



POLITÉCNICA

Contents lists available at [ESTRUMAT 2.0](https://moodle.upm.es)

Ingeniería Materiales

Journal homepage: <https://moodle.upm.es>



Yeso de bambú

R. Espinoza, J. López, J. Pérez, V. Marugán

E.T.S.I. de Caminos, Canales y puertos, Universidad Politécnica de Madrid, C/ Profesor Aranguren 3, E28040, Madrid, Spain

INFORMACIÓN

Información del Proyecto:

Entrega anteproyecto 24 Febrero 2019

Entrega Proyecto 15 Mayo 2019

Disponible online 27 Mayo 2019

Keywords:

Yeso

Bambú

Propiedades mecánicas

ABSTRACT

El material elegido para la realización del trabajo es la combinación del yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), un material usado en la construcción y con grandes propiedades especialmente aislantes, y el bambú, un material de origen natural abundante en zonas de Asia con una gran flexibilidad y que le aporta una gran resistencia mecánica a la mezcla final. Nuestro objetivo es crear una alternativa más económica y viable que mejore las condiciones de las construcciones de numerosos países, especialmente aquellos en vías de desarrollo donde actualmente la calidad de sus edificios es bastante pobre. Además, muchos de estos estados se encuentran en zonas donde son bastante comunes los terremotos y debido a la estructura de bambú de nuestro material serían bastante más seguros.

© 2019 ESTRUMAT 2.0. All rights reserved.

1. Introducción

El objetivo principal de la práctica es analizar la composición de ambos materiales (yeso y bambú) para utilizarlos juntos en la construcción. Estudiaremos las propiedades de ambos materiales y también como actúan en conjunto para ver las ventajas que podemos obtener de su unión.

El bambú es un material biológico ligero, flexible y resistente además de ser económico. También absorbe la humedad, tiene elevada resistencia y baja densidad.

Por otro lado, el yeso es un excelente aislante térmico y sonoro, tiene carácter plástico, es ligero, ignífugo y blando. Es más económico y adherente que el cemento, pero no es duro y si entra en contacto con el agua vuelve a cristalizar y cambia por completo su estructura.

Se espera obtener un material que pueda ser usado en países medianamente cálidos, ya que el bambú podría absorber parte del agua que afecta al yeso y modificaría su estructura. También probaremos a recubrir el yeso con una pintura impermeable. Obtendremos un material compacto debido a la adherencia del yeso.

El material será más resistente que los materiales por separado. El yeso recubre el bambú para aislarlo de los animales que pueden estropearlo. El bambú aportará resiliencia y flexibilidad. El material se deformará mucho antes de romperse por lo que prestará servicio durante un tiempo relativamente alto para llevar a cabo una nueva respuesta tecnológica. Con este punto conseguimos que no tenga lugar una catástrofe.

Se podrá utilizar en países en vías de desarrollo debido a que es un material muy económico y asequible. La población de bambú se extiende por todo el trópico y es una especie que sobrevive en climas muy diferentes y se puede incluso cultivar ya que crece con rapidez. El yeso por su parte es muy barato y fácil de extraer.

El yeso es un material que provoca mayores deshechos y mayores consecuencias para el medio ambiente pero se ha comprobado que tras la molienda, conserva sus propiedades y puede usarse para la producción de cementos como el Portland. Por su parte el yeso es un

material completamente natural lo que favorece su biodegradabilidad o su posible uso como combustible, evitando así que contamine.

2. Materiales

El material principal de nuestro proyecto es el bambú, el cual se introduce formando una malla en una matriz de yeso.

La principal idea consiste en aprovechar las principales ventajas del yeso, que es un excelente aislante térmico y sonoro, y además mejorar sus propiedades mecánicas añadiendo la malla de bambú, lo cual provoca que se trate de un material mucho más compacto y le agregue numerosas propiedades mecánicas procedentes de la malla de bambú.

Las propiedades del yeso son las principales de un material cerámico, es decir tiene un elevado punto de fusión además de una baja capacidad de deformación, lo que se traduce en que su rotura se produce de forma muy frágil. Su dureza es de 1 a 3 HV según el ensayo Vickers.

