

**CAPITULO I**  
**ANTECEDENTES**

En las últimas décadas, los sectores de la arquitectura y de la construcción han empleado una gran cantidad de materiales con altos costes medioambientales. Muchas veces, con el objetivo de mejorar las características técnicas de estos materiales, se emplean nuevas sustancias químicas, que suponen un perjuicio tanto para la salud de los habitantes como del medio ambiente. A su vez, cada vez se generan más residuos que, además de ocupar grandes espacios, son contaminantes y no biodegradables. (Arquitectura Sostenible, 2016).

Según el reporte del Banco Mundial, titulado “What a Waste 2.0” (2018), el mundo genera 2100 millones de toneladas de residuos sólidos municipales anualmente registradas el año 2016. Para tener una idea de lo que ésta cifra representa, la misma equivaldría en peso, a más de 14 millones de ballenas azules. En el informe de 2018, que es una actualización de una edición anterior, se proyecta que la rápida urbanización, el crecimiento de la población y el desarrollo económico harán que la cantidad de desechos a nivel mundial aumente 70% en los próximos 30 años y llegue a un volumen asombroso de 3400 millones de toneladas de desechos generados anualmente. (Mundial, 2018)

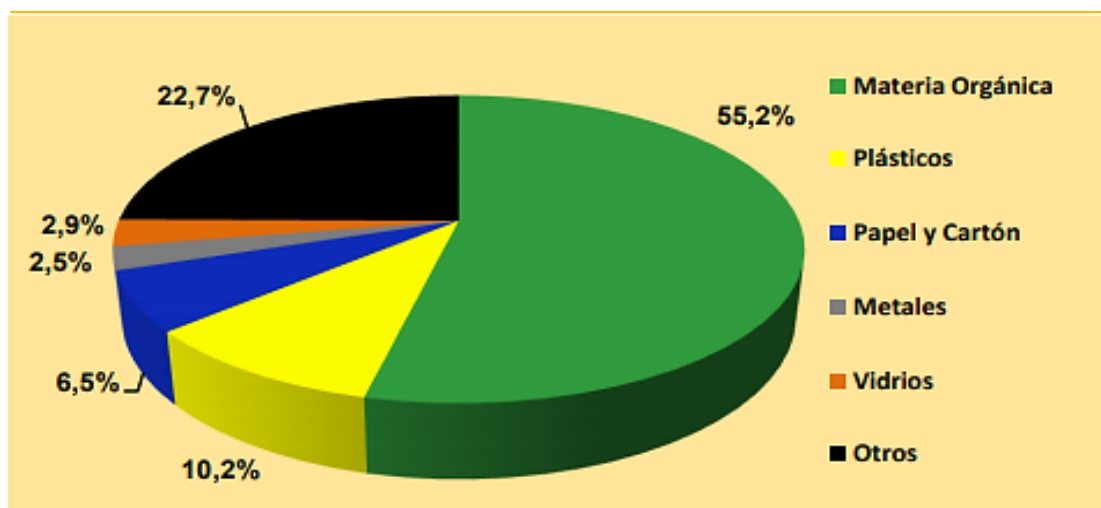
Figura 1.1. Generación de desechos a nivel regional



Fuente: (Mundial, 2018)

En el caso de Bolivia, las cifras también han ido incrementando. Según informes del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, el 2016 Bolivia generaba aproximadamente 2 millones de toneladas de residuos sólidos al año, el equivalente a 5400 toneladas al día. De ésta cifra, según datos del INE (2017), más del 70% provenían exclusivamente de las 9 ciudades capitales y El Alto. (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2011)

Gráfico 1.1.Composición media de los residuos sólidos



Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2011, pág. 70)

Con la información obtenida de la generación de residuos sólidos desmedidos que existe en nuestro medio, se aborda este proyecto de investigación donde se recicla parte de los residuos sólidos como el papel para la elaboración de un material ecológico, alternativa de material para la construcción a partir del reciclaje, con esta alternativa generamos un bajo impacto ambiental y el uso desmedido de los recursos naturales. La investigación se enfoca en la búsqueda de un material sostenible que sea amigable con el ambiente además dar continuidad a investigaciones de materiales compuestos reforzados con fibras.

## **1.1. El problema**

### **1.1.1. Planteamiento**

Los impactos medioambientales del papel sobre el planeta por su utilización de forma poco coherente están causando unos efectos negativos en la naturaleza principalmente derivados de las grandes cantidades de celulosa (materia que proviene de los árboles) que se necesita para su fabricación. El uso del papel es tan habitual en EL día a día que nunca se repara en la gran cantidad de elementos que se malgasta, tanto los usuarios a nivel individual como las empresas que consumen una increíble cantidad de papel.

De esta forma, además de la contaminación que se genera en la fabricación del papel, hay que añadir la que se genera una vez que se utiliza el papel y se desecha, generando parte de los residuos sólidos por la utilización del papel.

El reciclar papel es un sencillo gesto al alcance de todos y que contribuye a la reducción de residuos sólidos, se evita el agotamiento de recursos naturales y se genera un planeta más sostenible. El reciclaje de papel es el proceso de recuperación de papel ya creado o utilizado para transformarlo en nuevos productos de papel, para lo cual una alternativa será el reciclaje del papel para mezclar con el yeso y elaborar un material aplicable en el sector de la construcción.

### **1.1.2. Formulación**

¿Cómo influirán las propiedades mecánicas y físicas entre el yeso y el yeso adicionado con celulosa de papel reciclado para su uso en la elaboración de placas prefabricadas de yeso aplicables en cielo falso?

## **1.2. Objetivos**

Los objetivos planteados en este presente estudio de investigación son los siguientes:

### **1.2.1. General**

Comparar las propiedades de resistencia a la flexión, compresión, densidad, contenido de humedad y capacidad de absorción entre el yeso y el yeso adicionado con celulosa reciclada para un análisis técnico y económico de su aplicación como material alternativo en cielo falso.

### **1.2.2. Específicos**

- Obtener la celulosa mediante el desfibrado del papel.
- Determinar la relación agua-yeso
- Determinar los porcentajes óptimos de celulosa que permitan mantener niveles adecuados de resistencia para su dosificación con el yeso.
- Realizar los ensayos de flexión, compresión, densidad, contenido de humedad y capacidad de absorción.
- Efectuar un análisis técnico de los resultados obtenidos de los ensayos.
- Efectuar una comparación económica del precio unitario de las placas prefabricadas de yeso con celulosa con respecto al precio unitario de las placas prefabricadas únicamente de yeso.

## **1.3. Justificación**

### **1.3.1. Técnica**

Hoy en día la demanda de una construcción ecológica está regulando el sector de la construcción de tal manera que se implementan soluciones que mejoren su comportamiento medioambiental.

La actividad constructora es una gran consumidora de recursos naturales. Del mismo modo, las construcciones finalizadas continúan siendo una causa directa de contaminación. Por esta razón, surgen las investigaciones e innovaciones en la elaboración de materiales ecológicos con bajo impacto ambiental para la construcción. Actualmente en nuestra localidad son pocos los materiales que se reciclan utilizándolos con fines constructivo.

### **1.3.2. Académica**

Aplicar todo el conocimiento previo adquirido durante gran parte de la formación profesional. Para el desarrollo y diseño óptimo de la presente investigación.

### **1.3.3. Social**

- Con la elaboración de las placas prefabricadas de yeso con celulosa se fomenta al reciclaje en la sociedad generando una alternativa del uso de este material en la construcción para cielo falso.
- El uso de las placas prefabricadas de yeso con celulosa reciclada contribuirá en la salud de los habitantes, al ser ecológicos tienden a tener menos toxinas
- Con el uso de materiales ecológicos en las construcciones me genera una forma de vivir mucho más respetuosa e integrada con la naturaleza que nos rodea.

### **1.4. Alcance del proyecto**

- Como alcance principal se destaca el estudio y análisis de placas prefabricadas de yeso con celulosa reciclada para la aplicación en cielo falso, para lo cual se realizaron muestras con distintos porcentajes de celulosa, para determinar las dosificaciones óptimas que permitan mantener niveles adecuados de resistencia.

- Con los resultados obtenidos, se realizó un análisis de sus propiedades físico-mecánicas, un análisis de la cantidad de papel reciclado que se necesita para la elaboración de una placa prefabricada y un análisis comparativo técnico-económico de una placa prefabricada de yeso con celulosa con respecto a una placa prefabricada de yeso existente en el mercado.
- No se realizaron ensayos para determinar la absorción acústica, la conductividad térmica.

#### **1.4.1. Hipótesis**

La inclusión de celulosa de papel reciclado en las placas de yeso en (5%, 10% y 15%) con respecto al peso del yeso aumentará la resistencia a la flexión hasta un 15%, y se obtendrá un material más liviano en un 25% con respecto a las placas prefabricadas de yeso patrón.

#### **1.4.2. Variables.**

##### **1.4.2.1. Variables Independiente**

El porcentaje de celulosa reciclada al (5%, 10% y 15%) en la inclusión de las placas prefabricadas de yeso.

##### **1.4.2.2. Variables dependientes**

Las características físico-mecánicas (resistencia a la flexión, resistencia a la compresión, densidad, contenido de humedad y capacidad de absorción) de las placas prefabricadas de yeso con celulosa reciclada.

#### **1.4.3. Resultados a lograr**

Realizada la investigación se obtuvo la elaboración de placas prefabricadas de yeso con celulosa reciclada para la aplicación en la construcción en cielo falso (alternativa como material ecológico).

## **1.5. Aspectos metodológicos**

### **1.5.1. Tipo de Investigación**

“En la ciencia existen diferentes tipos de investigación y es necesario conocer sus características para saber cuál de ellos se adapta mejor a la investigación que se realizará”. (Borja, 2012, pág. 10)

Considerado los criterios del texto metodología de la investigación de Manual Borja la presente investigación se clasifica en:

### **1.5.2. De acuerdo al fin que se persigue**

De acuerdo al fin que se persigue, se trata de una investigación tecnológica

#### **Investigación tecnológica**

- Tiene como objetivo la solución de problemas prácticos, lo cual implica la intervención o transformación de la propia realidad, que se manifiesta en el diseño de nuevos productos, nuevos procedimientos, nuevos métodos, etc.
- La investigación tecnológica no emplea las habilidades profesionales para la solución de un complicado problema, sino que “establece los procedimientos para el tratamiento.
- Incorpora dentro de su metodología, los procedimientos de control de calidad

### **1.5.2.1. De acuerdo a los datos analizados**

Según la información analizada, la investigación es:

#### **Investigación cuantitativa**

- Plantea que una forma confiable para conocer la realidad es a través de la recolección y análisis de datos, con lo que se podría contestar las preguntas de la investigación y probar las hipótesis.



### **1.5.2.2. De acuerdo a la metodología para demostrar la hipótesis**

De acuerdo a la metodología para demostrar la hipótesis es:

#### **Investigación experimental**

- Es aquella investigación en que la hipótesis se verifica mediante la manipulación “deliberada” por parte del investigador de las variables.
- Esta investigación determinará la relación causa - efecto de un fenómeno físico o social.
- Existen tres requisitos principales para que una investigación sea de tipo experimental:
  - Manipulación intencional de las variables independientes
  - Medición del efecto de la variable independiente
  - Control interno de la situación experimental

### **1.5.3. Método de Investigación**

Teórico hipotético – deductivo

- Consiste en hacer observaciones, formular hipótesis y comprobarlas mediante experimentos controlados.
- Nunca pierde su carácter hipotético y confronta los hechos. De esta confrontación surgirá la refutación de la teoría o bien la corroboración de la misma.

### **1.5.4 Muestra Poblacional**

Una muestra poblacional es un conjunto de elementos que representan al universo total, es decir, son una fracción de la totalidad del número de individuos a ser evaluados.

Para esta investigación se determinó un total de 4 elementos o estratos que conforman las muestras.

Tabla 1.1. Elementos de la muestra

<b>Elementos que conforman la muestra</b>	
<b>Muestra</b>	<b>Estrato</b>
Placas prefabricadas de yeso	1
Placas prefabricadas de yeso con celulosa al 5%	1
Placas prefabricadas de yeso con celulosa al 10%	1
Placas prefabricadas de yeso con celulosa al 15%	1
<b>Número total de estratos</b>	<b>4</b>

Fuente: (Elaboración propia)

### **Tamaño de Muestra**

Para determinar el tamaño de una muestra se deberán tomar en cuenta varios aspectos, relacionados con el parámetro y estimador, el sesgo, el error muestral, el nivel de confianza y la varianza poblacional.

La obtención para el tamaño de la muestra se obtuvo mediante la siguiente fórmula

$$N = \frac{Z^2 \alpha * P * q}{e^2}$$

Donde:

N= tamaño de la muestra para población infinita

Z $\alpha$ =parámetro estadístico que depende del nivel de confianza

e=error de estimación máximo aceptado

p=probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)

q=probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

- Elegimos un grado de confiabilidad del 95% entonces mi valor estandarizado de tablas Z=1.96
- Determinamos el error máximo de acuerdo a tablas del autor Msc. Arabel Moraguez Iglesias

Tabla 1.2. Estimación del error

<b>valores para la estimación del error</b>	
<b>números de estratos (N)</b>	<b>e (error estimado de cálculo)</b>
$3 \leq N \leq 10$	10%
$N > 10$	5%

Fuente: (Morález Iglesias, 2006)

Como se trata de un número de estratos igual a cuatro se asume un error del 10%

- Para la selección de (q) se tiene los siguientes valores del autor Msc. Arabel Moraguez Iglesias

Tabla 1.3. Valores correspondiente a la probabilidad de no ocurrencia

<b>Probabilidad que la población no represente las características</b>	
<b>números de estratos (N)</b>	<b>q probabilidad de no ocurrencia</b>
$3 \leq N \leq 19$	1%
$20 \leq N \leq 29$	(1% - 2%)
$30 \leq N \leq 79$	(2% - 5%)
$80 \leq N \leq 159$	(5% - 10%)
$N \geq 160$	(10% - 20%)

Fuente: (Morález Iglesias, 2006)

Como se trata de cuatro estratos  $q=1\%$

- Para determinar la probabilidad de ocurrencia despejamos de la siguiente formula

$$p + q = 1$$

$$p = 1 - q$$

$$p = 1 - 0.01$$

$$p = 0.99$$

Lo que indica que hay un 99% que represente la población

Remplazando los valores en la ecuación 1 se tiene:

$$N = \frac{1.96^2 * 0.99 * 0.01}{0.1^2}$$

$$N = 3.80 \approx 4$$

Se tiene un total de 4 muestras por estrato

Por otra parte la Norma Boliviana NB-122008 Yesos y Escayolas, Ensayos Físico Mecánicos establece lo siguiente:

### **Ensayo a compresión**

Se ensayan sucesivamente, las seis (6) probetas, aplicando la carga con una velocidad uniforme de 200daN/s y con valores obtenidos, se calcula el promedio de resistencia a la compresión.

La resistencia a compresión será el promedio de las 6 probetas ensayadas en caso de que la resistencia de 1 o 2 de los cubos ensayadas varían más del 15% del promedio se desechan estos valores y se anota la resistencia a compresión como un promedio de los cubos restantes, en caso de que la resistencia de 3 o más cubos varían en más de un 15% del promedio se desecha el resultado y se repite la prueba

### **Ensayo a Flexión**

Se realizará como mínimo dos (2) amasadas diferentes y se preparan tres (3) probetas por cada amasada

Se optó por tomar la norma Boliviana por ser más conservadora y concisa con el número de ensayos y en consenso con el docente guía se optó por duplicar el número de ensayos que establece la norma Boliviana, por lo tanto el número de probetas que se realizara será de 12 muestras por estrato para cada ensayo.

Tabla 1.3. Número total de muestras a ensayar

Característica	Designación	ENSAYOS MECÁNICOS		ENSAYOS FÍSICOS			NÚMERO TOTAL DE MUESTRAS
		Flexión	Compresión	Densidad	Contenido de Humedad	Adsorción	
		Cantidad de Muestras	Cantidad de Muestras	Cantidad de Muestras	Cantidad de Muestras	Cantidad de Muestras	
muestra patrón de yeso	y	12	12	se ensayaron con las muestras recicladas del ensayo a flexión			24
yeso con celulosa al 5%	C-5%	12	12	se ensayaron con las muestras recicladas del ensayo a flexión			24
yeso con celulosa al 10%	C-10%	12	12	se ensayaron con las muestras recicladas del ensayo a flexión			24
yeso con celulosa al 15%	C-15%	12	12	se ensayaron con las muestras recicladas del ensayo a flexión			24
<b>TOTAL</b>							<b>96</b>

Fuente: (Elaboración Propia)

- El número total a realizar será de 96 muestras.

