

# CAPITULO I

## ANTECEDENTES

### 1.1 Introducción

Es un hecho que la industria de la construcción es una de las principales consumidoras de energía en la mayoría de los países, sobre todo en el intento de responder al desafío de proporcionar vivienda adecuada para la creciente población.

Desde hace ya bastantes años se han venido realizando investigaciones exitosas sobre el uso de fibras vegetales en la construcción, ya sean solas o como refuerzo en diferentes tipos de materiales tales como el suelo cemento y otros compuestos.

En esta era de la industrialización, la selección de los materiales se basa principalmente en el precio y el tipo de instalación utilizados para su producción o procesamiento, es así que países con economías menos desarrolladas buscan tecnologías acordes a su realidad que les permitan satisfacer las necesidades de las personas de manera más fácil, a menores costos y con un impacto negativo menor en el medio ambiente.

La actual crisis energética provocada por el indiscriminado crecimiento industrial, ha causado una preocupación creciente acerca de la gestión de los recursos de energía que quedan disponibles y la degradación del medio ambiente. Hay una intensa y continua búsqueda de materiales no contaminantes y cuyos procesos de fabricación requieran menos energía, por lo que los investigadores e industrias han recurrido a materiales tales como el bambú, suelo, residuos de industria, minería y la agricultura para su aplicación en la ingeniería.

Dentro de estas nuevas tecnologías se encuentra la alternativa de usar caña bambú como refuerzo estructural en elementos de hormigón, pudiendo ser empleada en construcciones de pequeña envergadura.

El solo bambú puede ser utilizado para hacer cualquier parte de una casa con excepción del fogón de la chimenea. En la mayoría de los casos, sin embargo, el bambú es combinado con

otros materiales de construcción tales como arcilla, cal, cemento, hierro galvanizado y hojas de palma, de acuerdo con su relativa eficiencia, disponibilidad y costo.

Existen últimamente numerosas investigaciones que proponen el empleo del bambú como refuerzo estructural en el hormigón como una alternativa económica para la construcción de viviendas en países con menor desarrollo y principalmente en el área rural.

## **1.2 Justificación**

Los países económicamente dependientes como el nuestro, y especialmente en las áreas rurales deben propender a utilizar con efectividad los recursos naturales propios de cada región evitando buscar materiales que no se producen y elevan los precios de la construcción.

En la actualidad existen investigaciones permanentes que buscan nuevas ideas o tecnologías que permitan obtener los mismos resultados sin afectar de manera negativa al medio ambiente.

Es por eso que se plantea una alternativa económica y ambientalmente beneficiosa para ser utilizada en construcciones de pequeña envergadura que satisfagan las necesidades básicas de los ocupantes.

La validez de esta alternativa está principalmente en zonas potencialmente ricas en fibras naturales como es el caso de las zonas tropicales en nuestro país y más específicamente de nuestro departamento.

En la presente investigación y a través de los ensayos de resistencia a la tracción y a flexión de elementos de bambú y reforzados con bambú se pretende demostrar que existe un incremento en la resistencia a flexión cuando se refuerzan elementos de hormigón simple utilizando caña bambú en relación a elementos conformados sólo de hormigón..

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Determinar el aporte de la caña bambú utilizado como armadura longitudinal en elementos de hormigón sometidos a flexión.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Estudiar las características principales de la caña bambú y sus diferentes usos como material de construcción.
- Tratar la caña con una sustancia que tenga efectos de fungicida.
- Tratar la caña para asegurar que exista adherencia con el hormigón.
- Determinar las propiedades mecánicas como resistencia a tracción, a compresión, y flexión de la caña bambú.
- Elaborar vigas de hormigón simple y vigas con refuerzo de bambú para ser sometidas al ensayo de flexión.
- Procesar y analizar los resultados obtenidos para su posterior comparación.
- Plantear el uso de bambú como refuerzo en vigas y su posible aplicación en losas.

## **1.4 Alcance del Estudio**

El estudio a realizarse busca plantear una nueva alternativa de refuerzo para el hormigón completamente diferente a la utilizada usualmente que es el acero.

Con la investigación se busca demostrar la viabilidad del uso del bambú como refuerzo estructural construyendo un marco de referencia teórico y práctico para sustentar lo que se desea afirmar.