En cuanto a las del bambú, diferenciamos dos tipos de esfuerzos, los perpendiculares a la dirección de las fibras (transversales) y los paralelos a las fibras (longitudinales). El material es mucho más resistente a esfuerzos longitudinales (por ejemplo tracción), como queda demostrado en su módulo elástico, que para esfuerzos paralelos a las fibras se encuentra entre 15 y 20 GPa mientras que para esfuerzos perpendiculares está entre 1,5 y 2 GPa (unas 10 veces menos).

En cuanto a las aplicaciones de nuestro material encontramos que su uso principal se concentraría en la construcción, especialmente en interiores, ya que el yeso no tiene la capacidad de resistir en entornos que estén expuestos de forma directa al agua. Este material es excelente para construcciones en la zona del sudeste asiático, debido a la cercanía de la materia prima (bambú) y a la capacidad de dicho material de aguantar las vibraciones producidas por temblores de tierra, los cuales son muy comunes en estas latitudes.

En resumen, el yeso de bambú ofrece una alternativa viable y económica para la construcción en interiores, donde el material está

sometido a grandes esfuerzos, pero sin renunciar a las cualidades del yeso como aislante térmico y sonoro.

3. Caracterización mecánica y microestructural

Para la obtención de los distintos datos necesarios, hemos realizado múltiples experimentos los cuales creíamos necesarios para interpretar si nuestro material era compatible con el uso que pretendíamos darle en la construcción. Con los resultados obtenidos hemos podido interpretar como resistirá las distintas tensiones o inclemencias que va a soportar, por ejemplo, en la pared interior de una casa.

Hemos fabricado probetas formadas por una malla de varillas de bambú que hemos entrecruzado y atado con cuerdas y la hemos introducido en una matriz de Yeso. Para fabricarla hemos vertido agua sobre el molde deseado y hemos añadido yeso espolvoreándolo hasta obtener una masa viscosa. Seguidamente, hemos introducido la malla de bambú y lo hemos dejado secar.

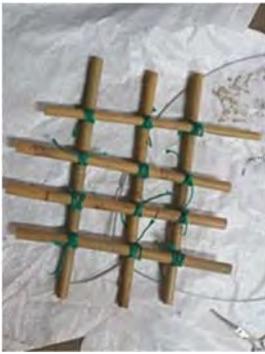


Fig. 1. Malla de bambú



Fig. 2. Yeso fraguado

Los experimentos realizados sobre el material han sido: Ensayo de flexión a tres puntos sobre la probeta y sobre el bambú en distintas condiciones de tamaño y humedad, ensayo de compresión y ensayo de impacto sobre la probeta. Además, sobre el yeso, hemos probado aplicando temperatura, agua y pinturas.

3.1. Ensayo de flexión a tres puntos sobre el bambú en distintas condiciones

3.1.1. Experimento 1: efecto del diámetro de bambú

Para realizar este experimento, hemos contado con varillas de bambú de distintos diámetros y longitudes. Únicamente hemos necesitado objetos de los cuales teníamos un peso medido y exacto (hemos usado sacos que previamente habíamos pesado en una báscula). Para realizar el experimento hemos necesitado dos puntos de apoyo fijos separados una distancia que previamente habíamos medido y una superficie de contacto con unas medidas concretas para concentrar el peso. Otro de los parámetros que hemos usado ha sido la humedad, para ello hemos introducido una varilla de bambú en agua y hemos realizado el mismo ensayo sobre esta.



Fig. 3. Ensayo de flexión en tres puntos

3.1.2. Experimento 2: efecto de la humedad en el bambú

Este experimento consiste en sujetar el bambú por dos puntos de anclaje situados a sus extremos. En el centro del bambú se cuelga un cubo (a través de una cuerda y una brida) al que poco a poco se le va añadiendo agua. A su vez se va midiendo la distancia que flexiona a medida que cuelga sobre él más peso.