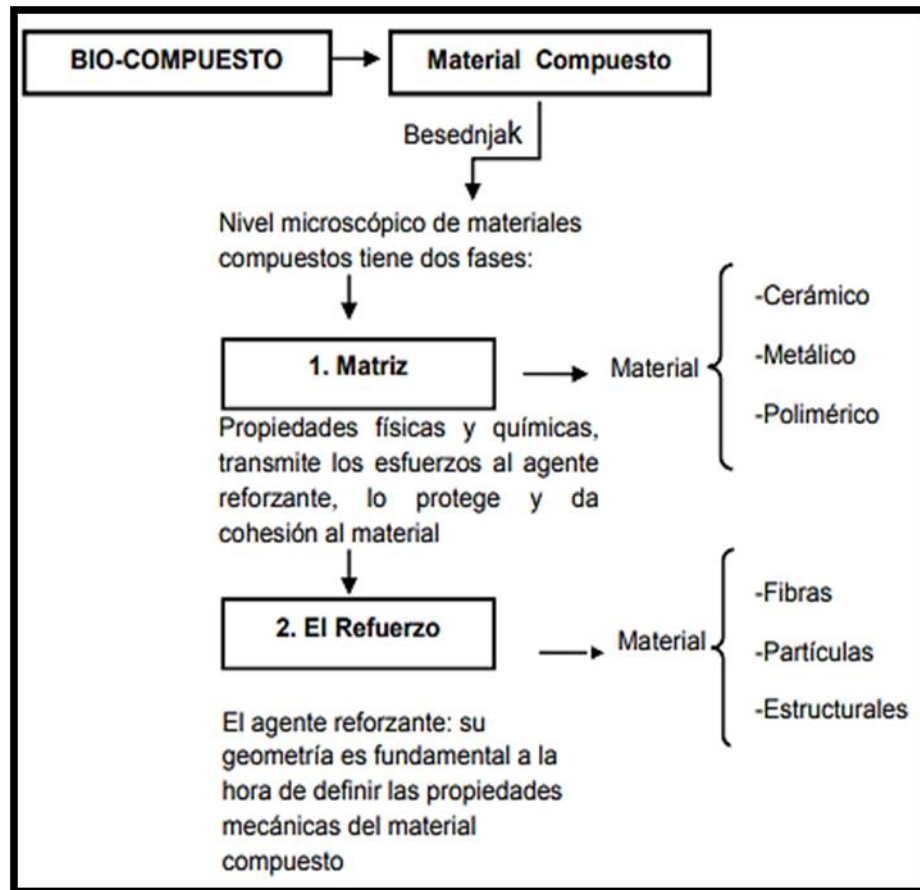
**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

## 2.1. Los Biocompuestos y materiales compuestos

### 2.1.1. Definición

Rodríguez, (2014) El término biocomposito o biocompuesto se refiere a todo material compuesto por una matriz y un reforzamiento de fibras naturales (usualmente derivadas de plantas o celulosa). Los biocompuestos, en algunos casos gracias a mejoras tecnológicas que les brindan propiedades específicas, pueden llegar a soportar altas cargas estructurales, haciéndolos útiles en muchas áreas. Dentro de sus variadas aplicaciones se resaltan actualmente las asociadas a las industrias de la construcción y automotriz. (Sinchire Cartuche, 2017, pág. 18)

Cuadro 2.1 Estructura de los materiales compuestos



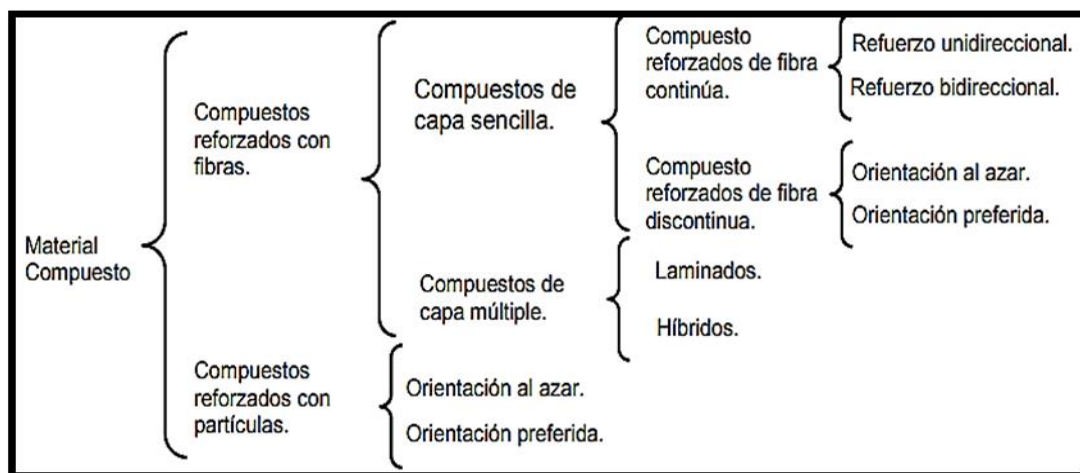
Fuente: (Sinchire Cartuche, 2017, pág. 19)

Según Vinson y Sierakowski, (1987), define a un material compuesto como “la combinación de dos o más materiales para obtener un material nuevo con propiedades específicas”. Los materiales compuestos se componen de dos fases la matriz y el refuerzo cumplen funciones específicas para distribuir las cargas aplicadas, la matriz en la mayoría de casos es de un solo material y constituye la fase continua que transmite los esfuerzos al refuerzo por estar embebida en la misma. Por otro lado el refuerzo es la fase discontinua o dispersa que proporciona al material compuesto propiedades mecánicas al aumentar la resistencia y rigidez. (Sinchire Cartuche, 2017, pág. 19)

### 2.1.2. Clasificación de materiales compuestos

Según Vinson y Sierakowsky, (1987) “La clasificación de los tipos de compuestos está en función de la geometría que describen en su mayoría los refuerzos, sin importar la matriz en la cual están constituidos, o en la relación morfológica de la matriz con el refuerzo”. La clasificación de los materiales compuestos está en función a la geometría del refuerzo que contribuye al mejoramiento de propiedades mecánicas del material compuesto, sin dejar de lado la naturaleza del refuerzo, la dimensión y la disposición dentro de la matriz. (Sinchire Cartuche, 2017, pág. 20)

Cuadro 2.2. Clasificación de materiales compuestos



Fuente: (Sinchire Cartuche, 2017, pág. 20)



### **2.1.3. Los criterios que debe cumplir para que un material sea compuesto**

- La Forma y dimensión del refuerzo determinan las propiedades mecánicas del material compuesto.
- Los refuerzos de partículas por lo general son del mismo tamaño en todas sus direcciones.
- Las formas de los refuerzos pueden ser cualquier geometría regular o irregular.
- El arreglo de las partículas puede ser al azar o con orientación definida, para fines prácticos al azar.
- Los refuerzos de las fibras se caracterizan por su longitud que es mayor a su sección transversal.
- Se pueden utilizar fibras largas o cortas dependiendo el tipo de refuerzo que se busque sea continuo o discontinuo. (Sinchire Cartuche, 2017, pág. 20)

## **2.2. Fibras vegetales**

Como se sabe las fibras de los vegetales en estos últimos años está pasando a ser una clara opción que llama mucho la atención para su aplicación en industrias por su poco costo, tienen un peso liviano y sobretodo que es un material renovable. Estas fibras vegetales se vienen utilizando en diferentes industrias ya sea de calzados, textiles, producción de papeles y hasta en el campo de la construcción. (Tinoco Padilla, 2018, pág. 24)

### **2.2.1. Clasificación de las fibras naturales**

Raymond (1997) realiza una clasificación general de las fibras distribuyéndolas de la siguiente manera:

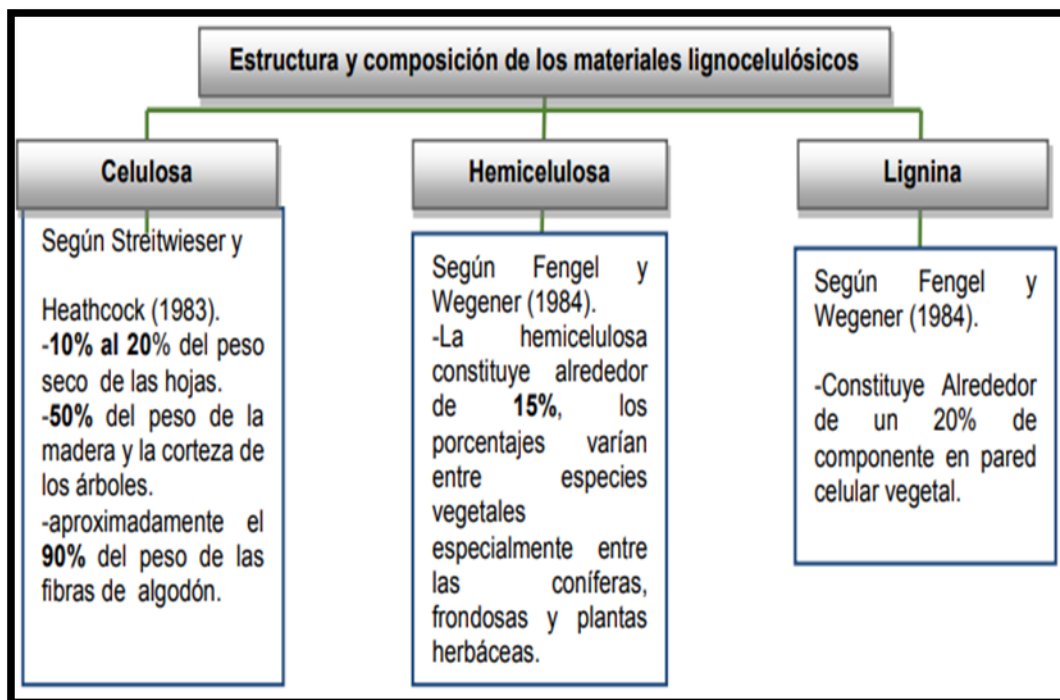
- Hierbas y cañas: fibras provenientes de tallos de plantas monocotiledóneas, por ejemplo: hierbas y paja de trigo, arroz, cebada, entre otras.
- Hojas: fibras que se encuentran a lo largo de hojas de plantas monocotiledóneas, por ejemplo: abacá, sisal, henequén, entre otras.

- Tallos: provenientes de la corteza interna de plantas dicotiledóneas; por ejemplo: lino yute, cáñamo, kenaf, entre otras.
- Semillas e hiladuras de frutos: incluye y también las sedas; por ejemplo: algodón.
- Fibras maderables: fibras de madera dura (angiospermas) y maderas suaves (gimnospermas); por ejemplo.- maple, eucalipto, pino. (Sinchire Cartuche, 2017, pág. 28)

### 2.2.2. Composición química y morfológica de las fibras vegetales

La composición química de las fibras de origen vegetal, están constituidas por tres polímeros estructurales: celulosa, hemicelulosa y lignina, además de algunos compuestos de bajo peso molecular solubles en agua o solventes orgánicos, en mínima cantidad de proteínas y sales minerales. (Rodríguez, 2006)

Cuadro 2.3. Estructura y composición de materiales lignocelulosicos



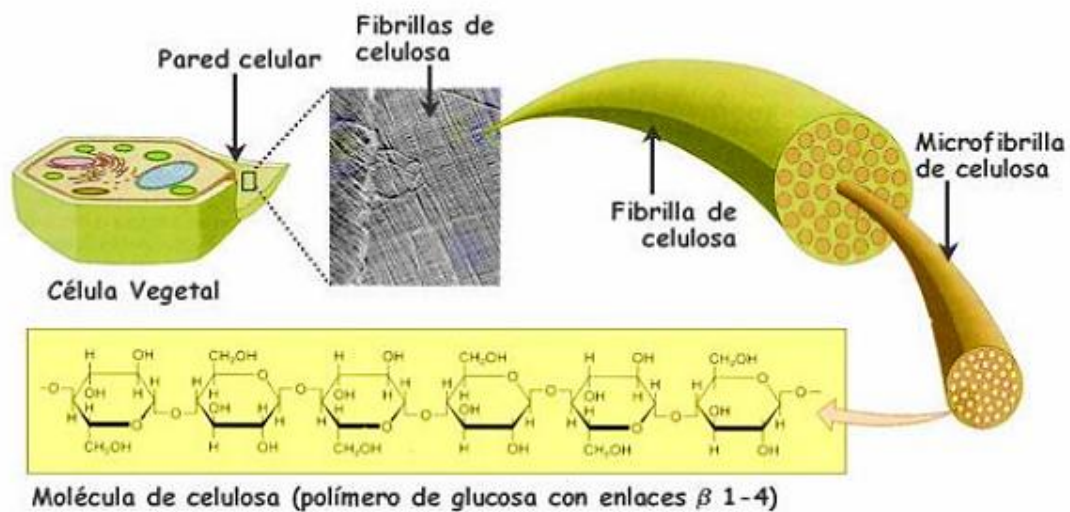
Fuente: (Sinchire Cartuche, 2017, pág. 29)

## 2.3. La celulosa

### 2.3.1. Definición

La celulosa es el principal componente de las paredes celulares de los árboles y otras plantas. Es una fibra vegetal que al ser observada en el microscopio es similar a un cabello humano, cuya longitud y espesor varía según el tipo de árbol o planta. Las fibras de algodón, por ejemplo, tienen una longitud de 20-25 mm., las de Pino 2-3 mm. y las de Eucalipto 0,6-0,8 mm. De igual manera, el contenido de celulosa varía según el tipo de árbol o planta que se considere. (Fernandez Catro, 2005)

Figura 2.1. Estructura de la celulosa.



Fuente: (Espinal Rodriguez, 2016)

La celulosa representa entre un 40 y un 50% de la constitución física del árbol, en “donde las fibras se encuentran unidas entre sí por un compuesto químico complejo llamado lignina que le da la rigidez. La fabricación de la celulosa consiste en separar la fibra de la lignina mediante procesos industriales químicos o mecánicos” (Barriga Caceres & Bernardo Murillo, 2016)

### 2.3.2. Clasificación de las fibras celulósicas

De acuerdo a (Jimenez Muñoz) Las fibras celulósicas se clasifican en:

#### 1) Fibras maderables

**Fibras cortas:** Se obtienen a partir de especies clasificadas como maderas duras (eucalipto) y de algunas especies de frondosas (abedul, chopo, arce o haya); la longitud de las fibras de estos árboles está comprendida entre los 0,75 mm y los 2 mm de largo. (2017, pág. 6)

**Fibras largas:** Derivadas de maderas blandas principalmente coníferas (Pinus y Abies) la longitud de las fibras de estos árboles está comprendida entre los 3 y 5 mm. (2017, pág. 6)

#### 2) Fibras no maderables:

Son originarias de diferentes especies de arbustos. En los países industrializados se utilizan para producir papeles especiales, sin embargo, en otros países son la principal materia prima para la fabricación de papel (en China suponen el 60% de las fibras utilizadas para la producción de papel) (Biermann, 1996; Rodríguez, 2006). Estas fibras Antecedentes presentan un gran potencial de desarrollo para sustituir a las fibras madereras. Las especies más utilizadas son. (2017, pág. 7):

**Algodón:** Cuyas fibras tienen una longitud superior a los 12 mm y se utilizan en la fabricación de papeles finos de escritura.

**Cáñamo:** Con fibras de longitud superior a los 5 mm, procedentes de cordeles viejos y otros desperdicios. Sirven como materia prima para la producción de papel de fumar. Lino: Sus fibras tienen una longitud entre 6 y 60 mm y se usan para fabricar papel moneda.

**Paja de cereales:** Cuyas fibras se utilizan en la producción de envases para huevos, botes y tubos de papel.

**Kenaf:** Las fibras de la corteza son consideradas fibra larga por sus dimensiones, mientras que las fibras leñosas o del tallo son inferiores en longitud 5 mm y diámetro 1mm con respecto a los maderas duros (Pérez et al., 2000). Puede alcanzar rendimientos promedios entre 12 - 25 t de celulosa/ha. Por sus contenidos en celulosa (53%) y relativamente bajos contenidos de lignina (18%).

### **3) Fibras recuperadas:**

Se obtienen a partir de papel y cartón usados y son procesadas para recuperar fibras de celulosa, sin embargo, cabe mencionar que este proceso no se puede repetirse excesivamente ya que las fibras recuperadas pierden resistencia. (2017, pág. 7).

#### **2.3.3. Proceso de Obtención de la Celulosa**

Para Condori Quispe La celulosa se la puede obtener a través de los siguientes procesos:

**a) Químicos:** Se obtiene a partir de un proceso de cocción química de la madera altas temperaturas y presiones, cuyo objetivo es disolver la lignina contenida en la madera con una solución alcalina liberando las fibras. Dependiendo de los aditivos químicos usados en la cocción, existen celulosas químicas kraft y al sulfito, siendo la primera la más utilizada a escala mundial. La celulosa química se caracteriza por tener un rendimiento total relativamente bajo, es decir, sólo entre un 40% y un 60% del material original (madera) queda retenido en el producto final (fibras), el resto (lignina) se disuelve en la solución alcalina para ser posteriormente quemada y generar la energía térmica y eléctrica necesaria en los procesos productivos. Estas celulosas son más resistentes, ya que las fibras quedan intactas, son más fáciles de blanquear y menos propensas a perder sus cualidades en el tiempo. ( 2010, pág. 31)

**b) Mecánico:** Se obtiene a partir de un proceso en el cual la madera es molida y triturada mecánicamente, siendo sometida a altas temperaturas y presiones. Posteriormente la pasta es clasificada, lavada y eventualmente blanqueada. Este proceso requiere un alto consumo de energía eléctrica. La celulosa mecánica se caracteriza por tener un alto rendimiento, normalmente entre un 85% y un 95%, pero la lignina remanente en el producto es susceptible a oxidarse, generando el color amarillo que caracteriza los diarios viejos. Los principales usos de estas celulosas son la fabricación de papel para periódicos y papeles para impresión y escritura de menor calidad. ( 2010, pág. 31)

#### **2.3.4. Ventajas de la Celulosa**

- Al proceder del reciclaje de papel, usa poca energía en su fabricación
- la celulosa es un buen aislante acústico y térmico
- Se amolda a cualquier hueco gracias a su densidad.
- Reduce la aparición de humedades por condensación.
- Mezclada con sales de boro permiten que la celulosa disponga de otras características:
  - Ignífuga: ni se inflama ni propaga el fuego.
  - Insecticida: repele los insectos.
  - Fungicida: evita la aparición de hongos.
  - No genera humos tóxicos. (Ecovip, 2020)

#### **2.3.5. Uso de la Celulosa en la Construcción**

Diversos estudios han determinado que uno de los principales aportes de la celulosa en la construcción es la de funcionar como un aislante térmico y acústico. La celulosa proporciona un aislamiento que combina la protección térmica, acústica, control de condensación y protección al fuego. Es el aislamiento más competitivo del mercado en términos económicos técnicos, debido a que su materia prima es abundante y poco costosa (Barriga Caceres & Bernardo Murillo, 2016)

La celulosa se utiliza como aislamiento térmico acústico en

- Cubiertas,
- Bajo cubiertas,
- Aislamiento de cámaras de tabiquería seca o escayola,
- En falsos techos,
- Aislamiento de estructuras de madera,
- Aislamiento sobre forjados de bovedilla y viguetas
- En general aislamiento en rehabilitación de viviendas y obra nueva. Tanto por el exterior como por el interior. (Ecogreenhome, s.f.)

Figura: 2.2. Aislante térmico y acústico de celulosa proyectado



Fuente: (Evisos, s.f.)

## 2.4. El papel

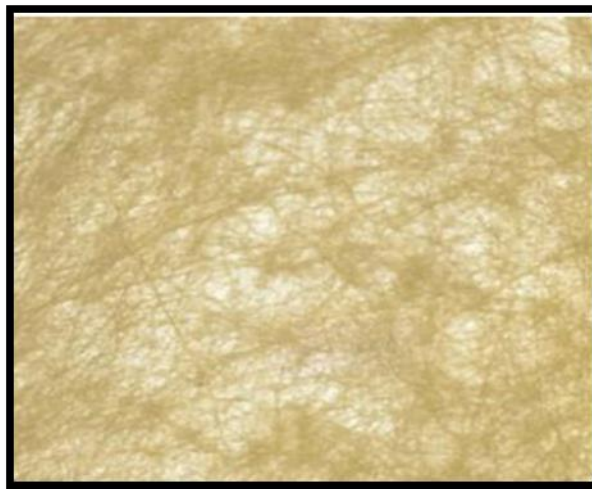
### 2.4.1. Definición

Definir este material es abordar los diferentes puntos de vista de algunos autores que ya han estudiado el término, Asunción nos indica que “el papel es un material constituido principalmente de fibras vegetales ha sido utilizado como una herramienta de comunicación desde épocas remotas y su consumo se ha ido incrementado con el paso del tiempo (Betancourt Gomez, 2014, pág. 22)

Mientras que Pulp & Paper, dice llamamos papel a aquella hoja delgada de la unión física de materiales fibrosos principalmente celulosas previamente hidratadas, esta hoja de papel puede tener las dimensiones y grosores que se desee. Encontramos así una similitud entre los conceptos que se manejan acerca de este material. (Betancourt Gomez, 2014, pág. 22)

Colom por su parte define al papel como una materia prima fibrosa, que se puede malear, dimensionar y trabajar en base al tipo de hoja resultante que queramos obtener” (Betancourt Gomez, 2014, pág. 22).

Figura: 2.3. Vista microscópica de las fibras de papel.



Fuente: (Betancourt Gomez, 2014, pág. 23)



### 2.4.2. Tipos de papel para reciclar

El papel está siempre presente en nuestra vida diaria. Se dice que cada ser humano consumirá 13 árboles en toda su vida por los distintos productos que necesita: el pañal del recién nacido, el papel higiénico, los cuadernos para estudiar, los blocks para dibujar, las agendas para anotar, los libros para leer, los periódicos, en fin, muchos otros. (Betancourt Gomez, 2014, pág. 36).

