R., & Quispe Baldeón, L. (s.f.). Aprovechamiento de tereftalato de polietileno (PET) reciclado y residuo aserrín de madera para el desarrollo de un compuesto plástico-madera.
- Regina Carcez, M., Oliveira Machado, A., Oliari Garcez , E., & Alberto Gatto , D. (2018, junio ). Tijoles leves para alvenaria producidos a partir de residuos da indústria madeireira . Brasil .
- Regina Garcez , M., Oliveira Machado, A., Oliari Garcez , E., & Alberto Gatto, D. (2018, Junio ). Ladrillos de mampostería ligera producidos a partir de residuos de la industria maderera.
- Regina Garcez, M., Santos , T., & Gatto Alberto, D. (2013, julio 10). Evaluacion de las propiedades físicas y mecánicas del hormigon pre-moldeado con la adición de aserrado en reemplazo del agreado fino. Evaluacion de las propiedades físicas y mecánicas del hormigon pre-moldeado con la adición de aserrado en reemplazo del agreado fino. Brasil.
- Rivera Solano , W. Á. (Sin Fecha). Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos de Madera. 1-7.
- Rivera Solano, W. Á. (2020). Alternativas de Aprovechamiento de los Residuos de Madera Generados en las Carpinterías: Una Contribución al Cuidado del Medio Ambiente. Perú. SIMACON. (2020). SIMACON. Obtenido de SIMACON: <https://www.simacon.com.ar/about.htm>
- UCP - Pereira. (2016). Residuos sólidos: problema, conceptos básicos y algunas estrategias de solución. Colombia. UMACON. (2017, 03 8). UMACOM. Obtenido de UMACOM: <http://www.umacon.com/noticia.php/es/que-es-el-cemento-portland-tipos-y-caracteristicas/413>
- WOODPRODUCTS. (2020). WOODPRODUCTS. Obtenido de WOODPRODUCTS: <https://www.woodproducts.fi/es/content/propiedades-de-humedad-de-la-madera>
- Yoris , A. I., Quiroga, A. S., Citroni , J. A., & Rintoul, I. (2010). Influencia de los tratamientos de mineralización de la Madera en las Propiedades Mecánicas de los compuestos de Madera-Cemento. Revista Tecnología y Ciencia .