Mediante la presente investigación se realizará un estudio de las características principales del bambú y sus diferentes usos como material de construcción para luego analizar su posible aplicabilidad como refuerzo estructural en elementos de hormigón.

Para esto se procederá a ensayar la caña bambú con el fin de obtener sus propiedades mecánicas como resistencia a tracción, resistencia a compresión y resistencia a flexión para determinar bajo qué condiciones esta trabaja de mejor manera.

Una vez obtenidos esos resultados se procederá a la elaboración de vigas de hormigón simple que serán ensayadas a flexión para obtener un valor promedio de su resistencia.

Luego se reforzarán vigas de hormigón con diferentes cuantías de bambú con el fin de someterlas al ensayo de flexión para obtener sus resistencias y comparar las mismas con las obtenidas en hormigón simple.

Finalmente se realizará la aplicación del hormigón reforzado con bambú en losas y vigas con dimensiones previamente definidas para demostrar su aplicabilidad en viviendas de pequeño tamaño, realizando una comparación de costos con el hormigón reforzado con acero.

## **CAPITULO II**

### **GENERALIDADES Y DEFINICIONES SOBRE EL HORMIGÓN, EL BAMBÚ Y EL HORMIGÓN REFORZADO CON BAMBÚ**

#### **1.1 EL BAMBÚ COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN**

##### **1.1.1 Características del bambú**

Los bambúes son plantas económicamente importantes debido a su diversidad de especies, que crecen en regiones tropicales y templadas de Asia y América. Se conocen como las gramíneas más grandes del mundo y se distinguen del resto de ellas por tener un hábito perenne, con sistema de raíces (rizomas) bien desarrollados y con tallos casi siempre lignificados y fuertes.

En el mundo existe un total de 89 géneros y 1035 especies, que se distribuyen desde los 46° de latitud norte hasta los 47° de latitud sur y desde el nivel del mar hasta los 4000 metros de altura en los Andes Ecuatoriales, en la formación conocida como páramo. Los bambúes pertenecen a los hábitats húmedos de las selvas nubladas y selvas bajas tropicales, aunque algunos crecen en hábitats secos como *Dendrocalamus strictus* del Asia y *Guadua paniculata* de América.

En América existen 45 géneros y 515 especies, es decir, la mitad de la diversidad mundial y se distribuyen desde los Estados Unidos, a lo largo y ancho de Centro y Sudamérica, en las Islas del Caribe, hasta el sur de Chile, y desde el nivel del mar hasta alturas de 4000 m en los páramos.

Con respecto a los bambúes leñosos americanos, la cordillera de los Andes representa el mayor centro de diversidad, observándose una mayor concentración de especies entre los 2.000-3.000 metros sobre el nivel del mar. Por debajo de los 1.000 m de altitud la diversidad disminuye, observándose un mayor incremento en el número de individuos a nivel de especie y un predominio de los géneros *Arthrostyidium*, *Guadua* y *Rhipidocladum*.

Como vemos, el bambú presenta una muy alta distribución geográfica debido a su gran adaptabilidad a diferentes condiciones de clima y suelos, es decir, se adapta a diferentes condiciones ecológicas y ambientales. No obstante, su crecimiento y desarrollo no siempre es igual en todos los sitios, por lo que se puede hablar de calidad de sitios buenos, regulares y malos según sean las condiciones ambientales y ecológicas para el desarrollo del bambú.

La calidad de sitio es un concepto ambiental cuantificable del crecimiento y desarrollo de los bambusales, en términos de factores bióticos como: densidad (número de tallos / ha), estados de madurez, altura, diámetro, sanidad y calidad de maderas con respecto a factores y condiciones donde se da dicho crecimiento, como: el clima (temperatura, precipitación, humedad, etc), las propiedades de suelos y la topografía del terreno.

El conocimiento de la calidad del sitio donde crecen los bambusales, es un requisito importante para acertar en su manejo técnico. De acuerdo con las observaciones de campo los factores que más determinan la calidad de los sitios en el desarrollo de los bosques de bambú, son los climáticos y edáficos, pero también influye en ello la calidad genética del material de reforestación, el manejo silvicultural y la influencia antrópica.