Para (Betancourt) los papeles con mayor demanda de desechó, son los siguientes:

**Papeles de oficina y escritura:** Como su nombre lo indica, son de uso diario en escuelas, hogar y oficinas; su color usualmente es blanco. El papel típico es el de los cuadernos escolares. Se compone de fibras vegetales blanqueadas, con una configuración y calidad muy superior, hay que señalar el importante impacto ambiental que supone el blanqueo de la pasta de papel con elementos químicos agresivos (Cloro). En la actualidad este tipo de papel está siendo sustituido con éxito por el papel blanco reciclado, que para todo tipo de usos de oficina ofrece idéntica calidad y máximas prestaciones. (2014, pág. 36)

**Papeles de Impresión y Revistas:** Al igual que el periódico, la calidad de este tipo de papel suele ser inferior, aunque por las características de su presentación (cuerpo, satinado, fotos a color, etc.), constituye una categoría superior. Su gran difusión le convierte también en principal objetivo de las campañas de reciclado, sin embargo editoriales, empresas relacionadas con la industria de la impresión y con los medios de comunicación se resisten a utilizar papel reciclado para sus publicaciones. (2014, pág. 36)

**Papel periódico:** Es el tipo de papel utilizado para la impresión de periódicos, está fabricado principalmente sobre la base de papel recuperado o de pasta mecánica. Puede ser blanco o ligeramente coloreado y su gramaje habitual oscila entre los 40 y los 52 g/m<sup>2</sup>, aunque puede llegar a 65 g/m<sup>2</sup>. (2014, pág. 36)

**Cartulinas:** Se emplean para fabricar los envases de pasta dental, perfumes, detergentes, de los cereales para el desayuno, de la leche líquida de larga vida, etc. (2014, pág. 37)

**Cartón:** Es el resultado de aplicar un tratamiento mecánico-químico muy específico al papel, lo que configura su color oscuro y textura tan característicos. A la hora de recuperar y reciclar, este elemento plantea problemas de tan difícil solución, que en ocasiones imposibilitan la recuperación efectiva del mismo. (2014, pág. 37)

## **2.5. Yeso**

### **2.5.1. Definición**

Es el producto resultante de la deshidratación parcial o total del algez o piedra de yeso, reducido a polvo y amasado con agua, recupera el agua de cristalización, endureciéndose.

Se encuentra muy abundante en la naturaleza, en los terrenos sedimentarios, presentándose bajo dos formas: cristalizado, anhidro ( $\text{SO}_4\text{Ca}$ ), llamado anhidrita, y con dos moléculas de agua ( $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), denominado piedra de yeso o algez.

La anhidrita es incolora o blanca, cuando esta pura, y coloreada en azul, gris, amarillo o rojiza, cuando contiene arcillas, óxido de hierro, sílice, etc. Su densidad es igual a 2.46 y dureza igual a 2 en la escala de Mohs. El algez o piedra de yeso se presenta cristalizado, formando rocas muy abundantes. (Alconz Ingala, 2006, pág. 43)

Figura: 2.4. El yeso



Fuente: (Mamani Delgado, 2016, pág. 13)

### 2.5.2. Características del yeso

Las características del yeso de acuerdo a (Mamani Delgado) son las siguientes:

**Natural:** El yeso es un producto, como ya se ha mencionado, obtenido del mineral sulfato cálcico dihidratado ( $CaSO_4 + 2H_2O$ ), que se encuentra en plena naturaleza. Este yeso crudo equivale aproximadamente en su composición al 80% de sulfato cálcico y 20% de agua. Es transparente, incoloro, blanco o gris, de brillo vítreo. Cristaliza en el sistema monoclinico, en cristales de gran tamaño que aparecen a menudo mezclados en punta de flecha.

**Ecológico:** El yeso es uno de los materiales más respetuosos con el medio ambiente, pues, al ser uno producto natural, sus residuos se eliminan con facilidad y se integran totalmente al entorno, no incidiendo de esta manera negativamente en el entorno ecológico cuando regresa a éste.

**Regulador Higrométrico:** Dispone de una gran capacidad para absorber y expeler vapor de agua. Eso hace que se comporte como un regulador de la humedad ambiental en espacios cerrados, estabilizándolos de una forma natural.

**Aislamiento Térmico:** El yeso aplicado en tabiques les confiere una mayor capacidad de aislamiento térmico. Actúa también como atenuante, en gran medida, de los efectos de eco y reverberación para una mejor audición, con ciertas limitaciones. El yeso, a su vez, se complementa con otros materiales para conseguir que este aspecto sea accesorio y realice esta función más apropiadamente. En productos ligeros, como el yeso celular, se alcanzan valores que suponen un alto poder aislamiento térmico. Los yesos con mayor densidad son los que tienen menor poder de aislamiento térmico, aunque presentan valores aceptables con respecto a otros materiales.

**Blancura:** Al ser de color blanco natural, el yeso es el material más adecuado para aplicar cualquier tipo de acabado posterior, tanto si es de color blanco como si se trata de cualquier otro color. Dependiendo del tipo de yeso que se emplee, el color blanco puede variar ligeramente, siendo la escayola la que tiene un blanco más puro.

**Expansión:** El yeso al mezclarse con agua endurece en un periodo de tiempo muy breve, conocido como fraguado del yeso. Se trata de un proceso fisicoquímico. Por lo tanto, esta mezcla debe aplicarse en cierto intervalo de tiempo, antes de que endurezca. Es decir, el yeso tiene un tiempo útil de aplicación sobre las superficies a tratar menos poroso, lógicamente cuanto más poroso sea el yeso menos resistencia mecánica tendrá.

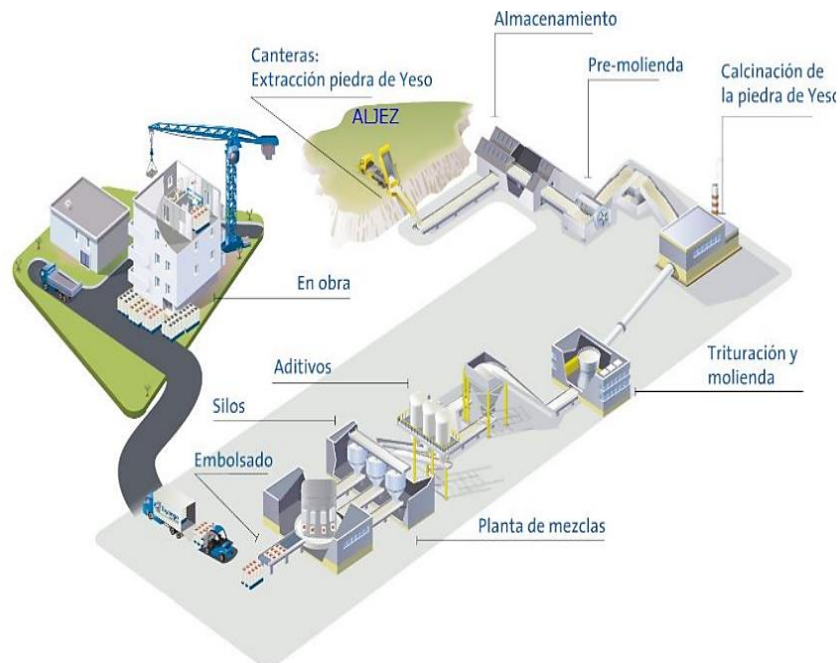
**Comportamiento Acústico:** El yeso presenta cierta capacidad de aislante acústico, pero no la suficiente y necesaria. Incluso aportándole mayor densidad, no reúne las características apropiadas para incomunicar acústicamente. Por ello, es necesario recurrir a prefabricados y materiales combinados para paliar esta necesidad técnica, como pueden ser las placas de yeso celulares con cámara de aire y otros materiales aislantes de baja densidad para que le confieran esta propiedad.

**Cristalización:** La piedra del yeso contiene dos moléculas de agua de cristalización que corresponden a una proporción de una cuarta parte de su peso. Una vez extraída el agua de cristalización, mediante calor y restituyéndose otra vez al amasarlo, la toma rápidamente y cristaliza de nuevo, endureciéndose en cierta rapidez. Esta propiedad puede aplicarse o eliminarse del yeso dependiendo de que se le extraiga más o menos agua de cristalización. De esta forma, se pueden obtener diversas clases de yeso.

### 2.5.3. Fabricación del yeso

El yeso también llamado aljez se extrae de canteras subterráneas o a cielo abierto. Esta materia prima extraída de las canteras, es almacenado, pasa por un proceso de pre-molienda, seguidamente se procede a calcinar la piedra de yeso, vuelve a pasar por un proceso de trituración y molienda, se le añade aditivos dependiendo del tipo de yeso que desean obtener, pasa a una planta de mezclado y es almacenado en silos. Finalmente, el yeso final es embolsado, paletizado (a distintas alturas) y está listo para ser distribuido. (Mamani Delgado, 2016, pág. 14)

Figura: 2.5. Proceso de fabricación del yeso



Fuente: (Saint-Gobain Argentina , s.f.)

#### 2.5.4. Tipos de yeso

El profesor (Rodríguez, s.f.) Clasifica los yesos de acuerdo a la normativa europea y española durante el transcurso de las épocas hasta la actualidad que se observa en las siguientes tablas:

Tabla 2.1. Tipos de yeso según la norma europea.

Antes de 1972	Después del año 1972	En el año 1985
<p><b>Yeso Negro</b> (yeso de granulometría gruesa mezclado con impurezas de combustible)</p>	<p><b>Y-12 Yeso de construcción</b> (yeso denominado negro, moreno o tosco) <b>Y-20</b> <b>Y-25 G</b></p>	<p><b>YG Y YG/L</b></p>
<p><b>Yeso Blanco</b> (yeso con granulometría más fino, la piedra aljez es más puro con un sistema de combustión más controlado)</p>	<p><b>Y-25 F</b> (yeso fino o yeso blanco)</p>	<p><b>YF Y YF/L</b></p>
<p><b>Escayola</b> (yeso de alta pureza con una granulometría muy fina)</p>	<p><b>E-30</b> <b>E-35</b></p>	<p><b>E-30 Y E-30/L</b> <b>E-35 Y E-35/L</b></p>

Fuente: (Rodríguez, s.f.)

Tabla 2.2. Tipos de yeso según la norma española.

DESIGNACIÓN	IDENTIFICACIÓN
Conglomerante a base de yeso: por ejemplo: para su transformación en otros yesos para su empleo directo en la obra para su transformación en piezas prefabricadas a base de yeso	A
yeso para construcción	B
yeso de construcción	B1
mortero de yeso	B2
mortero de yeso y cal	B3
yeso de construcción aligerado	B4
mortero aligerado de yeso	B5
mortero aligerado de yeso y cal	B6
yeso de construcción de alta dureza	B7
yeso para aplicaciones especiales	C
yeso para trabajos con yeso fibroso	C1
yeso para morteros de agarre	C2
yeso acústico	C3
yeso con propiedades de aislamiento térmico	C4
yeso para protección contra fuego	C5
yeso para su aplicación en capa fina	C6

Fuente: (Rodríguez, s.f.)

Tabla 2.3. Equivalencias de los tipos de yeso

1985	NORMA UNE EN 13279-1	USOS
YG Y YG/L	B1 (yeso de construcción)	para pasta de agarre en la ejecución de tabicados en revestimientos interiores guarnecido y como conglomerante auxiliar en obra
YF Y YF/L	C6 (yeso de construcción)	Para enlucidos, refilos o blanqueos sobre revestimientos interiores
YP	A (yeso de construcción)	En la ejecución de elementos prefabricados para tabiques
E-30 Y E-30/L E-35 Y E-35/L	A (yeso de construcción)	En la ejecución de elementos prefabricados para tabiques y techos, en trabajos de decoración y en la puesta en obra de estos elementos

Fuente: (Rodríguez, s.f.)

#### 2.5.4.1. Tipos de yeso en Tarija

Actualmente no se cuenta con una normativa que regule la clasificación o tipos de yeso. En nuestro medio se puede encontrar el yeso en las distintas ferreterías en bolsas de cemento que vienen aproximadamente 20 kilos de 3 tipos que son:

- Yeso blanco
- Yeso plomo
- Yeso rosado

Fotografía: 2.1. Yeso blanco en nuestro medio



Fuente: Fotografía propia

#### 2.5.5. Propiedades del yeso

##### Densidad

El valor medio del yeso en saco variara entre 1.05 a 1.2 gr/c.c. y del yeso colocado depende del agua de amasado como se muestra en la tabla 2.4. (Alconz Ingala, 2006, pág. 46)

Tabla 2.4. Densidad del yeso en función del agua de amasado.

Agua de Amasado/Yeso	Densidad (gr/c.c.)
0,6	1.15
0,7	1.08
0,8	1.00
0,9	0.95
1,0	0.88
1,2	0.75

Fuente: (Alconz Ingala, 2006, pág. 46)



### **Adherencia**

La pasta de yeso presenta buena adherencia con la madera, hormigón, mortero piedra, metales, etc. La adherencia aumentara con la rugosidad y la porosidad. Disminuirá la adherencia con altas relaciones A/Y y también con la humedad. (Alconz Ingala, 2006, pág. 46)

### **Adsorción Acústica**

El revoque de yeso o guarnecido en muros tiene un comportamiento acústico, dependiendo de otros factores, en la tabla 2.4 se muestra la diferencia al ruido en diferentes tipos de muros. (Alconz Ingala, 2006, pág. 46)

Tabla 2.5. Absorción acústica en muros.

TIPO DE PARED	AISLAMIENTO MEDIO AL RUIDO AÉREO ENTRE 100 Y 400 Hz, E db	
	SIN GUARNECIDO	CON GUARNECIDO
Doble tabique de ladrillo, con cámara de aire de 5 cm	36	43,4
Doble tabique de ladrillo hueco, con cámara de aire de 5 cm	41,7	49,3
Muro de ladrillo macizo de 12cm	34	36,7
Tabicón de ladrillo hueco doble y tabique de ladrillo hueco sencillo separados por cámara de aire de 5 cm	32,4	49,0

Fuente: (Alconz Ingala, 2006, pág. 46)

De los diferentes tipos de materiales el yeso tiene un coeficiente de absorción muy bajo como se muestra en la tabla 2.6.

Tabla 2.6. Coeficiente de absorción.

<b>Materiales</b>	<b>Coef. Medio de absorción Acústica</b>
Acero	0.10
Mármol	0.010
Hormigón	0.015
Cemento	0.020
Yeso	0.020
Ladrillo	0.032
Madera	0.030-0.100
Cristal	0.027-0.033
Corcho	0.160
Fieltro de pelo	0.780

Fuente: (Alconz Ingala, 2006, pág. 47)

### **Comportamiento Térmico**

El yeso ejerce como un gran elemento protector contra el fuego, debido principalmente, a su composición química. Tiene una baja conductividad térmica, lo que evita la propagación del calor producido en los incendios. Además, gracias a su contenido en agua combinada, en mayor o menor proporción del yeso hidratado le confiere excelentes propiedades como material de protección pasiva ante el fuego.

Un elemento de yeso fraguado está sometido a una temperatura que se mantiene inalterable durante un determinado periodo, debido a que el agua de cristalización del yeso se elimina absorbiendo calor. Esta deshidratación del yeso comienza en la superficie expuesta al aire libre y continúa gradualmente hacia el interior. (Mamani Delgado, 2016, pág. 17)

Tabla 2.7. Coeficiente térmico.

MATERIALES	COEF.DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (KCALM/M <sup>2</sup> H°C)
Baldosas y azulejos	0,9
Cemento fraguado	0,8
Enlucidos de cal	0,60-0,75
Fibro cemento	0,47
Hormigón armado	1,3
Hormigón ordinario	1,1
Piedras compactadas (arenisca, caliza blanca)	0,68-2,50
Vidrio	0,55
Yesos	0,05-0,60

Fuente: (Alconz Ingala, 2006, pág. 47)

La tabla 2.8. Muestra el espesor mínimo de diferentes materiales, para alcanzar un grado de resistencia al fuego.

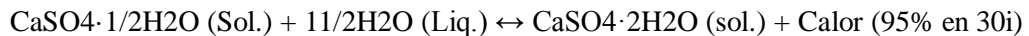
	Espesor mínimo en cm, para alcanzar un grado de resistencia al fuego, en minutos			
	30	40	90	180
<b>Soporte y pilares:</b>				
Mortero de yeso y arena 1:1 sobre malla metálica	1,5	3,0	4,25	...
Mortero de yeso y vermiculita, 1:4 sobre malla metálica	1,75	2,5	3,25	5,25
Mortero de yeso o perlita o anhidrita y perlita, 1:2 a 1:2,5 sobre malla metálica	1,25	2,0	3,0	5,75
Capa de yeso vertido	....	2,0	3,0	4,0
<b>Viguetas de fachadas:</b>				
Mortero de vermiculita y yeso sobre malla metálica	1,0	1,5	1,5	2,5
Mortero de perlita y yeso sobre malla metálica	1,0	1,5	2,0	2,5
Yeso armado con fibra de vidrio sobre malla metálica	1,0	1,5	2,0	2,5
<b>Jácnas y vigas:</b>				
Mortero de yeso y arena sobre malla metálica	1,0	2,5	4,0	....
Mortero de yeso y vermiculita sobre malla metálica	1,5	2,0	3,0	5,0
Mortero de yeso, o anhidrita y perlita, sobre malla metálica	1,0	2,0	3,0	5,0
Placas de yeso	0,75	3,0	5,0	....

Fuente: (Alconz Ingala, 2006, pág. 49)

## **Fraguado**

Una de las propiedades del yeso es la rapidez del fraguado, esto obliga al operario a trabajar con rapidez y únicamente permite amasar de una vez pequeñas cantidades, puesto que de otro modo se obtiene pérdidas del material. La velocidad del fraguado del yeso puede regularse por la adición de acelerantes (cloruro de sodio o sal, cloruro de magnesio, sulfato de potasio, nitrato potásico) o retardadores (cloruro de calcio, cola queratina, agua caliente, bórax, fosfato sódico y azúcar), pero se sabe que determinados factores físicos ejercen también cierto influjo sobre la duración del fraguado, debemos mencionar la temperatura del agua, la relación yeso-agua, tiempo transcurrido desde la cocción, tamaño de las partículas, etc. (Alconz Ingala, 2006, pág. 54)

### Fraguado del Yeso



El tiempo de fragüe se lo determina mediante la aguja de Vicat. Entonces, podemos definir los factores que influyen en el fraguado:

- Cantidad de fases
- Cantidad de agua de amasado
- Temperatura
- Tiempo de amasado
- Tamaño de grano
- Aditivos

$$\text{Duración} = \text{F. Fr.} - \text{P.Fr.}$$

Donde:

P.Fr. Principio de fraguado y F.Fr. Final de fraguado

Figura: 2.6. Aparato de vicat

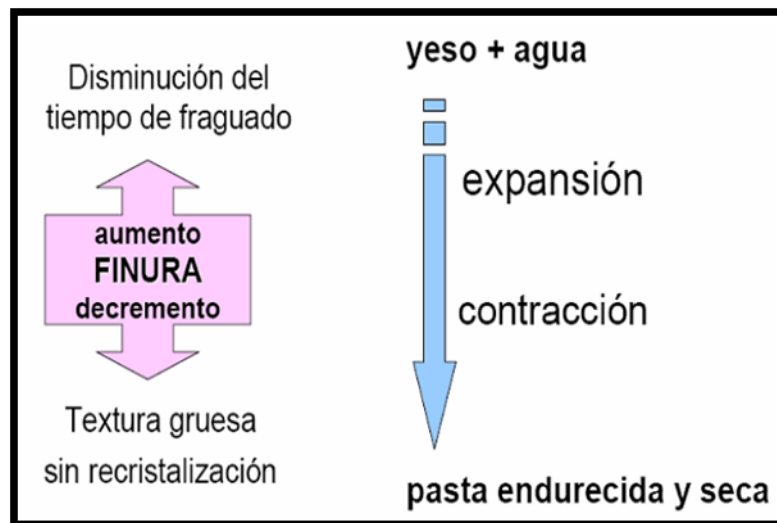


Fuente: (Cotecno, s.f.)