Fig. 4. Ensayo de flexión en tres puntos

3.1.3. Ensayo a flexión sobre la probeta

Para realizar este ensayo hemos hecho una probeta formada por bambú y yeso y la hemos colocado entre dos soportes que se encontraban a una distancia previamente medida. Hemos aplicado un peso sobre el centro de la probeta sobre una superficie de contacto medida.

3.2. Ensayo de impacto

Para realizar este ensayo hemos dejado caer la probeta formada por bambú y yeso desde una altura determinada y previamente medida, calculando así la fuerza con la que cae y rompe al golpearse con el suelo.

3.3. Ensayo de compresión

Para realizar el ensayo de compresión hemos necesitado un gato de banco y hemos colocado los distintos tipos de bambús sometidos a distintas condiciones, de forma transversal y longitudinalmente, girando el tornillo de banco hasta fractura.



Fig. 5. Ensayo de compresión con tornillo de banco

3.4. Ensayo de temperatura

Para este ensayo hemos aplicado temperatura sobre uno de los lados de la probeta, midiendo la temperatura a lo largo de un tiempo a ambos lados de la probeta.

3.5. Ensayo de resistencia al agua

Para esto hemos aplicado agua abundante sobre la probeta y hemos esperado para ver el comportamiento de esta colocando papel sobre el otro lado para comprobar su humedad.

3.6. Ensayo con pinturas

Para este ensayo hemos aplicado distintas pinturas sobre el yeso ya que el bambú está incrustado en el yeso. Tras la aplicación de las distintas pinturas hemos realizado experimentos para comprobar si se mejoraban sus propiedades sobre todo su reacción frente a inclemencias meteorológicas tales como el agua o la temperatura.



Fig. 6. Ensayo de temperatura

4. Resultados

4.4. Ensayo de flexión en tres puntos

4.1.1. Experimento 1: distintos diámetros de bambú

Los resultados obtenidos tras el primer experimento se muestran en la siguiente Tabla, donde diferentes diámetros han sido ensayados.

Tabla 1. Ensayo 1: Flexión simple a 3 puntos para diferentes diámetros de bambú

ENSAYO 1: FLEXIÓN SIMPLE A 3 PUNTOS PARA DIFERENTES DIÁMETROS DE BAMBÚ								
PROBETA	Diámetro(mm)	Longitud(m)	Peso 1 (Kg)	Peso 2 (Kg)	MEDIA PESO(Kg)	ERROR(kg)	PESO(KG)	
B1	35	1,8	SON ENOS DE MEDIOS PARA LLEGAR A LA ROTURA (+)					
B2	25	2,1	68	74	71	±3	71±3	
B3	10	1,2	48	53	50,5	±2,5	50,5±2,5	

Algunas definiciones importantes son:

- Momento: magnitud física que cuantifica la capacidad de una fuerza para producir un giro
- Momento flector: suma algebraica de los momentos producidos por todas las fuerzas externas a un mismo lado de la sección respecto a un punto de dicha sección.

$$M = \frac{PL}{4} \tag{1}$$

- Momento de inercia o masa rotacional: tendencia de una masa a producir un movimiento en torno a un eje.

$$I = \frac{\pi D^4}{64} \tag{2}$$

- Esfuerzo máximo: tensión máxima que soporta el material antes de la rotura.

$$\sigma = \frac{8PL}{D^2 \times \pi} \tag{3}$$

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla y figura:

Tabla 2. Momentos flector y e inercia de las muestras ensayadas

PROBETA	Momento flector (kg*m)	Momento de inercia x10 ⁻⁵ (Kg*m ²)	σmax (Pa) x10 ²
B1 (APROX A 300)	135	172	393
B2	37 ± 2	74 ± 6	253 ± 10
B3	15,2 ± 0,75	49 ± 2	154 ± 7

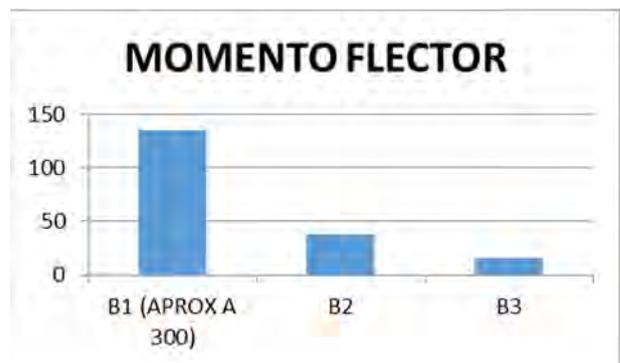


Fig. 7. Momento flector del bambú

El material tiende a romper por los nodos, al ser la zona más rígida del bambú.