Por ejemplo, el mejor desarrollo de la especie *Guadua angustifolia*, se logra en sitios con altitudes comprendidas entre 1.300 y 1.500 m.s.n.m. Dicho desarrollo está representado en una mayor cantidad de individuos con diámetros elevados y en una mejor resistencia mecánica de la madera. Altitudes superiores a 1.500 m pueden retrasar el desarrollo de la especie, debido a la presencia de temperaturas bajas por espacios de tiempo prolongados.

Por el contrario, sitios con alturas por debajo de los 1.000 m.s.n.m, muestran temperaturas elevadas (mayores a 26 °C), lo que ocasiona la pérdida desproporcionada de agua de la lámina foliar y del suelo y, por consiguiente, un retraso en el desarrollo y crecimiento. La humedad del suelo se encuentra estrechamente correlacionada con el desarrollo de la especie.

La precipitación es el factor climático que más afecta el desarrollo y crecimiento de la *Guadua*, es así, como en sitios secos o muy húmedos, se encontraron los guaduales con las características de desarrollo más deficientes. A su vez, la distribución de la precipitación a lo largo del año, influye en el comportamiento general de la especie.

Por lo general los suelos francos, fértiles y de buen drenaje, ubicados en valles y zonas onduladas de montaña son los de mejor desarrollo del bambú. En suelos muy pesados y arcillosos, no crece muy bien la planta.

En cuanto al crecimiento de la planta hay que anotar que los bambúes carecen de tejido de cambium y por eso no presentan crecimiento secundario o incremento en diámetro, solamente tienen crecimiento primario o apical que los hace crecer únicamente en altura muy rápidamente.

Comparado con un árbol, los bambúes en general, y Guadua en particular, son de rápido crecimiento y de mayor productividad. Generalmente entre los 4 y 6 años la guadua está lista para ser utilizada y, si se maneja adecuadamente, una vez establecida, puede ser productiva ilimitadamente. Por lo general, el ciclo de crecimiento de un bambú constituye una tercera parte del ciclo de un árbol de rápido crecimiento, y su productividad por hectárea es dos veces la del árbol. Además, los bambúes emergen del suelo con su diámetro establecido, sin presentar incrementos en diámetro con el tiempo como sucede con los árboles.

La composición ideal de tallos en un gradual se ha estimado en 10% renuevos, 30% jóvenes, 60% maduros y sobre maduros, y 0% secos, con una densidad de 3000 a 8000 tallos por hectárea, presentándose una relación inversa entre densidad y diámetro promedio. La productividad por hectárea de esta especie es de 1.200 – 1.350 tallos/ha/año.

Guadua es una alternativa real como sustituto de la madera y, al igual que de otros bambúes, de ella se podría obtener industrialmente todo tipo de madera laminada y aglomerada (columnas, vigas, viguetas, cuarterones, tablas, paneles, etc.).

Las fases de desarrollo de un tallo o culmo de bambú se pueden resumir en cuatro: brotes o renuevos, tallos jóvenes o verdes, tallos maduros y tallos secos y se estima que ciclo de vida de un tallo esta entre 4 y 7 años.

### **Brote o renuevo**

El tiempo estimado desde que emerge hasta que alcanza su máxima altura es de 6 meses. Esta primera fase de desarrollo del gradual comprende desde la aparición del rebrote con su

diámetro definitivo hasta cuando llega a su máxima altura, sin presencia de ramas. En esta fase el tallo siempre está cubierto por hojas caulinares o "capachos" tanto en su parte basal, como en su parte apical o superior.

### **Verdes o jóvenes**

Se caracterizan los tallos por su color verde intenso y se aprecian claramente las bandas blancas en los nudos, posee ramas, conserva algunas hojas caulinares en su parte inferior. Esta fase tiene una duración aproximada de un año a un año y medio. Cuando el tallo se torna verde claro y empieza a presentar manchas blancuzcas en su corteza está iniciando su maduración.

### **Madura o hecha**

Una guadua madura presenta manchas blancas en forma de plaquetas que corresponden a hongos, se inicia la formación de líquenes en los nudos se atenúan las bandas de los nudos, no hay hojas caulinares en ninguna parte del tallo y la guadua adquiere su mayor grado de resistencia. Esta es la fase de mayor duración, entre 2 y 4 años.