### Finura de molido

La finura de molido del yeso es muy importante (figura 2.9) debido a que este se relaciona con el tiempo de fraguado, expansión y contracción en la pasta endurecida. (Alconz Ingala, 2006, pág. 56)

Figura: 2.7. Relación finura de molido-fraguado-agua-expansión



Fuente: (Alconz Ingala, 2006, pág. 49)

### Dureza

Se ubica en la posición 2 de la escala de Mohs. (Puede ser rayado con la uña).

Este ensayo esta normalizado en la s/UNE 102039:85, la dureza superficial está muy influenciada por; Tipo de yeso, agua de amasado, humedad espesor y otro. Es muy importante diferenciar dureza al rayado, dureza a la penetración y dureza shore.

La dureza Shore C está muy influenciada por la relación A/Y, a mayor cantidad de agua yeso la dureza Shore C irá decreciendo como se muestra en la gráfica 2.1.

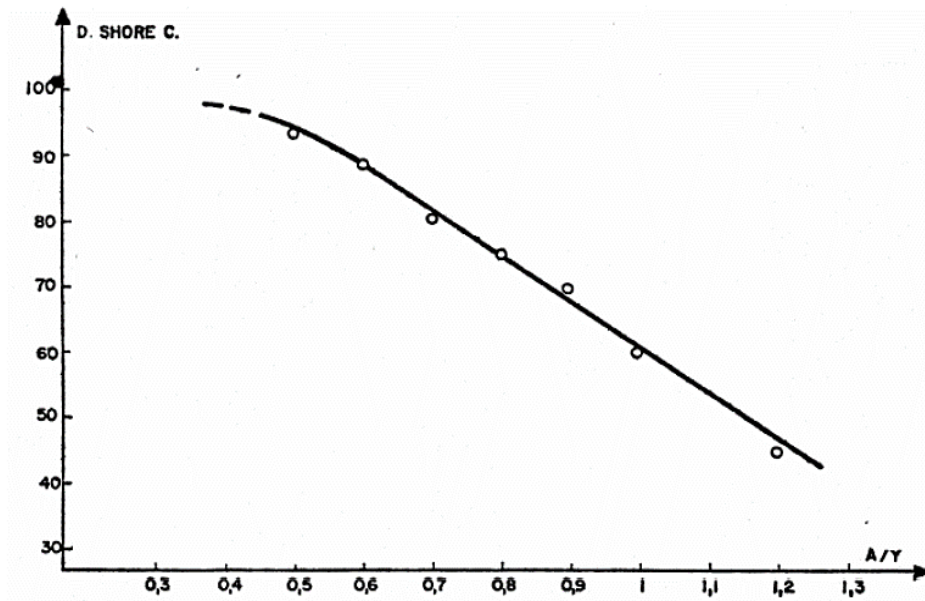
(Alconz Ingala, 2006, pág. 59)

Tabla 2.9. Dureza de minerales según la escala de Mohs.

Nro.	Material
1	Talco
2	Yeso
3	Calcita
4	Fluorita
5	Riebeckia
6	Egirina
7	Cuarzo
8	Tapacio
9	Corindon
10	Diamante

Fuente: (Mamani Delgado, 2016, pág. 21)

Gráfico: 2.1. Influencia del agua de amasado sobre la dureza Shore c

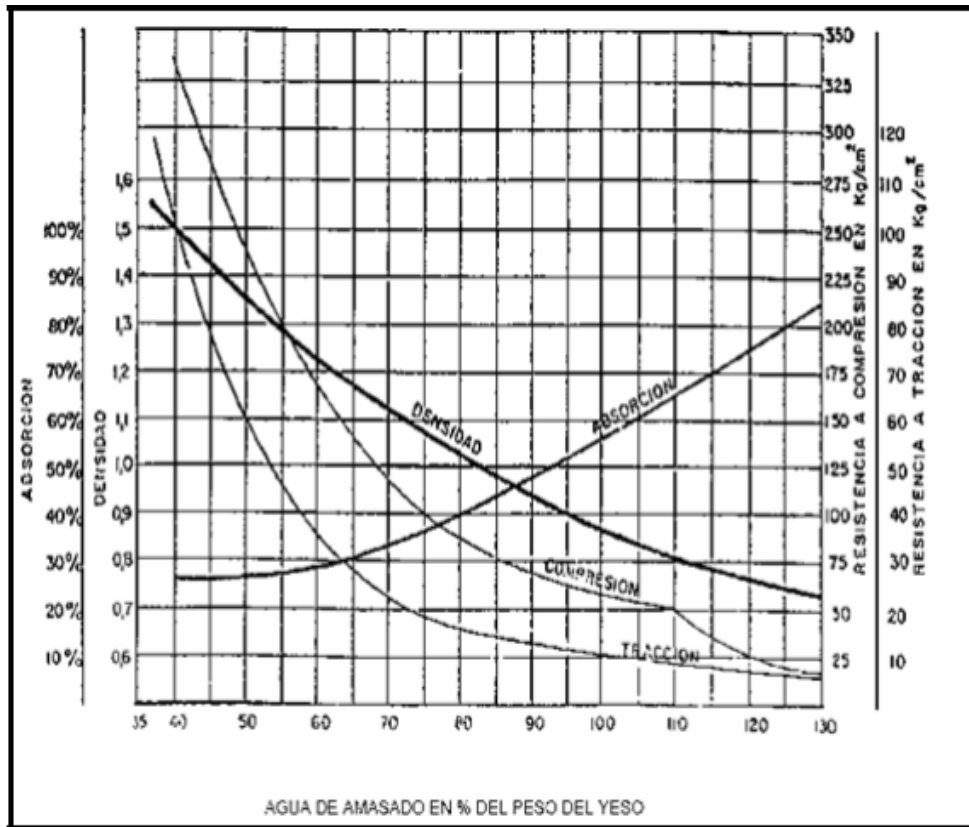


Fuente: (Alconz Ingala, 2006, pág. 60)

### Resistencia

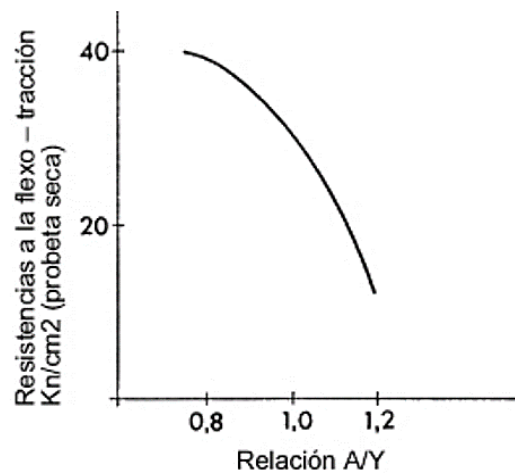
La resistencia a la tracción y compresión de los yesos dependerá de su naturaleza, de su composición, de su finura, de la cantidad de agua en su amasado y del contenido de humedad en su rotura. La parte de agua que hay que añadir al yeso para que pueda ser trabajado y aplicado, y que no tiene intervención en el proceso de hidratación, permanece en el material hasta que se producen las condiciones de su evaporación. Al secarse la pasta, el espacio que ocupa el agua queda vacío, quedando el yeso más o menos poroso, lógicamente cuanto más poroso sea el yeso menos resistencia mecánica tendrá. (Mamani Delgado, 2016, pág. 18)

Grafico 2.2. Relación entre las propiedades y el agua de amasado.



Fuente: (Alconz Ingala, 2006)

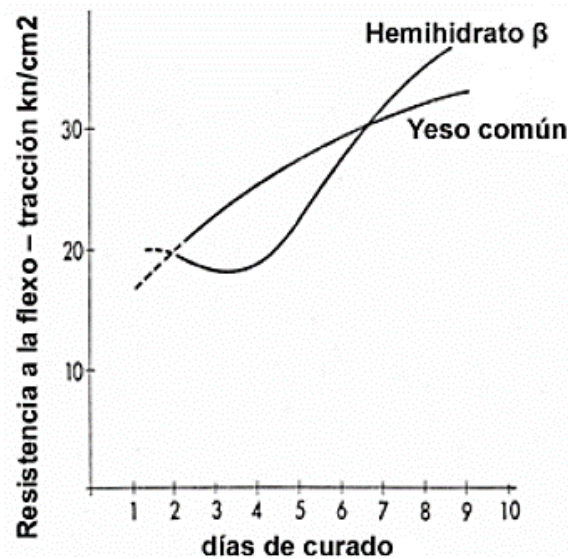
Gráfico: 2.3. Resistencia flexo-tracción vs. A/Y





Fuente: (Alconz Ingala, 2006)

Gráfico: 2.4. Resistencia flexo tracción vs. Días de curado



Fuente: (Alconz Ingala, 2006)

### 2.5.6. Aplicaciones del yeso

Las aplicaciones del yeso son múltiples, (Alconz Ingala, 2006) entre las más destacadas se puede citar las siguientes:

- Revoque maestreado de paramentos interiores y techo
- Enlucido como terminación o remate de guarnecidos o morteros.
- Tabiques de placas de yeso, muros y tabiques exteriores
- Tabiques de paneles de yeso, techos continuos
- Trabajos de decoración, elementos prefabricados para techos y su ejecución.

## **2.6. Normativas**

Para los respectivos ensayos de laboratorio y elaboración de muestras se tomarán en cuenta guías, normas nacionales y normas internacionales. Actualmente en nuestro país Bolivia no se cuenta con estándares ni normativa que regularicen la elaboración de placas prefabricadas de yeso.

### **Ensayo a compresión**

- Norma Boliviana NB-122008 Yesos y Escayolas, Ensayos Físico Mecánicos.
- Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura materiales de construcción (guía de las prácticas de campo norma de calidad) de la U.M.S.S.

### **Ensayo a flexión**

- Norma ASTM C 473-003 Métodos de prueba Estándar para Pruebas Físicas de Paneles de Yeso
- Norma ASTM C1396/C1396M-00 especificaciones estándar para paneles de yeso
- Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura materiales de construcción (guía de las prácticas de campo norma de calidad) de la U.M.S.S.

### **Ensayo de resistencia al fuego**

- Norma ASTM E184-00 Método de Prueba Estándar para Características de Quema de Superficie de Materiales de Construcción.
- Norma ACI 216.1-97 Método Normalizado para Determinar la Resistencia al Fuego de las Construcciones de Hormigón y Mampostería.
- Norma Española UNE-UN 1363-1 Ensayos de Resistencias al Fuego.

### **Ensayo de densidad y contenido de humedad**

- Manual de la ABC Ensayos de Suelos y Materiales Hormigones
- Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura materiales de construcción (guía de las prácticas de campo norma de calidad) de la U.M.S.S.

**CAPÍTULO III**  
**DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

### 3.1. ELABORACIÓN DE LOS MOLDES

#### 3.1.1 Moldes para ensayo a flexión

Para la elaboración de los moldes se realizó de acuerdo a la normativa **ASTM C 473** Métodos de prueba

El cual nos indica que los soportes de la muestra deben estar espaciados  $14 \pm 0.016$  in. ( $356 \pm 0.41$  mm) en centros medidos en los puntos de contacto superficial con el muestra y los soportes deben tener no menos de 12 pulg. (305 mm) de longitud.

Para el espesor el espesor de la muestra se realizó en conformidad a la normativa **ASTM C1396/C1396M-00** especificaciones estándar para paneles de yeso tomando en cuenta la tabla 3.1 que establece la normativa

Tabla 3.1. Espesor del panel y carga de rotura para el ensayo a flexión

<b>Método B</b>		
Espesor en (mm)	Carga, lbf [N] Bordes del rodamiento a través de la fibra de Superficie	Carga, lbf [N] Bordes del rodamiento paralelos a la fibra de superficie
1/2 [ 12,7]	107 [476]	36 [160]

Fuente: (ASTM C1396/C1396M-00, 2017)

Resumiendo lo establecido por la normativa que indica las siguientes dimensiones que debe tener la muestra para el ensayo:

Longitud:  $350 \pm 0.41$  mm

Ancho: 300 mm

Espesor: 12.7 mm

Establecida las dimensiones de la normativa se analiza que las dimensiones de la muestra se asemejan a la forma de un cuadrado, sin embargo la prensa con la que se cuenta en laboratorio de hormigones nos permite realizar ensayos con muestras para una ancho de 150 mm que sería el ancho del rodillo donde se apoya la muestra como así también la dimensión de la longitud de la carga, por lo que la muestras serian con una forma más rectangular con el fin de analizar y observar el comportamiento de una muestra mucho más rectangular con respecto a otra muestra se realizó un previo ensayo a flexión con 2 dimensiones distintas como se observa en la tabla 3.2:

Tabla 3.2. Dimensiones de las muestras

Muestra 1			Muestra 2		
L (mm)	A (mm)	Espesor (mm)	L (mm)	A (mm)	Espesor (mm)
360	150	15	500	150	15

Fuente: Elaboración propia

Se adoptó un espesor de 15 mm por motivos constructivos, ya que para la elaboración de los moldes se utilizó un perfil L de 15x15x2 mm que permite realizar el armado del molde, al ser rígido y con una estructura plana ideal para el vaciado de las muestras y se adoptó una longitud constructiva de 360 mm y 500 mm.

Fotografía 3.1. Moldes para el vaciado de las muestras



Fuente: fotografía propia

Una vez realizado el ensayo con las dos muestras de distintas dimensiones se observa y se analiza los resultados llegando a la conclusión que no existe una gran diferencia en cuanto a su comportamiento y momento de ruptura frágil en ambas muestras y llegando a obtener por la muestra de menor dimensión una carga promedio de rotura de 70 kg y por la muestra de mayor dimensión una carga de 50 kg.

Fotografía 3.2. Ensayo a flexión en laboratorio



Fuente: fotografía propia

Fotografía 3.3. Muestras ensayadas a flexión



Fuente: Fotografía propia

En función al previo ensayo que se realizó y la normativa ASTM se definió las dimensiones definitivas de las muestras por lo tanto las dimensiones del molde serán las siguientes:

Longitud: 360 mm

Ancho: 150 mm

Espesor: 15 mm

Fotografía 3.4. Moldes con las dimensiones definitivas



Fuente: Fotografía propia

### **3.1.2 Moldes para ensayo a compresión**

Para los ensayos a compresión se realizó bajo la norma Norma Boliviana-122008 yesos y escayolas ensayos físicos mecánicos, que establece que las muestras tienen aristas de 50 mm formando un cubo. Para la construcción del molde se usó de madera formando varios cubos en un solo molde de manera que al momento del vaciado del yeso con la celulosa se formen varios cubos. Las dimensiones de la muestra serán las siguientes:

Longitud: 50 mm

Ancho: 50 mm

Altura: 50 mm

Fotografía 3.5. Molde de madera para el ensayo de compresión

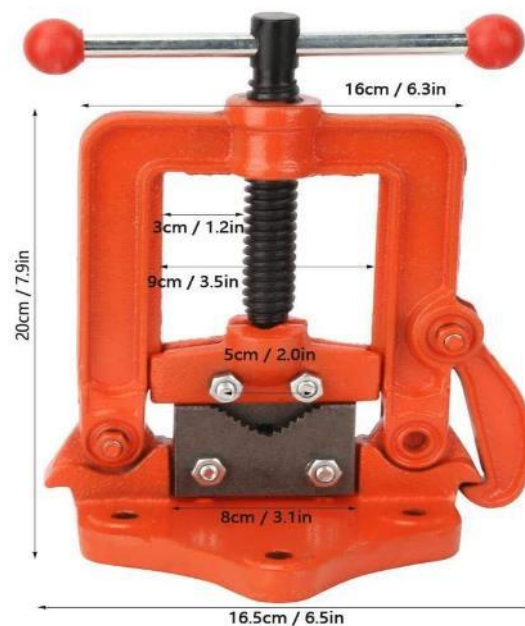


Fuente: Fotografía propia

### 3.2. Construcción de la prensa mecánica

Para el prensado de las placas prefabricada de yeso con celulosa se construyó una prensa mecánica manual para el prensado de las muestras ya que la celulosa es un material esponjoso que necesita aplicar una fuerza de compresión con el fin de disminuir los espacio vacíos que afectan en la resistencia del material.

Figura 3.1. Prensa mecánica



Fuente: (Mundo Herramientas, s.f.)



Para la construcción se utilizó materiales que se encontraban a nuestro alcance como:

- Una prensa mecánica que se utiliza para sujetar tubería u otro material más conocido como tornillo de banco giratorio
- 2 tubos de fierro galvanizado de diámetro de 1/2 pulg.
- Un listón de madera
- Tornillos para fijar y sujetar la prensa con los tubos y el listón
- 2 maderas cepilladas de 800 x 200 mm y una altura de 500 mm

Para el funcionamiento como prensa se quitó las quijadas mordientes o muelas para poder ejercer una presión de compresión

Fotografía 3.6. Armado de la prensa mecánica con los tubos galvanizados



Fuente: Fotografía propia

Fotografía 3.7. Prensa mecánica armada y colocada en el sitio



Fuente: Fotografía propia

### 3.3. Obtención de la celulosa de papel reciclado

#### 3.3.1. Preparación del papel reciclado

Primeramente se procedió al reciclaje de papel para ello se acudió a distintas fotocopiadoras que se encuentran alrededor de la U.A.J.M.S que generan y acumulan cantidades de papel en desuso.

Una vez obtenido una gran cantidad de papel reciclado se procedió a almacenar en un tinaco cerrado con el fin de evitar el contacto con agentes que puedan dañar el papel reciclado.

Seguidamente se procedió a la clasificación del papel reciclado de forma manual, tomando como preferencia el papel de hojas bond y separando que no contengan grampas, cintas, plásticos, objetos metálicos, etc.

Fotografía 3.8. Clasificación del papel reciclado



Fuente: Fotografía propia

### 3.3.2. Proceso de saturación del papel reciclado en agua

Una vez clasificado el papel se procedió a realizar recortes de menor tamaño para su posterior proceso de saturación, para esto el papel reciclado se introdujo en tanques con agua.

Fotografía 3.9. Recortes del papel reciclado introducido en un tanque



Fuente: Fotografía propia

Durante siete días se tuvo el papel en contacto con el agua reemplazando cada 3 días por agua limpia y realizando agitaciones en intervalos de tiempo todo esto se lo hizo con el fin de retirar las impurezas debido a la generación de residuos de tintas, químico del papel entre otros y acelerar el proceso de desfibrado.

Fotografía 3.10. Proceso de saturación del papel reciclado



Fuente: Fotografía propia

### 3.3.3. Desfibrado del papel reciclado

se comenzó retirando todo el agua que contenían los tanques posteriormente con el papel saturado se utilizó telas de lienzo para exprimir la mayor cantidad de agua del papel reciclado dejando en un estado de consistencia plástica y finalmente para obtener la celulosa se intentó varios métodos de desfibrado de los cuales algunos no fueron factibles debido a la calidad y el tiempo que se requería finalmente se optó por utilizar una maquina cortadora la cual trituraba pulverizando el papel en forma de fibras, con este método se evidencio que fue muy factible ya que ahorrraba tiempo, requería menor esfuerzo como así una mejor calidad al momento obtener el desfibrada o celulosa del papel reciclado.