Fig. 8. Nodod de una varilla de bambú

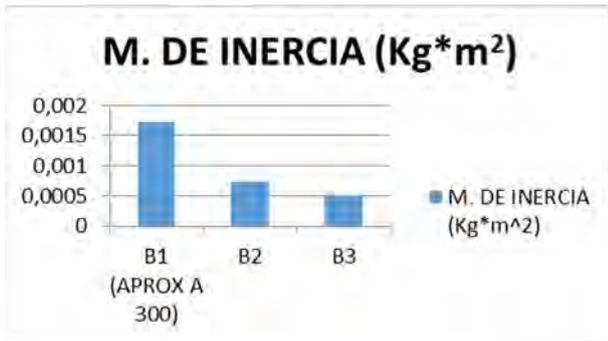


Fig. 9. Momento de inercia

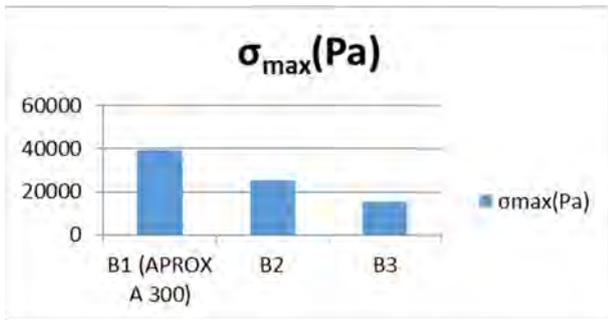


Fig. 10. Tensión máxima sobre el bambú

4.1.2. Experimento 2: efecto de la humedad

Tabla 3. Resultados del ensayo de flexión en tres punto en bambú, estado seco vs húmedo

	masa(g)	presion(MPa)
Bambú seco	21	28,5803333
Bambú húmedo	23	2,36833333

Podemos apreciar además un cambio en el color y el tamaño cuando absorbe agua.

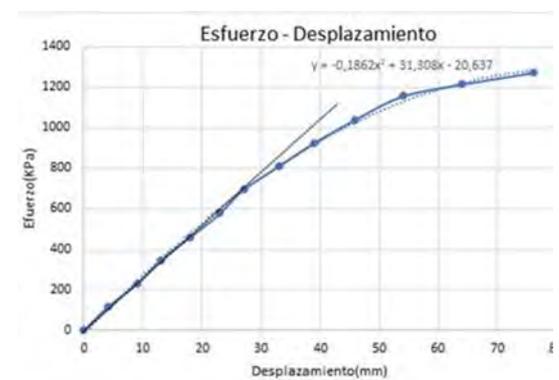
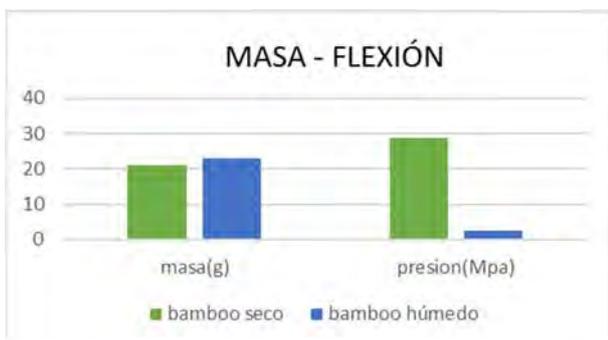


Fig. 13. Gráfico Tension-Desplazamiento para la probeta de bambú húmeda



Fig. 11. Relación masa-flexión

Fig. 12. Bambú seco y húmedo

Las fórmulas empleadas para el cálculo son:

$$F = mxg \tag{4}$$

$$Esfuerzo = \frac{F}{superficie} \tag{5}$$

Siendo $g=9,8m/s^2$ y la Superficie de contacto de la brida con el bambú= $4,5X6\pi = 27\pi$ (teniendo en cuenta que el contacto de la brida con el bambú es de media circunferencia. $Area=\pi r$).