Fotografía 3.11. Proceso de desfibrado



Fuente: Fotografía propia

Fotografía 3.12. Celulosa obtenida del papel reciclado



Fuente: Fotografía propia

### 3.3.4. Secado de las fibras de celulosa

Para el sacado de la celulosa se extendió en carpas, esparciendo la mayor cantidad de fibras de celulosa. Para el control del secado se tomó una muestra registrando su peso húmedo, hasta obtener un registro de un peso constante lo que indicaría que la celulosa estaría en un estado seco.

El tiempo de secado varía en función del temperatura con la que se tiene a mayor temperatura el proceso de secado de la celulosa será más rápido.

Fotografía 3.13. Esparcido de la celulosa



Fuente: Fotografía propia

Fotografía 3.14. Proceso de secado de la celulosa



Fuente: Fotografía propia

### 3.4. Dosificación de las muestras

La dosificación correcta consiste en encontrar las cantidades de los componentes óptimos que permitan producir una muestra cumpliendo con las condiciones de resistencia, durabilidad, economía.

#### 3.4.1. Determinación de la relación agua yeso

Para la determinación de la relación agua yeso se estableció en base a las gráficas 2.2 y 2.3 de resistencia a tracción, compresión y flexión del texto de la U.M.S.S material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura materiales de construcción, donde se observa que para obtener un máxima resistencia la relación agua yeso debe ser de 40% en base a estas tablas de resistencia y los ensayos de experimentación de trabajabilidad se concluye:

Tabla 3.3. Relación Agua Yeso vs. Trabajabilidad

Relación Agua-Yeso	
Relación a/y	Observación
40%	Mezcla no trabajable
45%	Mezcla poco trabajable
50%	Mezcla trabajable
55%	Mezcla trabajable
60%	Mezcla trabajable
65%	Mezcla trabajable
70%	Mezcla trabajable

Fuente: Elaboración propia

Por consiguiente, para el desarrollo del presente trabajo, se adopta un valor constante para la elaboración de todas las muestras de **50%** como cantidad de agua de amasado para el yeso, con el fin de obtener una masa plástica con la mayor resistencia.

### 3.4.2. Determinación de la capacidad de la absorción de la celulosa

Como primer paso se determinó la capacidad de absorción de agua de la celulosa de papel, a fin de evitar, que durante la mezcla de componentes, absorba parte del agua destinada a la hidratación del yeso. La capacidad de absorción de agua de la celulosa de papel se define como el cociente entre el peso de agua que absorbe y su propio peso cuando está seco. Se expresa en tanto por ciento, según esta definición:

$$Abs(\%) = \frac{(P_{saturado} - P_{seco})}{P_{seco}} \times 100$$

Donde:

Abs: Capacidad de absorción de agua de la celulosa de papel (%)

Pasturado: Peso de la celulosa saturada de agua (gr).

Pseco: Peso seco de la celulosa (gr).

Fotografía 3.15. Peso saturado de la celulosa



Fuente: Fotografía propia

Para calcular el promedio de la capacidad de absorción de la celulosa se determinó el tamaño de la muestra como se indica en el anexo A, teniendo como resultado el ensayo de 16 muestras para calcular la media muestral de la capacidad de absorción de la celulosa.

Tabla 3.4. Capacidad de absorción de la celulosa

Muestra	Peso Seco ( gr)	Peso Saturado (gr)	Capacidad de Absorción %
M1	300	840,20	178,00
M2	300	845,30	181,77
M3	300	850,00	183,33
M4	300	844,50	181,50
M5	300	820,00	173,33
M6	300	802,60	179,00
M7	300	856,70	185,57
M8	300	862,30	187,43
M9	300	831,05	177,02
M10	300	845,10	181,70
M11	300	813,40	180,00
M12	300	835,00	178,33
M13	300	835,30	178,43
M14	300	849,20	183,07
M15	300	832,60	177,53
M16	300	821,80	173,93
		<b>promedio</b>	<b>180,00</b>

Fuente: Elaboración propia

En base al resultado de la tabla 3.4 se determina que para llegar a saturar la celulosa de papel, se necesita el 180% de agua determinada en base al peso seco de la celulosa de papel.



### 3.4.5. Dosificación preliminar de la celulosa

El porcentaje de celulosa con respecto al peso del yeso se establece en intervalos de 5 y 10 % hasta un máximo de 50% debido a que el refuerzo (fibras de celulosa) no puede ser mayor que la matriz (el yeso).

En la relación agua yeso se determinó como valor constante de 0,5 para la elaboración de todas muestras, valor definido de la tabla 3.3

De la tabla 3.4 se determinó la capacidad de absorción de la celulosa siendo como valor volumétrico de 1.8.

Con los valores obtenidos de la relación agua yeso, la capacidad de absorción de la celulosa y los porcentajes de celulosa establecidos se construye la siguiente tabla de dosificaciones preliminares volumétricas.

Tabla 3.5. Dosificaciones preliminares volumétricas.

Dosificaciones Experimentales								
Muestra	Yeso (Y)	relación agua-yeso (A/Y)		Celulosa (C)		Absorción de celulosa (Abs)		Factor de agua de celulosa de papel (AbsXC)
		%		%		%		
M1	1	50	0,5	5	0,05	180	1,8	0,09
M2	1	50	0,5	10	0,1	180	1,8	0,18
M3	1	50	0,5	20	0,2	180	1,8	0,36
M4	1	50	0,5	30	0,3	180	1,8	0,54
M5	1	50	0,5	40	0,4	180	1,8	0,72
M6	1	50	0,5	50	0,5	180	1,8	0,9

Fuente: Elaboración propia

Establecido las dosificaciones preliminares volumétricas de la tabla 3.5 se procede a experimentar con una masa constante de yeso de 500 gramos para determinar la consistencia y trabajabilidad de la mezcla para posteriormente obtener las dosificaciones finales para la elaboración de las muestras

Tabla 3.6. Dosificación experimental para determinar la trabajabilidad y consistencia de la mezcla

Dosificaciones Experimentales							
Muestra	Yeso	Relación agua-yeso A/Y	Relación celulosa-yeso C/Y	Celulosa (C)	Absorción de celulosa	Factor Agua celulosa de papel	Observación
	(gr)	(gr)	%	(gr)	(Abs)	(AbsXC)	
M1	500	50	5	25	1,8	45	Mezcla trabajable
M2	500	250	10	50	1,8	90	Mezcla trabajable
M3	500	250	20	100	1,8	180	Mezcla poco trabajable
M4	500	250	30	150	1,8	270	Mezcla no trabajable
M5	500	250	40	200	1,8	360	Mezcla no trabajable
M6	500	250	50	250	1,8	450	Mezcla no trabajable

Fuente: Elaboración propia

Como resultado de esta experimentación se pudo observar el siguiente aspecto:

- La cantidad de agua de amasado tiene gran influencia en el comportamiento del yeso y la celulosa de papel, como el tiempo de fraguado y la trabajabilidad de la mezcla.
- Se observó que a mayor porcentaje de celulosa con respecto al peso del yeso, la celulosa ocupaba gran volumen en la elaboración de la muestra originando espacios vacíos y un material más frágil.
- Las muestras M4, M5 y M6 se observa que no son trabajables, ya que las proporciones de celulosa son porcentajes elevados originando que no fragüe la muestra, en consecuencia no se forma una adherencia entre el yeso y la celulosa, esto debido al gran volumen de celulosa que representan estos porcentajes con

respecto al yeso; ocasionando que la matriz sea la celulosa y no así el yeso (ver anexo B), por lo tanto estas dosificaciones fueron descartadas para la elaboración de las muestras definitivas.

- Al momento de realizar las muestras con porcentajes de 10% y 20% de celulosa se observó que existe una gran diferencia en el producto final de la muestra debido a que estos intervalos de porcentajes son amplios y elevados de celulosa

### 3.4.5. Dosificación final para la elaboración de las muestras

Con las observaciones anteriores de la experimentación realizada y la tabla 3.5 y 3.6 se obtiene las dosificaciones óptimas a utilizarse para elaborar las muestras definitivas.

Tabla 3.7. Dosificaciones finales para elaboración de las muestras

Dosificaciones Finales						
Muestra	Yeso	Porcentaje de celulosa %	Relación agua-yeso A/Y	Relación celulosa-yeso C/Y	Absorción de celulosa	Factor de agua celulosa de papel
P1	1	5	0,5	0,05	1,8	0,09
P2	1	10	0,5	0,1	1,8	0,18
P3	1	15	0,5	0,15	1,8	0,27

Fuente: Elaboración propia

## 3.6. ENSAYOS MECÁNICOS

### 3.6.1. Ensayo de resistencia a flexión

El método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión en los paneles prefabricados de yeso con celulosa reciclada, se lo realizó bajo las indicaciones de las normas siguientes:

- Norma Boliviana NB-122008 Yesos y Escayolas, Ensayos Físico Mecánicos.
- Norma ASTM C 473-003 Métodos de prueba Estándar para Pruebas Físicas de Paneles de Yeso
- Norma ASTM C1396/C1396M-00 especificaciones estándar para paneles de yeso

### Objetivos

- Determinar la carga de rotura de las muestras patrón elaborado únicamente con yeso y las muestras de yeso con celulosa reciclada, con el fin de comparar la resistencia a la flexión.
- Analizar los planos de falla de las probetas sometidas a ensayos de flexión.

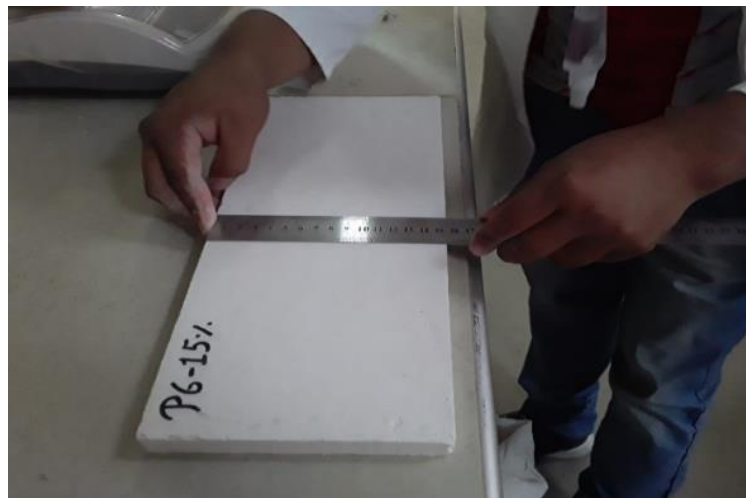
### Equipo y Material

- Máquina para ensayo control modelo 50-c2122 1300/1500 KN
- Equipo para flexión con 2 rodillos metálicos para soporte  $\varnothing = 30$  mm
- 1 rodillo cilíndrico central  $\varnothing = 30$  mm.
- 3 gomas para el apoyo en el soporte
- Regla metálica
- Balanza electrónica, capacidad de 60 kg.
- Muestras únicamente de yeso de 360 mm de largo, 150mm de ancho y 15mm de espesor
- Muestras de yeso con celulosa reciclada de 360 mm de largo, 150mm de ancho y 15mm de espesor

### Procedimiento

1. Con la ayuda de la regla metálica medir el largo, ancho y la altura de las muestras a ser ensayadas, con el objeto de calcular la sección resistente sobre la cual se aplicará la carga.
2. Registrar el peso de cada muestra a ensayarse.
3. En la máquina de ensayo colocar los 2 rodillos de apoyo a una distancia de 30cm entre apoyo, y el rodillo cilíndrico central, colocar en los apoyos de los rodillos las gomas para permitir una mejor transmisión de la carga a las probetas.
4. Colocar la muestra a ensayarse sobre los apoyos, verificando que se encuentre centrada y bien ubicada.
5. Aplicar la carga repartida uniformemente una velocidad de incremento de la fuerza de  $(1 \pm 0.2)$  N/mm<sup>2</sup> por segundo, hasta que se produzca la carga máxima de rotura.
6. Con el valor de la carga máxima de rotura y la sección resistente, calcular el módulo de rotura de la probeta ensayada.

Fotografía 3.17. Registro de las dimensiones de las muestras



Fuente: Fotografía propia

Fotografía 3.18. Equipo para ensayo a flexión



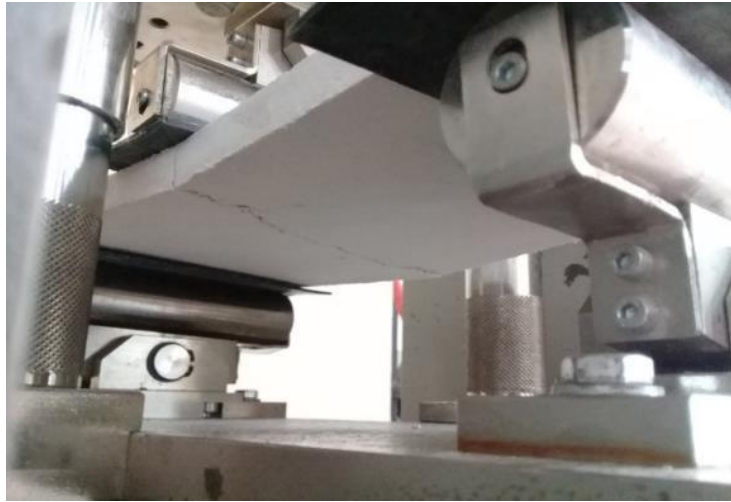
Fuente: Fotografía propia

Fotografía 3.19. Máquina controls y equipo para el ensayo a flexión



Fuente: Fotografía propia

Fotografía 3.20. Rotura de una muestra de yeso con celulosa



Fuente: Fotografía propia

### Cálculos

Para calcular el promedio de la tensión de rotura, utilizar solo los resultados de los ensayos en que la rotura se produjo en una zona central de longitud equivalente al rodillo central.

La tensión de rotura  $F$ , expresada en Mpa, se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$F = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times h^2}$$

Donde:

F: Tensión de rotura (Mpa)

P: Carga máxima aplicada (N)

L: Luz de ensayo de probeta (mm)

b: Ancho promedio de la probeta en la sección de rotura (mm)

h: Altura promedio de la probeta en la sección de rotura (mm)

### **3.6.2. Ensayo de compresión**

El método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión se lo realizó bajo las indicaciones de la norma siguiente:

- Norma Boliviana NB-122008 Yesos y Escayolas, Ensayos Físico Mecánicos

#### **Objetivos**

- Determinar la carga de rotura a la compresión y el esfuerzo a la compresión de las muestras patrón elaborado únicamente de yeso y las muestras de yeso con celulosa de 50mm de arista.
- Observar el comportamiento de los cubos de yeso con celulosa reciclada cuando se les somete a una carga de compresión.

#### **Equipo y Material**

- Máquina para ensayo control modelo 50-c2122 1300/1500 KN
- Equipo para compresión para cubos de 50mm
- Regla metálica de 50 cm
- Balanza electrónica, capacidad de 60 kg.
- Muestras únicamente de yeso y muestras de yeso con celulosa reciclada de arista 50mm

#### **Procedimiento**

1. Con la ayuda de la regla metálica medir el largo, ancho y la altura de las probetas a ser ensayadas, con el objeto de calcular la sección resistente sobre la cual se aplicará la carga.
2. Registrar el peso de cada muestra a ensayarse.
3. Colocar el cubo a ensayarse en el equipo a compresión, procurando que se encuentre en el centro del disco superior e inferior.



4. Aplicar la carga repartida uniformemente a una velocidad de incremento de la fuerza de  $(1\pm 0.2)$  N/mm<sup>2</sup> por segundo, hasta que se produzca la carga máxima de compresión.
5. Con el valor de la carga máxima de compresión y la sección resistente, calcular el esfuerzo de compresión del cubo ensayado.

Fotografía 3.21. Muestras para ensayo a compresión



Fuente: Fotografía propia

Fotografía 3.22. Registro de las dimensiones de la muestra



Fuente: Fotografía propia

Fotografía 3.23. Equipo para ensayo a compresión



Fuente: Fotografía propia

Fotografía 3.24. Muestra de yeso con celulosa ensaya a compresión



Fuente: Fotografía propia

### Cálculos

El esfuerzo a compresión, expresado en Mpa, se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$\sigma = \frac{F}{AC}$$

Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo a compresión (Mpa)

P: Carga máxima aplicada (N)

AC: Área de contacto del cubo (mm<sup>2</sup>)

### **3.7. ENSAYOS FÍSICOS**

#### **3.7.2. Ensayo de densidad**

##### **Objetivos**

Determinar la densidad de las muestras patrón elaborado únicamente de yeso y las muestras de yeso con celulosa, con el objeto de medir la ligereza o pesadez de estos materiales

##### **Equipo y Material**

- Balanza electrónica con capacidad de 6kg  $A = \pm 0.1$  gr,
- Regla metálica
- Sierra metálica
- Muestra únicamente de yeso y muestra de yeso con celulosa reciclada.

##### **Procedimiento**

1. con las muestras ensayadas a flexión recortar las muestras con la sierra metálica con una dimensión de 15 x 15 cm para su respectivo ensayo de densidad
2. Registrar la masa inicial de cada muestra, en condiciones ambientales.
3. Con la ayuda de la regla metálica medir el largo, ancho y espesor de cada probeta.
4. Con el valor de la masa y el volumen de cada muestra, calcular la densidad.

Fotografía 3.25. Recorte de las muestras ensayadas a flexión



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3.26. Registro de la masa de las muestras



Fuente: Elaboración propia

### Cálculos

La densidad, expresada en gr/cm<sup>3</sup>, se calcula en base a la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Donde:

$\rho$ : Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)

m: Masa de la muestra (gr)

V: Volumen de la muestra (cm<sup>3</sup>)

### 3.7.3. Ensayo de absorción y contenido de humedad

El contenido de humedad es una de las características a considerar en los materiales compuestos, ya que la humedad y la capacidad de absorción deterioran al material por la presencia de agua.

#### Objetivos

- Determinar el contenido de humedad en las muestras patrón de yeso y las muestras de yeso con celulosa reciclada.
- Determinar la capacidad de absorción en las muestras patrón de yeso y las muestras de yeso con celulosa reciclada.

#### Equipo y Material

- Horno de secado, a temperatura constante de  $(105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C})$ .
- Balanza electrónica capacidad de 6kg  $A = \pm 0.1$
- Muestras de yeso de 150mm de largo, 150mm de ancho y 15mm de espesor.
- Muestras de yeso con celulosa reciclada de 150mm de largo, 150mm de ancho y 15mm de espesor.
- Recipientes metálicos.
- Franelas.

#### Procedimiento

1. Registrar el peso inicial de cada muestra a ensayarse, en condiciones ambientales.
2. Sumergir las probetas en un recipiente con agua a temperatura ambiente durante un tiempo aproximado de 24 horas.
3. Trascorrido las 24 horas, retirar las muestras del agua y con la ayuda de franelas secar las caras superficiales de cada probeta.
4. Registrar el peso de las muestras saturadas superficialmente seca.

5. Colocar las probetas al horno a una temperatura constante de  $105^{\circ}\text{C}$  durante un tiempo aproximado de 24 horas.
6. Transcurrido las 24 horas, retirar las probetas del horno y dejarlas enfriar durante un tiempo aproximado de 30 minutos.
7. Registrar el peso seco de las muestras secadas al horno.
9. Con el valor del peso inicial, peso saturado, peso seco al horno, calcular el contenido de humedad y la capacidad de absorción de las muestras.

Fotografía 3.27. Muestras sumergidas en bandejas de agua



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3.28 Secado de las muestras saturadas con franelas



Fuente: Fotografía propia

Fotografía 3.29. Registro del peso saturado de las muestras



Fuente: Fotografía propia

Fotografía 3.30. Muestras saturadas introducidas en el horno para el secado



Fuente: Fotografía propia

Fotografía 3.31. Registro del peso seco de las muestras



Fuente: Fotografía propia



### **Cálculos**

El contenido de humedad y la capacidad de absorción, expresados en porcentaje, se calculan en base a las siguientes expresiones:

#### **Contenido de humedad**

$$w = \frac{(w_i - w_s)}{w_s} \times 100$$

Donde:

w: Contenido de humedad (%)

w<sub>i</sub>: peso inicial de la muestra (gr)

w<sub>s</sub>: peso seco de la muestra (gr)

#### **Capacidad de absorción**

$$Abs = \frac{(w_s - w_s)}{w_s} \times 100$$

Donde:

Abs: Capacidad de absorción (%)

w<sub>i</sub>: peso saturado de la muestra (gr)

w<sub>s</sub>: peso seco de la muestra (gr)

**CAPÍTULO IV**  
**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

## **4. Análisis de resultados**

### **4.1. Medidas de tendencia central y dispersión**

Las medidas de tendencia central son medidas estadísticas que pretenden resumir en un solo valor a un conjunto de valores. Representan un centro en torno al cual se encuentra ubicado el conjunto de los datos. Las medidas de tendencia central más utilizadas son: **media**, **mediana** y **moda**. Las medidas de dispersión en cambio miden el grado de dispersión de los valores de la variable. Dicho en otros términos las medidas de dispersión pretenden evaluar en qué medida los datos difieren entre sí. De esta forma, ambos tipos de medidas usadas en conjunto permiten describir un conjunto de datos entregando información acerca de su posición y su dispersión.

Las medidas de dispersión más conocidas son: el rango, la varianza, la desviación típica y el coeficiente de variación. (Medwave, 2011)

En base a los conceptos de la medidas de tendencia central y dispersión, los resultados analizados de los distintos ensayos fueron contemplados del análisis estadístico (ver anexo G), descartando resultados atípicos, resultados que estén fuera de la desviación estándar y la variación del promedio más del 15% con respecto a la media como establece la Norma Boliviana NB-122008 Yesos y Escayolas, Ensayos Físico Mecánicos.

#### 4.2. Análisis de resultados del ensayo a flexión

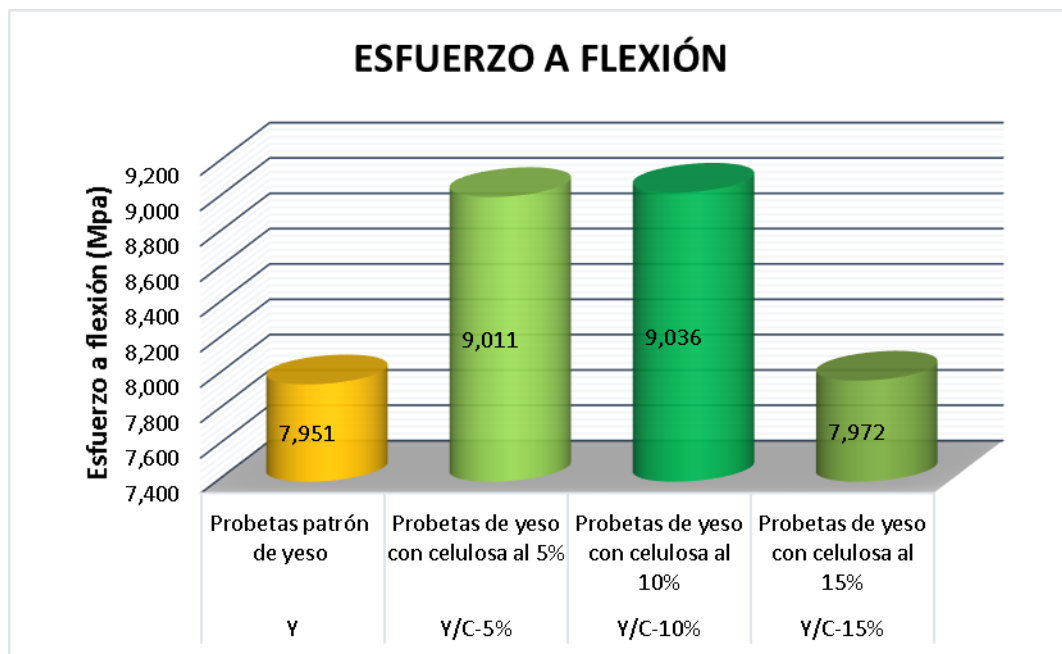
A Continuación se presenta los resultados y cálculos del ensayo a flexión que resisten las respectivas muestras y su posterior análisis y gráficos comparativos.

Tabla 4.1. Análisis comparativo de los resultados obtenidos del ensayo a flexión de las muestras patrón de yeso y las muestras de yeso con celulosa

<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS A FLEXIÓN</b>		
<b>Muestra</b>	<b>Descripción</b>	<b>Esfuerzo a flexión (Mpa)</b>
Y	Probetas patrón de yeso	7,951
Y/C-5%	Probetas de yeso con celulosa al 5%	9,011
Y/C-10%	Probetas de yeso con celulosa al 10%	9,036
Y/C-15%	Probetas de yeso con celulosa al 15%	7,972

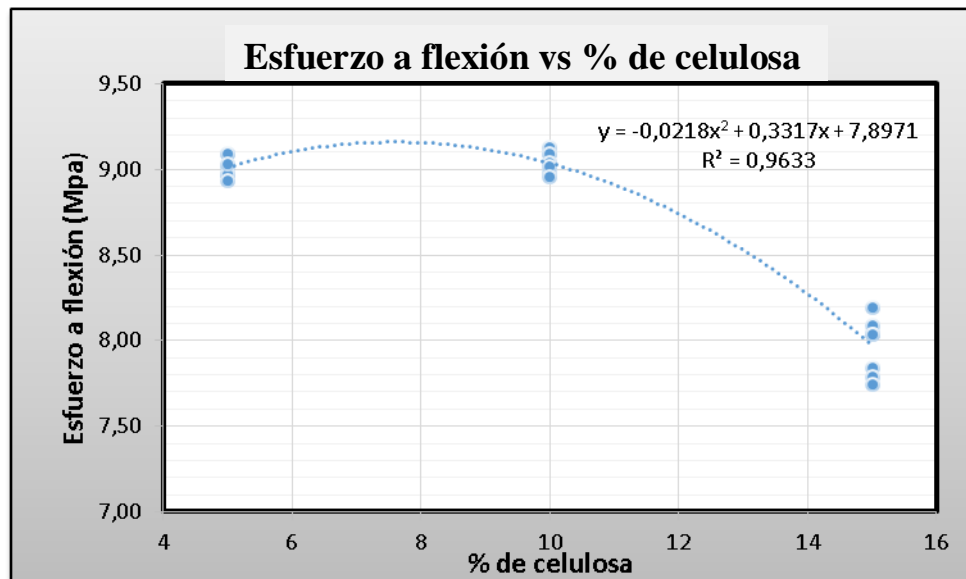
Fuente: Elaboración propia

Grafico 4.1. Comparación del esfuerzo a flexión de la muestra patrón de yeso y las muestras de yeso con celulosa.



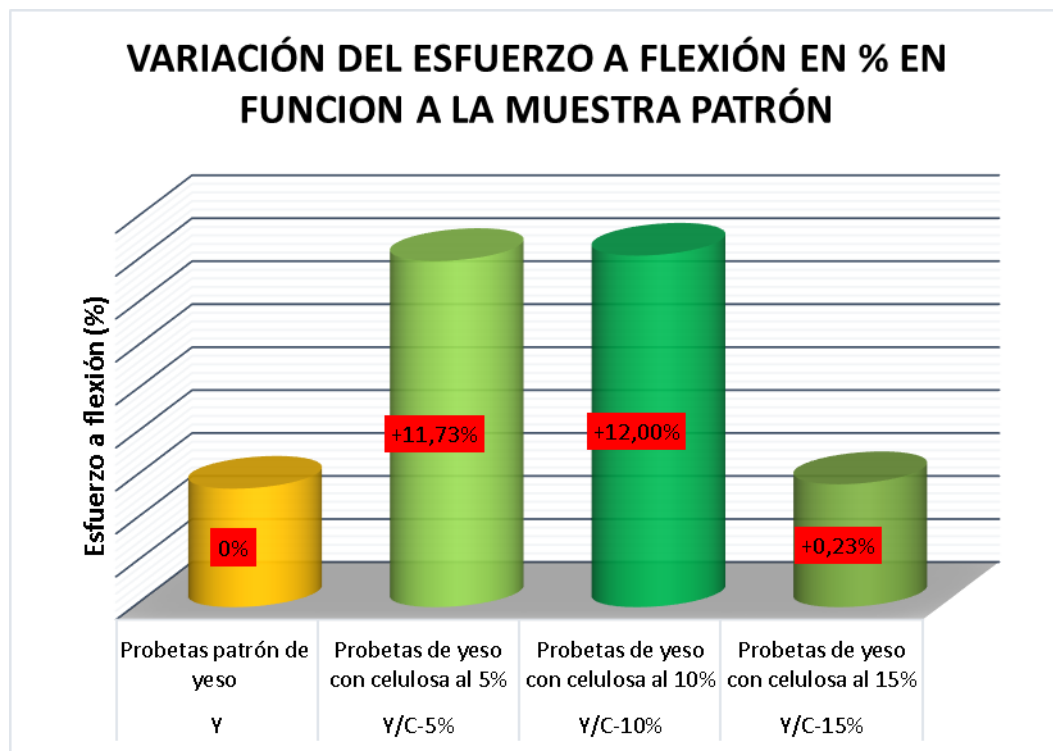
Fuente: Elaboración propia

Gráfico: 4.2. Comportamiento del esfuerzo a flexión versus el % de celulosa



Fuente: Elaboración propia

Gráfico: 4.3. Variación del esfuerzo a flexión en función a la muestra patrón



Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 4.1. Se puede observar que existe variaciones en los resultados obtenidos entre las muestras patrón de yeso, las muestras de yeso con celulosa a continuación se detallan los aspectos del comportamiento de las muestras:

- Las muestras patrón de yeso alcanza una resistencia a flexión de 7.961 Mpa, las muestras de yeso con celulosa al 5% alcanza una resistencia a flexión de 9.011 Mpa, las muestras de yeso con celulosa al 10% alcanza una resistencia a flexión de 9.035 Mpa, las muestras de yeso con celulosa al 15% alcanza una resistencia a flexión de 7.972.
- Las muestras de yeso con celulosa al 5%, 10% alcanzan un aumento de resistencia a la flexión en comparación a la muestra patrón de yeso, por lo tanto el refuerzo de las fibras con celulosa de papel si ayuda a incrementar la resistencia a la flexión.
- De acuerdo a los resultados obtenidos y la experimentación, la muestra de yeso con celulosa dosificada al 15% tiene un leve aumento de resistencia a la flexión en comparación a la muestra patrón debido al gran volumen de celulosa y al no formarse una masa homogénea.
- Al momento de realizar el ensayo de flexión se observó que las probetas de yeso tienen una rotura brusca siendo el comportamiento como un material frágil a comparación de las probetas de yeso con celulosa tienen un comportamiento dúctil apareciendo fisuras antes del colapso.

### 4.3. Análisis y resultados del ensayo a compresión

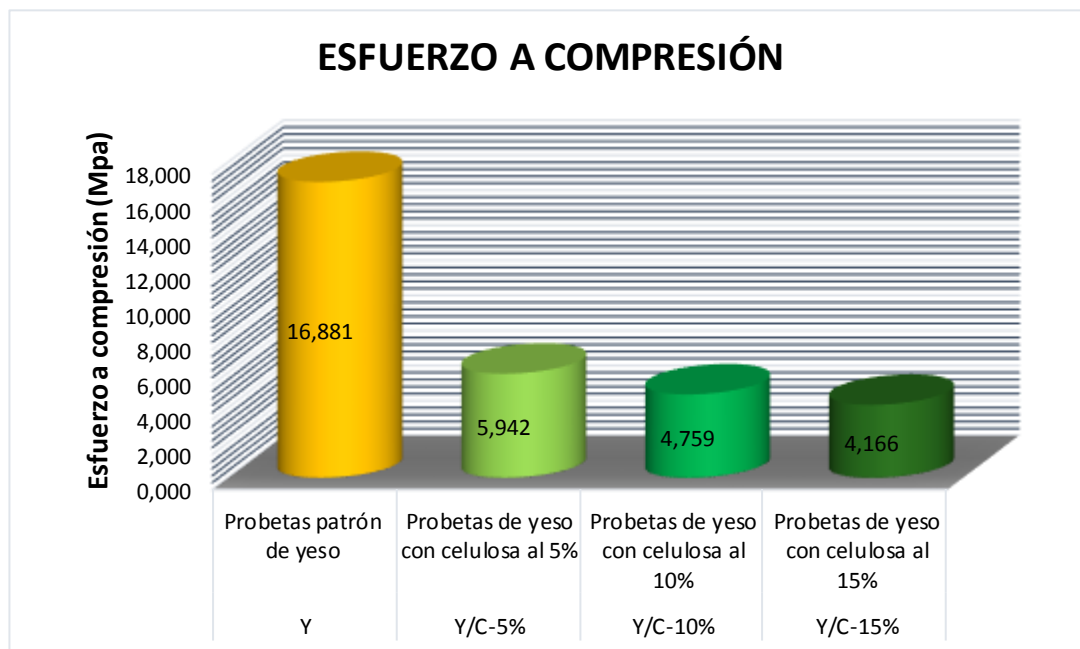
A Continuación se presenta los resultados y cálculos del ensayo máximo a compresión que resisten las distintas muestras y su posterior análisis de los resultados y gráficos comparativos.

Tabla 4.2. Análisis comparativo de los resultados obtenidos de las muestras ensayadas de yeso y muestras de yeso con celulosa.

ANÁLISIS DE RESULTADOS A COMPRESIÓN		
Muestra	Descripción	Esfuerzo a Compresión (Mpa)
Y	Probetas patrón de yeso	16,881
Y/C-5%	Probetas de yeso con celulosa al 5%	5,942
Y/C-10%	Probetas de yeso con celulosa al 10%	4,759
Y/C-15%	Probetas de yeso con celulosa al 15%	4,166

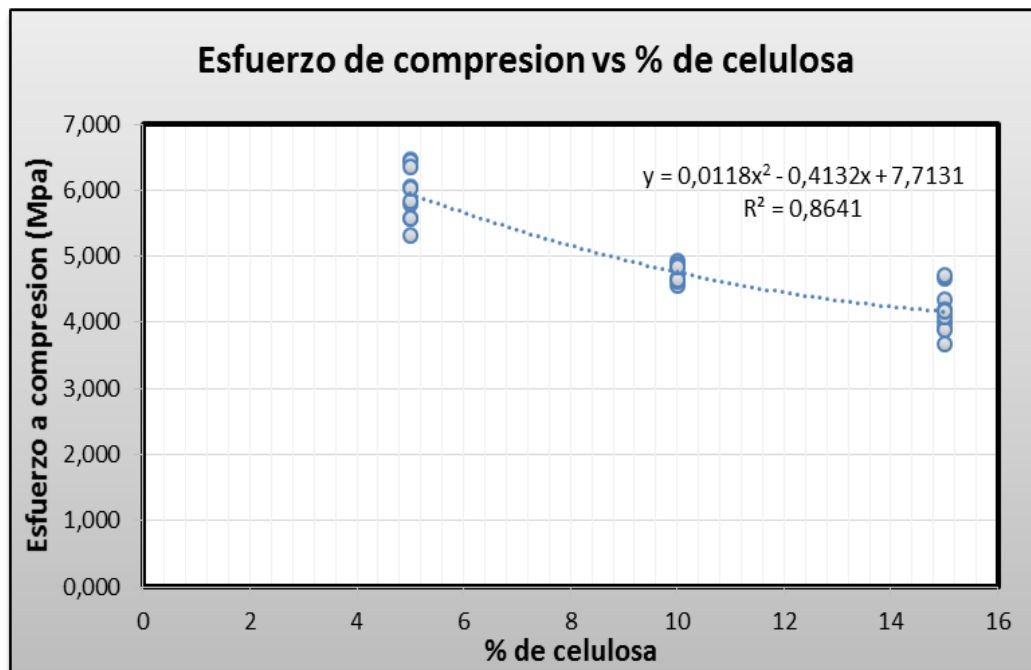
Fuente: Elaboración propia

Gráfico: 4.4. Comparación del esfuerzo a compresión de las muestras de yeso patrón y las muestras de yeso con celulosa



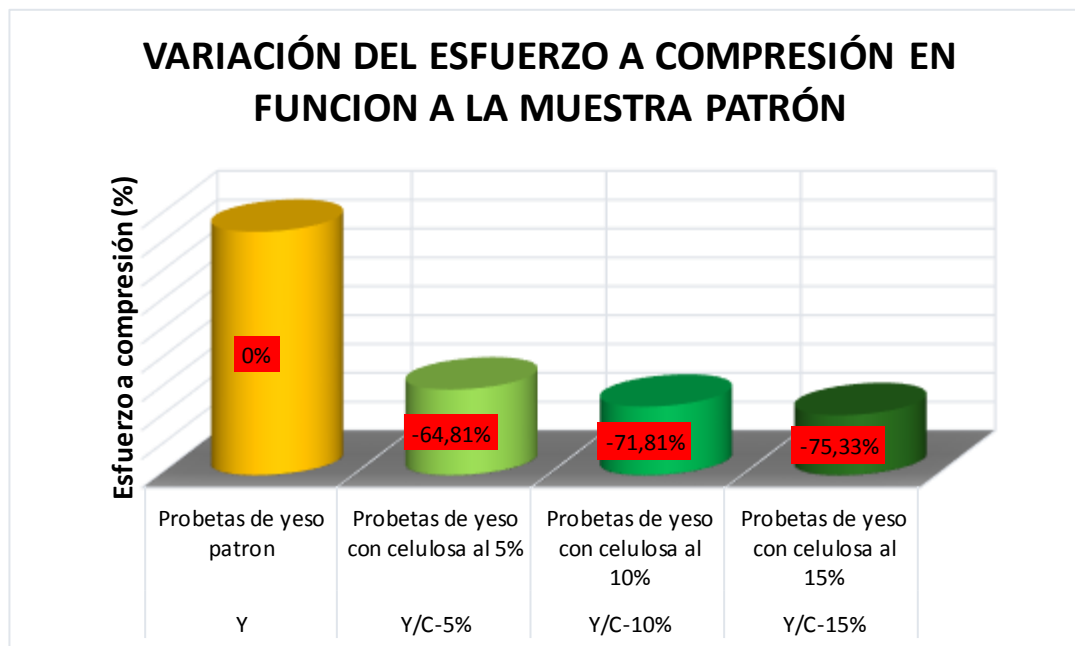
Fuente: Elaboración propia

Gráfico: 4.5. Comportamiento del esfuerzo a compresión versus el % de celulosa



Fuente: Elaboración propia

Gráfico: 4.6. Variación del esfuerzo a compresión en función a la muestra patrón.