Tabla 4. Ensayo de flexion a tres puntos

masa(kg)	distancia de fuerza(N)	distancia de presion(kpa)		
0	0	0	0	0
1	4	9,8	4	115,534429
2	9	19,6	9	231,068859
3	13	29,4	13	346,603288
4	18	39,2	18	462,137717
5	23	49	23	577,672146
6	27	58,8	27	693,206576
7	33	68,6	33	808,741005
8	39	78,4	39	924,275434
9	46	88,2	46	1039,80986
10	54	98	54	1155,34429
10,5	64	102,9	64	1213,11151
11	76	107,8	76	1270,87872

4.1.3. Ensayo de flexión sobre la probeta compuesta (yeso + bambú)

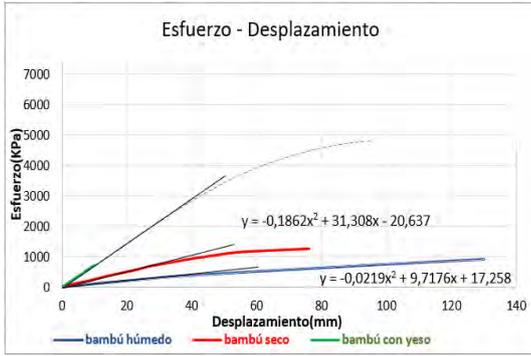


Fig. 14. Gráfico esfuerzo vs desplazamiento para los tres tipos de probetas ensayadas

La grafica de bambú con yeso es es idílica ,ya que con nuestros medios no hemos conseguido romper la probeta a flexión ,pero si sacar algunos datos.

El yeso se comenzó a deformar, pero no llegó a la rotura debido a que la malla de bambú lo sujetaba con fuerza. Se rompieron en cambio los lados y las esquinas, ya que la malla de bambú no llegaba a sujetarlos.



Fig. 15. Probeta tras el ensayo de flexión

4.5. Ensayo de impacto

Tabla 5. Resultados del ensayo de impacto

Resultados	Y		
	Masa(kg)	Distancia a impacto(cm)	Energía absorbida(kj/m2)
Yeso	0,8	10	25
Yeso con bambú	5,7	30	169,27

Se ha calculado la energía absorbida a través de la energía potencial, teniendo en cuenta la altura a la cual se lanza la probeta ,el peso de la misma y su superficie de impacto:

$$Energía\ absorbida = \frac{Ep}{superficie} \tag{6}$$

$$E.potencial = mgh \tag{7}$$

El bambú aumenta considerablemente la compacidad del yeso.

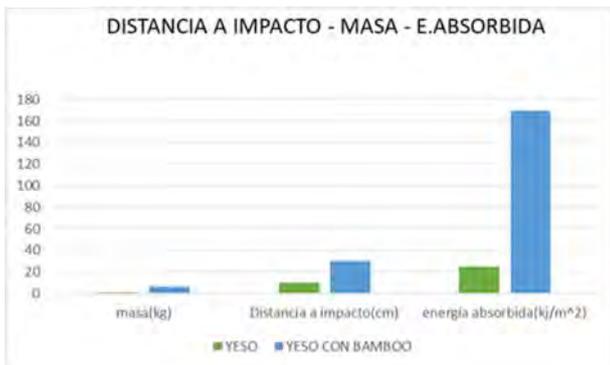


Fig. 16. Relacion de distintos parámetros para el bambú y el yeso

4.6. Ensayo de compresión

4.6.1. Longitudinal

Resiste más a compresión la que más diámetro tiene. En cambio, a medida que disminuye el diámetro podemos ver como aumenta su capacidad de flexión cuando se somete al bambú a un esfuerzo de compresión.