Fuente: Elaboración propia



En el Gráfico 4.4. Se puede observar que existen variaciones en los resultados obtenidos entre las muestras patrón de yeso y las muestras de yeso con celulosa reciclada a continuación se detallan los aspectos del comportamiento de las muestras:

- En el grafico 4.4. se observa que la muestra patrón de yeso alcanza una resistencia de compresión de 16.88 Mpa teniendo una gran diferencia de resistencia a compresión con respecto a las muestras de yeso con celulosa.
- Se observa que las muestras elaboradas con celulosa no son resistentes para el esfuerzo a compresión siendo que a mayor celulosa menor resistencia a compresión esto debido a que la fibras de celulosa ocasionan vacíos internamente pese al prensado del material, es posible que internamente estos espacios vacíos no se cierren generando menor esfuerzo resistente a compresión al aplicar la carga.
- Analizando las muestras de yeso con celulosa se observa en el grafico 4.5. que los resultados del esfuerzo a compresión no varían bruscamente de una dosificación a otra siendo que la resistencia disminuye en forma gradual como se aprecia en el grafico 4.5.
- Al momento de realizar el ensayo de compresión en la máquina de ensayo se observó que al aplicar la carga a las muestras de yeso, estas muestras se mantenían intactas sin fisuras externamente a diferencia de las muestras de yeso con celulosa que comenzaban a fisurarse externamente reventando la muestra.

#### 4.4. Análisis de resultados del ensayo de densidad

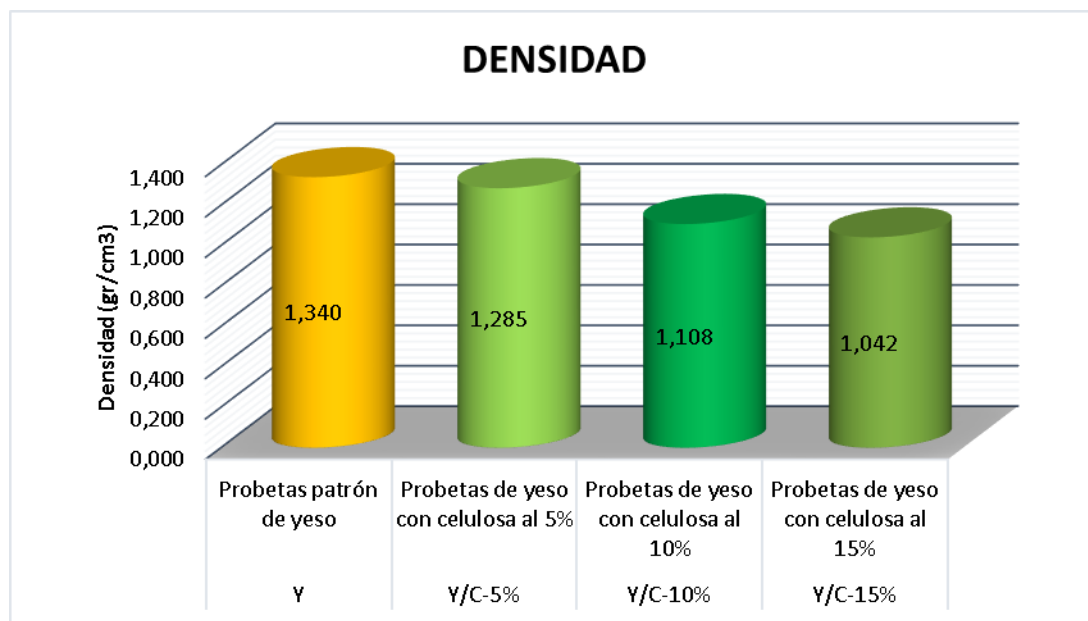
A Continuación se presenta los resultados y cálculos del ensayo de densidad de las distintas muestras y su posterior análisis de los resultados y gráficos comparativos.

Tabla 4.3. Análisis comparativo de los resultados obtenidos del ensayo de densidad de las muestras patrón de yeso y las muestras de yeso con celulosa.

<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE DENSIDAD</b>		
<b>Muestra</b>	<b>Descripción</b>	<b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
Y	Probetas patrón de yeso	1,340
Y/C-5%	Probetas de yeso con celulosa al 5%	1,285
Y/C-10%	Probetas de yeso con celulosa al 10%	1,108
Y/C-15%	Probetas de yeso con celulosa al 15%	1,042

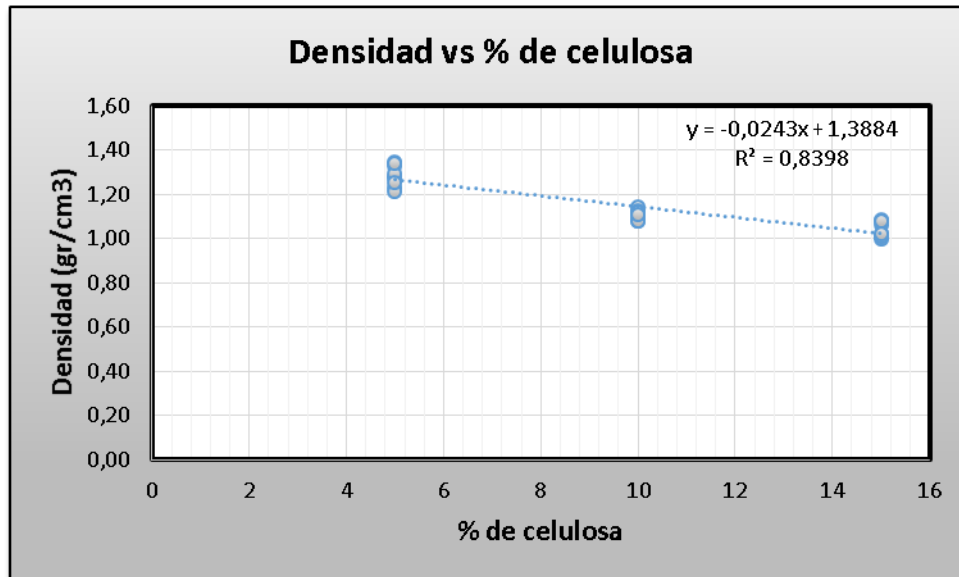
Fuente: Elaboración propia

Gráfico: 4.7. Comparación de los resultados obtenido del ensayo de densidad.



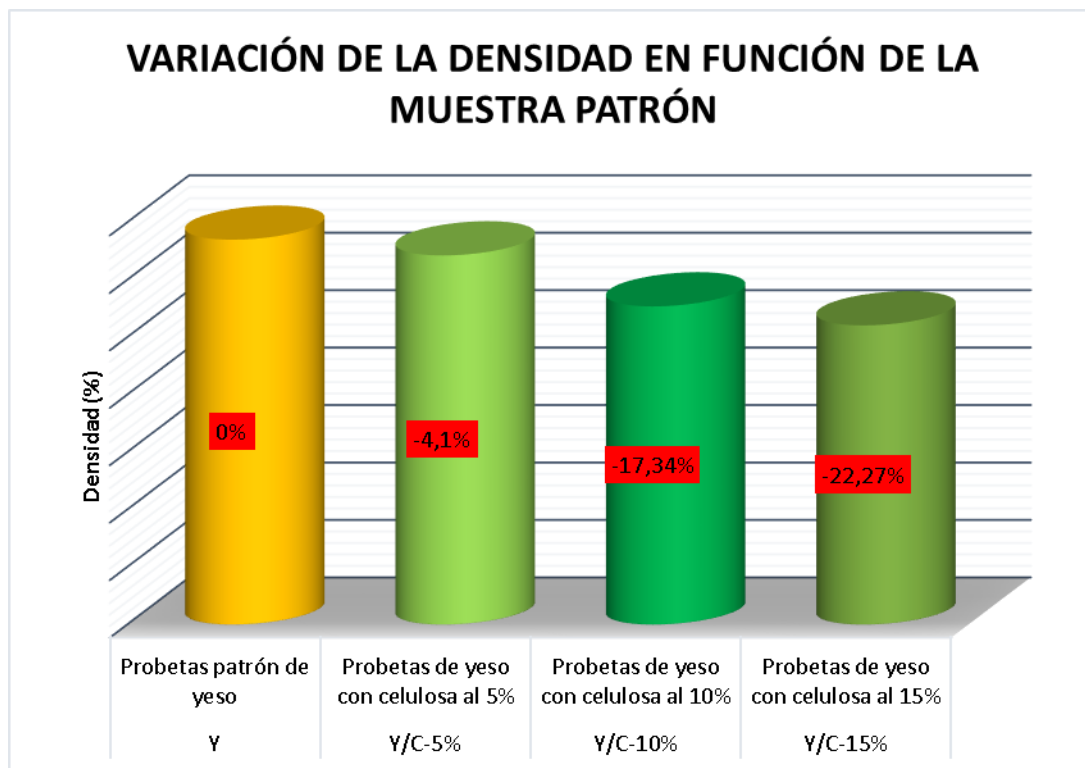
Fuente: Elaboración propia

Gráfico: 4.8. Comportamiento de la densidad con respecto al porcentaje de celulosa



Fuente: Elaboración propia

Gráfico: 4.9. Variación de la densidad en función a la muestra patrón.



Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 4.7. Se puede observar que existen variaciones en los resultados obtenidos entre las muestras patrón de yeso y las muestras con celulosa reciclada, a continuación se detallan los aspectos del comportamiento de estas muestras:

- Analizando los resultados de densidad se observa que la mayor densidad es la muestra patrón de yeso con una densidad de  $1.34 \text{ gr/cm}^3$  lo que indica que tiene un mayor peso con respecto a las muestras de yeso con celulosa.
- Las muestras con celulosa al 5% tiene una densidad de  $1.29 \text{ gr/cm}^3$ , las muestras con celulosa al 10% tiene una densidad de  $1.114 \text{ gr/cm}^3$  y las muestras con celulosa al 15% tiene una densidad de  $1.04 \text{ gr/cm}^3$ , con estos resultados se evidencia que a mayor celulosa se tiene menor densidad debido a la fibras de celulosa que compuesto con en el yeso me forma una material más liviano en comparación a las muestras de puro yeso
- En el gráfico 4.8 se observa que las muestras de yeso con celulosa tienen un comportamiento correlacional, los valores de densidad tienden a disminuir en forma gradual o lineal de acuerdo al aumento del porcentaje de celulosa.

#### 4.5. Análisis de resultados del ensayo de contenido de humedad y capacidad de absorción

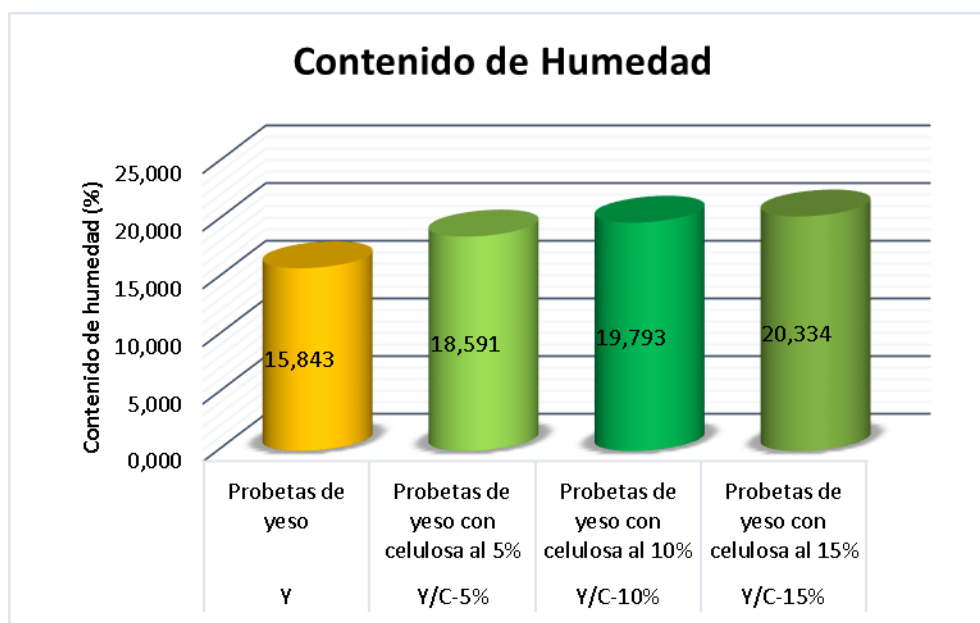
A Continuación se presenta los resultados y cálculos del ensayo de contenido de humedad y capacidad de absorción de las muestras patrón de yeso, muestras de yeso con celulosa y su posterior análisis de los resultados y gráficos comparativos.

Tabla 4.4. Análisis comparativo de los resultados obtenidos del ensayo de contenido de humedad de las muestras patrón de yeso y muestras de yeso con celulosa.

ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD		
Muestra	Descripción	Contenido de Humedad (%)
Y	Probetas patrón de yeso	15,843
Y/C-5%	Probetas de yeso con celulosa al 5%	18,591
Y/C-10%	Probetas de yeso con celulosa al 10%	19,793
Y/C-15%	Probetas de yeso con celulosa al 15%	20,334

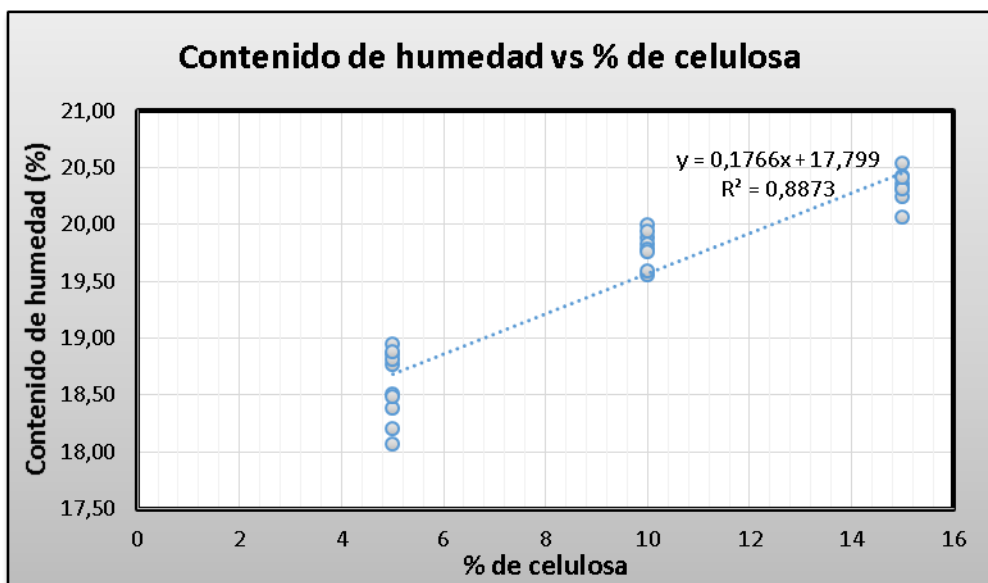
Fuente: Elaboración propia

Gráfico: 4.10. Comparación de los resultados obtenido del ensayo de contenido de humedad.



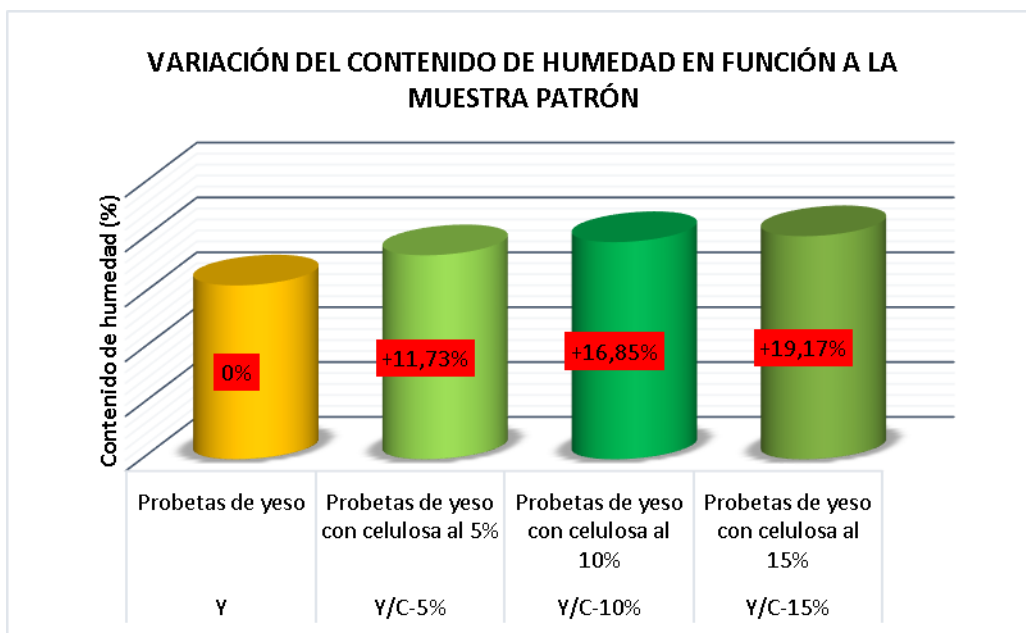
Fuente: Elaboración propia

Gráfico: 4.11. Comportamiento del Contenido de humedad con respecto al porcentaje de celulosa



Fuente: Elaboración propia

Gráfico: 4.12. Variación del contenido de humedad en % en función a la muestra patrón.



Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 4.10. Se puede observar que existen variaciones en los resultados obtenidos entre las muestras patrón de yeso y las muestras de yeso con celulosa reciclada a continuación se detallan los aspectos del comportamiento de las distintas muestras:

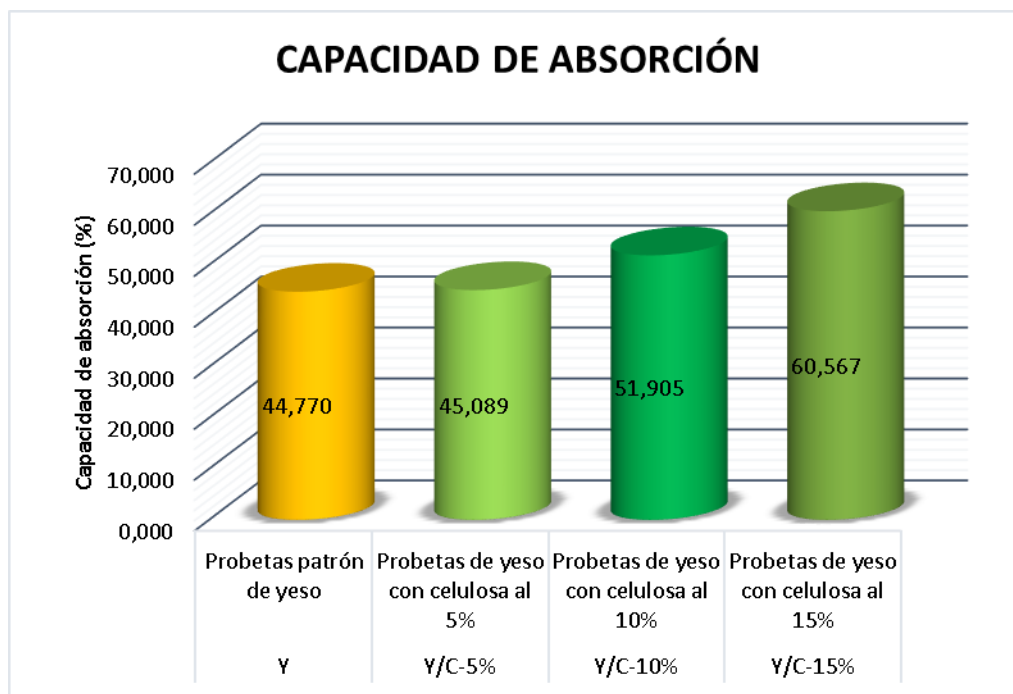
- Las muestras patrón de yeso tienen un contenido de humedad de 15.843% siendo la muestras con menor contenido de humedad, debido a que estas muestras al no tener celulosa absorbe menos humedad.
- Las muestras con celulosa al 5% tienen un contenido de humedad de 18.591%, la muestra con celulosa al 10% tiene un contenido de humedad de 19,793% y la muestra con celulosa al 15% tiene un contenido de humedad de 20.334%, lo que indica que estos valores y el gráfico 4.11. aumentan en forma proporcional o lineal, a mayor celulosa mayor contenido de humedad.
- Analizado cada uno de las muestras se deduce que un material al tener menor relación agua yeso será más durable en el tiempo, ya que la humedad afecta en el yeso ocasionando perdida de resistencia, manchas y durabilidad.

Tabla: 4.5. Análisis comparativo de los resultados obtenidos del ensayo de capacidad de absorción de las muestras patrón de yeso y muestras de yeso con celulosa.

<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE CAPACIDAD DE ABSORCIÓN</b>		
<b>Muestra</b>	<b>Descripción</b>	<b>Capacidad de Absorción (%)</b>
Y	Probetas patrón de yeso	44,470
Y/C-5%	Probetas de yeso con celulosa al 5%	45,089
Y/C-10%	Probetas de yeso con celulosa al 10%	51,905
Y/C-15%	Probetas de yeso con celulosa al 15%	60,567

Fuente: Elaboración propia

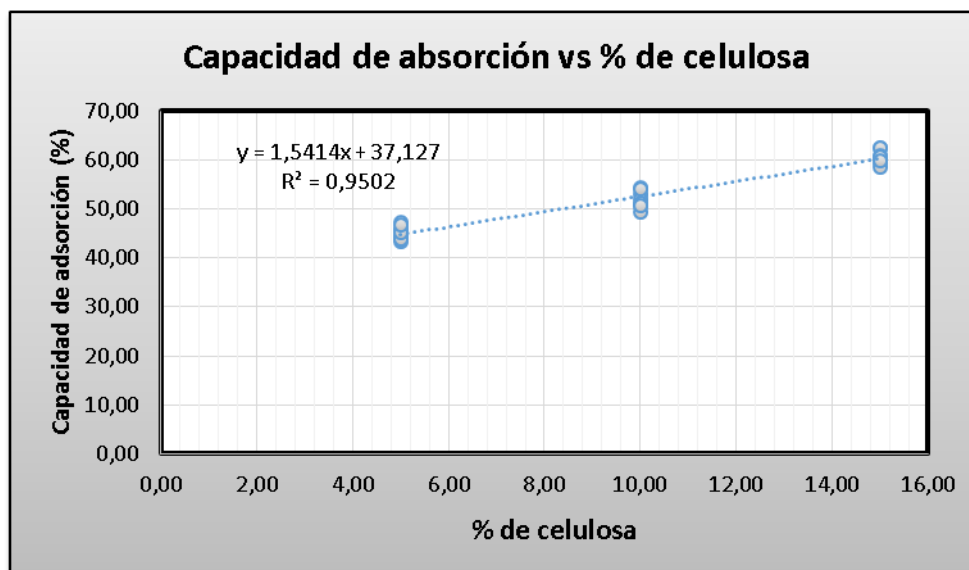
Gráfico: 4.13. Comparación de los resultados obtenido del ensayo de capacidad de absorción.



Fuente: Elaboración propia

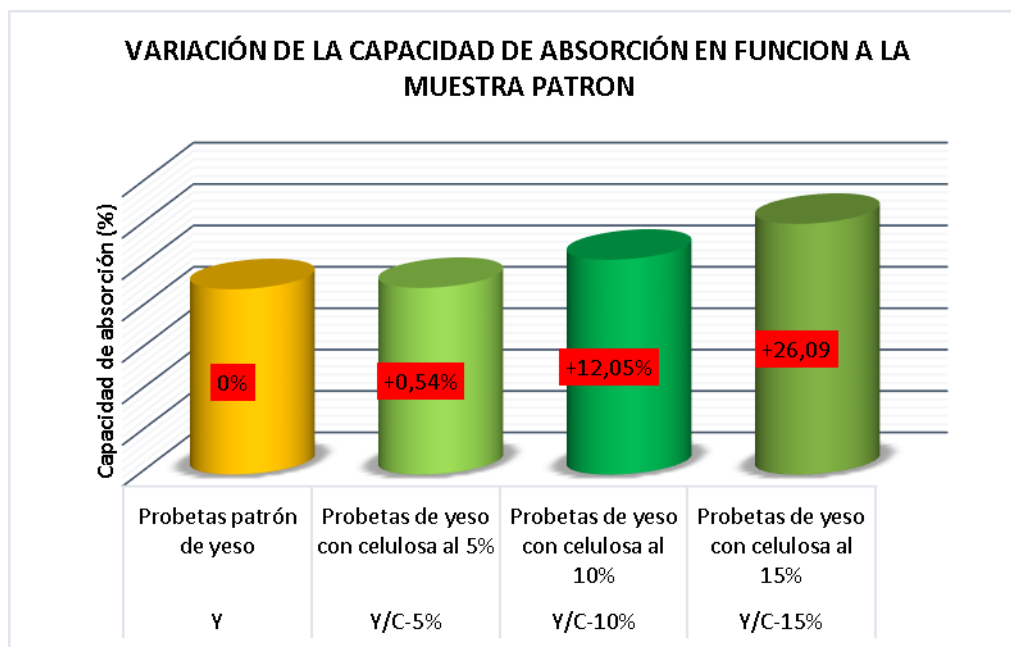


Gráfico: 4.14. Comportamiento de la Capacidad de absorción vs el porcentaje de celulosa.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico: 4.15. Variación de la capacidad de absorción en función a la muestra patrón de yeso.



Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 4.13 Se puede observar que existen variaciones en los resultados obtenidos entre las muestras patrón de yeso y las muestras de yeso con celulosa reciclada a continuación se detallan los aspectos del comportamiento de las respectivas muestras:

- Se observa que la muestra patrón tiene una capacidad de adsorción inferior a las demás muestras con un valor de 44,770%, esto nos indica que al saturarse tiene menor capacidad de absorber agua en comparación a las otras muestras.
- La muestra de yeso con celulosa al 5% tiene una capacidad de absorción de 45,089%, la muestra de yeso con celulosa al 10% tiene una capacidad de absorción de 51,905% y la muestra de yeso con celulosa al 15% tiene una capacidad de absorción de 60,567%, con estos resultados se observa que la capacidad de absorción aumenta en forma proporcional conforme mayor sea el porcentaje de celulosa mayor será la capacidad de absorción.
- Una vez analizados las distintas muestras se observa que se tiene valores elevados de capacidad de absorción en comparación a otros materiales, siendo esto perjudicial para el yeso en presencia de agua, debido a que es un factor que afecta en la durabilidad y resistencia.

#### 4.6. Resumen de resultados

A Continuación se presenta la tabla 4.6. Resumen del promedio de los resultados de los ensayos mecánicos y ensayos físicos realizados.

Tabla: 4.6. Resumen de los valores de ensayo

 UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO" FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE HORMIGONES					
RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS					
Probeta	Ensayos Mecánicos		Ensayos Físicos		
	Flexión (Mpa)	Compresión (Mpa)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Contenido de humedad (%)	Capacidad de absorción (%)
yeso	7,951	16,881	1,340	15,843	44,770
yeso con celulosa al 5%	9,011	5,942	1,285	18,591	45,089
yeso con celulosa al 10%	9,036	4,759	1,108	19,793	51,905
celulosa al 15%	7,972	4,166	1,042	20,334	60,567
<b>Observaciones:</b> los valores corresponden al promedio de cada ensayo realizado					
JAVIER HIGUERAS FARFAN UNIVERSITARIO			ING. MOISES DIAS AYARDE		

Fuente: Elaboración propia

#### **4.7. Contrastación de hipótesis**

##### **Resistencia a la flexión**

- Se determinó que la inclusión de celulosa al 5% para la elaboración de placas prefabricadas de yeso, aumenta un 11.73% de resistencia a la flexión con respecto a la muestra patrón de yeso.
- Se determinó que la inclusión de celulosa al 10% para la elaboración de placas prefabricadas de yeso, aumenta un 12,00% de resistencia a la flexión con respecto a la muestra patrón de yeso.
- Se determinó que la inclusión de celulosa al 15% para la elaboración de placas prefabricadas de yeso, aumenta su resistencia en un 0.23% de resistencia a la flexión con respecto a la muestra patrón de yeso.
- La hipótesis planteada con la inclusión de celulosa al (5%, 10% y 15%) aumentará la resistencia a la flexión de las placa prefabricadas de yeso con celulosa hasta un 15%, se descarta este valor ya que la resistencia máxima alcanzada es del 12% con respecto a una placa prefabricada únicamente de yeso

##### **Resistencia a la compresión**

- La inclusión de celulosa al 5% para la elaboración de placas prefabricadas de yeso, disminuye un 64.81% de resistencia a la compresión con respecto a la muestra patrón de yeso.
- La inclusión de celulosa al 10% para la elaboración de placas prefabricadas de yeso, disminuye un 71,81% de resistencia a la compresión con respecto a la muestra patrón de yeso.
- La inclusión de celulosa al 15% para la elaboración de placas prefabricadas de yeso, disminuye un 75.33% de resistencia a la compresión con respecto a la muestra patrón de yeso.

## **Densidad**

- Con la inclusión de celulosa al 5% para la elaboración de placas prefabricadas de yeso, la densidad disminuye un 4.1%.
- Con la inclusión de celulosa al 10% para la elaboración de placas prefabricadas de yeso, la densidad disminuye un 17,34%.
- Con la inclusión de celulosa al 15% para la elaboración de placas prefabricadas de yeso, la densidad disminuye un 2,27%.
- La hipótesis planteada con la inclusión de celulosa al (5%, 10% y 15%) se obtendrá un material más liviano en un 25% con respecto a una placa prefabricada únicamente de yeso, valor que se descarta ya que se obtuvo un material más liviano en un 17.34% con respecto a una placa prefabricada únicamente de yeso.

## **Contenido de humedad**

- La inclusión de celulosa al 5% para la elaboración de placas prefabricadas de yeso, el contenido de humedad aumenta un 11,73% con respecto a la muestra patrón de yeso.
- La inclusión de celulosa al 10% para la elaboración de placas prefabricadas de yeso, el contenido de humedad aumenta un 16,85% con respecto a la muestra patrón de yeso.
- La inclusión de celulosa al 15% para la elaboración de placas prefabricadas de yeso, el contenido de humedad aumenta un 19,17% con respecto a la muestra patrón de yeso.

### **Capacidad de absorción**

- La inclusión de celulosa al 5% para la elaboración de placas prefabricadas de yeso, la capacidad de absorción aumenta un 0,54% con respecto a la muestra patrón de yeso.
- La inclusión de celulosa al 5% para la elaboración de placas prefabricadas de yeso, la capacidad de absorción aumenta un 12,05% con respecto a la muestra patrón de yeso.
- La inclusión de celulosa al 5% para la elaboración de placas prefabricadas de yeso, la capacidad de absorción aumenta un 26,09% con respecto a la muestra patrón de yeso.

**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **5.1. Conclusiones**

Con el desarrollo de esta investigación se contribuye al estudio de un material compuesto con reciclaje, Al emplear las placas prefabricadas de yeso con celulosa reciclada en la construcción para cielo falso los proyectos adquieren un carácter ecológico, ya que al reciclar y reutilizar el papel para su elaboración, se aporta en la disminución de la contaminación generada por el papel.

### **Celulosa**

- Para la obtención de la celulosa el método más eficaz fue mediante la saturación del papel para su posterior desfibrado con una máquina eléctrica cortadora de pasto que procesa el desfibrado del papel reciclado de manera uniforme y a un menor tiempo.

### **Relación agua-yeso**

- Para la determinación de la relación agua-yeso se recurrió a la bibliografía correspondiente a gráficos de resistencia a flexión, compresión y tracción del yeso en los cuales los máximos valores de resistencia para la relación agua yeso estarían en el rango de (0,40, 0,45, 0,50) y de acuerdo a la experimentación realizada tomando en cuenta la trabajabilidad y el tiempo de fraguado que permitan realizar la muestra se estableció el valor constante de relación agua yeso de 0,50 para todas la muestras de ensayo.

### **Porcentajes de celulosa**

- Los porcentajes de celulosa óptimos para la dosificación con el yeso se determinaron mediante la experimentación bajo las siguientes características. Trabajabilidad, adherencia, consistencia y tiempo de fraguado siendo los valores de 5%,10% y 15% de celulosa con respecto al peso de yeso, valores con los que se realizó las respectivas muestras y ensayos.



### **Flexión**

- En el ensayo a flexión las muestras de yeso con celulosa aumenta la resistencia a la flexión en un (11,73%,12% y 0,23%%) con respecto a la muestra patrón, tiene un comportamiento de regresión cuadrática siendo una parábola convexa, Lo que significa que la resistencia aumenta hasta un punto máximo del vértice de la parábola y conforme aumenta el porcentaje de celulosa la resistencia a la flexión disminuye.

### **Compresión**

- En el ensayo a compresión se concluye que las muestras de yeso con celulosa no son más resistentes que las muestras patrón de yeso, pero sin embargo, en el campo de aplicación las placas prefabricadas de yeso se encuentran sometidas esencialmente a esfuerzo de flexión por lo que el esfuerzo a compresión no sería el esfuerzo principal que influya en gran medida en el comportamiento resistente de las muestras.

### **Densidad**

De los resultados obtenidos y del análisis estadístico se demuestra que a mayor incremento de celulosa en las placas de yeso prefabricadas, se tiene menor densidad, presentando una relación lineal entre densidad y porcentaje de celulosa siendo los siguientes valores

- Las muestras patrón tienen una densidad de 1,34gr/cm<sup>3</sup> equivalente a 20.10 kg/m<sup>2</sup>.
- las muestras de yeso con celulosa tienen una densidad de (1.27gr/cm<sup>3</sup>, 1.10gr/cm<sup>3</sup> y 1.04gr/cm<sup>3</sup>) equivalente a (19.27kg/m<sup>2</sup>, 16,62kg/m<sup>2</sup> y 15.63kg/m<sup>2</sup>).
- con estos resultados se evidencia que la inclusión de las fibras de celulosa en el yeso me conforman un material más liviano en comparación a las muestras patrón, siendo una ventaja en el uso de la construcción por presentar menor carga.

### Contenido de humedad y capacidad de absorción

- En el ensayo de contenido de humedad y capacidad de absorción las muestras de yeso con celulosa tienen un mayor contenido de humedad en (11.73%, 16.85, y 19.17) y mayor capacidad de absorción en (0.54%, 12.05, y 26.09) con respecto a la muestra patrón de yeso, lo que nos indica que las fibras de celulosa absorben mayor porcentaje de agua con respecto al yeso, por lo que este material debe estar protegido en presencia de humedad.

### Precios unitarios

Del análisis de precios unitarios en el anexo E para un metro cuadrado de placa prefabricada de yeso, tomando en cuenta costos de materiales y de instalación, se tienen los siguientes valores:

<b>Precios Unitario</b>	
<b>Detalle</b>	<b>costo Bs/m2</b>
placa prefabricada de yeso	32,00
placa prefabricada de yeso con celulosa al 5%	36,50
placa prefabricada de yeso con celulosa al 10%	37,50
placa prefabricada de yeso con celulosa al 15%	37,50

- Concluyendo que las placas prefabricadas de yeso con celulosa presentan un costo superior en un rango de (5 a 6) Bs. por metro cuadrado con respecto a las placas prefabricadas únicamente de yeso, debido a que el reciclaje de papel y la obtención de celulosa genera un mayor costo.

### Hipótesis

Al contrastar la hipótesis planteada con los resultados obtenidos de las muestras se puede concluir lo siguiente:

- Se puede evidenciar que se verifica la hipótesis planteada, sin embargo no en los porcentajes estimados.
- Los resultados de los ensayos de laboratorio en las muestras con inclusión de celulosa en (5%, 10% y 15%) con respecto al peso del yeso, demuestran el mejoramiento de la resistencia a la flexión en un máximo de 12% y la disminución del peso hasta en un 22,27% con respecto a las placas prefabricadas de yeso patrón.

Finalmente el porcentaje de celulosa recomendado para la elaboración de las placas prefabricadas de yeso, estará en el porcentaje del 10%, que es el porcentaje más óptimo en relación a los porcentajes analizados, alcanzando un incremento en la resistencia a flexión del 12%, y una disminución del peso del 17,34% equivalente a 3.48kg/m<sup>2</sup> con respecto a las placas prefabricadas de yeso, con este porcentaje se mantiene niveles adecuados de resistencia siendo aptas las placas prefabricadas de yeso con celulosa para la aplicación en cielo falsos.

### Valor recomendado para la elaboración de las placas prefabricadas de yeso

Muestra	Aumento de la resistencia a la flexión con respecto a la muestra patrón	Disminución del peso con respecto a la muestra patrón
	%	%
y/c-5%	11,73	4,1
y/c-10%	12,00	17,34
y/c-15%	0,23	22,27

## 5.2. Recomendaciones

Al momento de obtener la celulosa realizar el desfibrado del papel con una máquina ya sea cortadora o moledora que sea automática para el ahorro de tiempo y obtener fibras uniformes.

En futuras investigación si se desea aumentar el porcentaje de celulosa u otro tipo de fibra se deberá aumentar primeramente la relación agua yeso para tener una mejor trabajabilidad y consistencia.

Se recomienda ensayar con porcentaje de celulosa que oscile en el rango de 5 y 10% para obtener valores con mayor exactitud en cuanto a la máxima resistencia a la flexión determinando el punto máximo de la gráfica resistencia a la flexión vs porcentaje de celulosa

Para el ensayo a flexión se recomienda realizar en un laboratorio con una máquina sensible que pueda lecturar con mayor precisión y así mismo lecturar el esfuerzo vs deformación.

Se recomienda realizar diferentes pruebas o ensayos como: Resistencia al fuego, resistencia al impacto, evaluación acústica, entre otras, que puedan dar un valor agregado a estos paneles y puedan determinar su mejor aplicación para diferentes espacios requeridos cual sea el caso.

Se recomienda añadir algún aditivo para ver si aumenta en gran medida sus propiedades de resistencia. Y así mismo investigar con otro tipo de fibras como fibras de cáñamo, fibras de coco entre otros, que permitan aumentar las propiedades de las placas prefabricadas de yeso.

Las placas prefabricadas de yeso con celulosa reciclada poseen un comportamiento uniforme en compresión, por lo que su aplicación en el campo de la construcción en elementos no estructurales es factible, bajo este criterio se recomienda analizar el comportamiento de como un sistema de paredes portantes para corroborar su nivel de factibilidad en la parte estructural y económica.

Se recomienda utilizar las placas prefabricadas de yeso en áreas protegidas o interiores con el fin de evitar la humedad o el contacto con el agua, ya que es sumamente perjudicial en la durabilidad y resistencia del material.