Tabla 6. Resultados del ensayo de compresión

Probeta	Diametro (mm)	Longitud inicial (mm)	Vueltas	Longitud final (mm)
B1	10	17	1/4	11
B2	15	17	3/4	12
B3	35	17	2	16

4.6.2. Transversal:

El bambú apenas tiene resistencia a compresión transversal. Podríamos decir que rompe con facilidad.

4.7. Ensayo de temperatura

El resultado de esta práctica es bastante simple. El yeso resiste perfectamente al aumento de temperatura y al fuego. Los cambios que sufre el material son:

- Un cambio en el color, ya que virará a tonos más oscuros.
- El material cede el agua que tiene en su interior a la atmosfera por lo que a simple vista parece aumentar su compacidad.

4.8. Ensayo de resistencia al agua



Fig. 17. Yeso antes y después de la aplicación de temperatura

El yeso carece totalmente de resistencia al agua. Desde pocos segundos después de comenzar a mojarlo, se desace y queda reducido a granos.



Fig. 18. Resultado de aplicar agua al yeso

4.9. Ensayo con pinturas

Los tres tipos de pinturas se adhieren al yeso con eficacia pero solo cuando está completamente seco. Si el yeso está húmedo la pintura se desprende con facilidad excepto la pintura de aerosol, que se incrusta igualmente, no obstante es recomendable que hechar el aerosol cuando la probeta está seca, para tardar menos en alcanzar el producto final.



Fig. 19. Probetas de yeso pintadas

La pintura con agua para interiores tardó más en secarse, quedando una capa fina. La pintura para exteriores tardó menos en secarse, quedando una capa poco más gruesa y lisa que la pintura para interiores. La pintura de aerosol fue la que menos tiempo tardó en secarse, quedando la capa más fina de todas y menos lisa de todas.

Si a la probeta con pintura de exterior la sometemos a un ensayo con temperaturas a 200 °C la pintura se derrite, pero el yeso queda impoluto. Si a las probetas con aerosol y con pintura de interiores la sometemos a 200 °C no pasa nada.

En cambio, si la sometemos a un ensayo con humedad tanto la pintura como el yeso acabará por deshacerse, en el caso de la de interiores. En la de aerosol y de exteriores no pasa nada.

5. Discusión y conclusiones

5.1. Ensayos de flexión en tres puntos

A medida que aumenta el diámetro y el tamaño del bambú aumenta, el número de fibras que componen la probeta por lo que aumenta también su resistencia a flexión ya que las fibras longitudinales del bambú son las que aportan la resistencia a rotura.

Es necesario analizar el gráfico de esfuerzo-desplazamiento. Podemos ver como en un principio tenemos una flexión lineal donde la flexión crece proporcional al esfuerzo. Cuando el esfuerzo es de 700KPa, la flexión por unidad de esfuerzo decrece. Esto significa que la tensión se empieza a acumular en el material hasta provocar la rotura.

Hemos apreciado que en más de una ocasión la rotura se da en el nodo. Es un punto de concentración de muchas fibras razón por la cual podríamos pensar que es más resistente a flexión. En cambio, al tener más fibras es más rígido y la energía se concentra en ese punto hasta provocar la rotura en vez de flexionarse.

5.1.1. Ensayo de flexión a 3 puntos con diferentes humedades

El bambú húmedo alcanza antes la rotura. Esto se debe a que las fibras están menos compactas y menos rígidas.

El agua dentro de la cavidad celular aumenta y gracias al fenómeno de turgencia aumenta también su tamaño y peso.

5.1.2. Ensayo de flexión a 3 puntos de la probeta de yeso y bambú + ensayo de impacto

No disponíamos de los medios necesarios para romper la probeta, solo se agrietó superficialmente. En cambio se apreciaba como los lados que no estaban reforzados con el bambú se agrietaba. Podemos por tanto deducir que la compacidad y el refuerzo del bambú hacen del yeso un material más resistente a la flexión y a la rotura.

Esto hace que el material antes de que llegue a la rotura muestra signos de error, en vez de producirse una rotura catastrófica. Esto da tiempo de reacción para que otras aplicaciones tecnológicas puedan mantener la infraestructura.

Esta característica es muy importante ya que los materiales cerámicos como el yeso tienen pocos planos de deslizamiento razón por la cual son extremadamente frágiles. Además son materiales que se ven muy influenciados por la porosidad, las grietas y demás defectos superficiales, lineales y puntuales. Los defectos puntuales más típicos son los defectos de Frenkel y Schottky ya que están relacionados con la carga de los aniones y cationes.

Cuando el yeso fragua no podemos controlar el tamaño por lo que si el tamaño de grano es grueso pueden aumentar las tensiones que llevan a la rotura del material.

5.2. Ensayo de compresión del bambú

Con este ensayo hemos podido refutar que a medida que aumenta el diámetro y el tamaño del bambú aumenta su resistencia ya que aumenta el tamaño y la cantidad de sus fibras. Es decir, a medida que aumenta el tamaño del bambú aumenta la fuerza que resiste.

Además podemos ver que las más pequeñas se doblan con más facilidad debido a que son menos rígidas.

La Resistencia longitudinal es mucho más elevada que la transversal debido a que en el ensayo longitudinal la fuerza actúa en la dirección de la fibra, debemos hacer por tanto más fuerza para llegar a la rotura.

5.3. Ensayo de temperatura

Al calentar el yeso pierde el agua por lo que aumenta su compacidad, ya que el agua es un líquido. Al igual que todos los materiales cerámicos al aumentar la temperatura el material se vuelve más cristalino y por tanto más compacto. El material podría tornar a cambiar su estructura de forma termodinámicamente estable y perder poco a poco más moléculas de agua.

5.4. Ensayo de agua

El yeso es un material de construcción cuya fabricación se basa en la deshidratación del CaSO_4 con moléculas de H_2O . Por este motivo cuando añadimos de nuevo agua al material vuelve a su estado original, a menos que tenga una película impermeable o protectora que lo impida.

6. Agradecimientos

A Cerrajería Jofema, por permitirnos el uso de su taller para la realización de nuestros ensayos. A Leroy Merlin, por facilitarnos la búsqueda de bambú. Y, finalmente, a Elena, por ayudarnos con las dudas.

7. Bibliografía

- [1] Hibbeler R, *Mecánica de Materiales*. Tercera Edición. Prentice-Hall Hispanoamericana SA. México D.F., 856 páginas
- [2] Riley W, *Mecánica de Materiales*. Primera Edición. Limusa Wiley. Mexico D. F. 708 páginas

- [3] Mott R. Resistencia de Materiales Aplicada. Tercera Edición. Prectice-Hall Hispanoamericana SA. Mexico D.F., 640 páginas.
- [4] Norton R, Diseño de Máquinas. Primera Edición. Prentice-Hall Hispanoamericana S.A México D.F., 1048 páginas. BEER, Ferdinand.
- [5] Mecánica de materiales. McGraw-Hill. Colombia. 2001 GERE, James. Mecánica de materiales. México. 1998.
- [6] <http://udistrital.edu.co:8080/documents/19625/239908/ENSAYO+DE+FLEXION.pdf?version=1.0>
- [7] http://www.consumer.es/web/es/bricolaje/pintura_y_decoracion/2005/09/21/145438.php
- [8] <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/5507>
- [9] <http://www.bdigital.unal.edu.co/12616/1/ardilapinillacesar.%202013.pdf>
- [10] <http://159.90.80.55/tesis/000172775.pdf>
- [11] https://dfngw79elwra.cloudfront.net/v2-icc-pucv-cl/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual_laboratorio/humedad.pdf
- [12] <http://ef-kalis.blogspot.com/2013/02/practica-7-ensayo-de-traccion.html>
- [13] http://oa.upm.es/11674/2/INVE_MEM_2011_105806.pdf