### **Seca**

Se aprecia cuando los tallos están cubiertos por hongos y líquenes en su totalidad, se presentan algunos musgos en los nudos de aspecto gris, blancuzco, próxima a secarse, se estima que esta fase tiene una duración de un año. No se deben dejar llegar los guaduales a ese estado por cuanto en él, los tallos han perdido su resistencia y además se está impidiendo la generación de nuevos brotes.

## **1.1.1.1 Propiedades Físicas**

### **1.1.1.1.1 Contenido de Humedad**

La madera es un material higroscópico que siempre contiene agua, de hecho, en el árbol en pie la madera tiene como función el transporte de agua de la raíz hasta las hojas, lo que permite el proceso de crecimiento.

Para un uso adecuado de la caña bambú, una vez cortada la planta, es necesario remover o secarla hasta un contenido de humedad, que depende de las condiciones de uso posterior de la caña.

Al estar constituida la madera, en este caso particular, la caña, por una innumerable cantidad de células que consisten en paredes celulares y cavidades celulares o lúmenes, el agua en la caña bambú puede encontrarse en dos formas:

Agua libre, que llena las cavidades celulares como un líquido; teóricamente puede moverse más fácilmente de una célula a otra y eventualmente a la superficie de la caña bambú, para ser evaporada.

El agua que se encuentra contenida dentro de las paredes celulares se llama agua higroscópica o agua límite y sacarla de la caña requiere usar energía y puede producir mayores problemas para el efecto de la contracción.

En la caña recién cortada se encuentran ambas formas de humedad y se dice que la caña está en condiciones verde o húmeda; cuando la caña está seca al aire o parcialmente seca sólo contiene agua en las paredes celulares.

El término contenido de humedad (C.H) se define como la " cantidad de agua que una pieza de madera (caña bambú) contiene, expresada como porcentaje del peso anhidro o seco al horno de la pieza.

La fórmula para calcular el contenido de humedad es:

$$CH (\%) = \frac{\text{Peso Original} - \text{Peso seco al horno}}{\text{Peso seco al horno}} \times 100$$

En la fórmula anterior, el peso seco al horno significa que ha sido llevado a una estufa a 103°C y su contenido de humedad es 0%. Las especies de madera de baja densidad, tienen paredes delgadas y cavidades celulares relativamente grandes. Tales maderas pueden retener más que su propio peso en agua y así poseer un contenido de humedad verde de 200 a 400%.

Las maderas duras tienen paredes gruesas y cavidades celulares pequeñas, y por tanto el contenido de humedad máximo que pueden tener es menor del 100%.

Cuando la caña bambú alcanza un contenido de humedad tal que el agua libre ha sido evaporada y sólo contiene agua higroscópica se dice que ha alcanzado el punto de saturación de las fibras (P.S.E), el cual tiene gran importancia para el proceso de secado y corresponde a valores de contenidos de humedad del 24 al 32%; para casos prácticos se toma como 30% de contenido de humedad.

La caña bambú al ser apeada comienza un proceso de equilibrio con el medio ambiente. Este proceso se expresa a través de la pérdida del agua que posee en su interior, y será más o menos rápido según el medio y la especie de caña bambú.

En función del grado de humedad, las maderas se pueden clasificar en los siguientes tipos:

**Madera verde:** recién cortada y completamente húmeda (contenido en agua: 30-33%). En estas condiciones no puede ser empleada ya que al secarse se encoge y agrieta.

**Madera oreada:** es la que ha perdido una parte de su agua, pero que no ha sufrido aún contracciones ni cambio de sus propiedades mecánicas.

**Madera comercial:** es la que tiene un contenido en humedad inferior al 20%.

**Madera seca:** Su grado de humedad está en equilibrio con la humedad relativa del aire. Se obtiene apilando las tablas y tablones durante un periodo de tiempo, que puede llegar a varios meses, de forma que permita el paso de corrientes de aire a su través.

**Madera desecada:** es la que tiene una humedad inferior al 12%.

**Madera anhidra:** presentan un grado de humedad en torno al 3%.

#### **1.1.1.1.2 Densidad**

La densidad es una medida de cuánto material se encuentra comprimido en un espacio determinado; es la cantidad de masa por unidad de volumen. Como cada unidad material representa un átomo o molécula y estos tienen masa, la que se mide en gramos o en

kilogramos, entonces la densidad de una materia representa cuántos gramos o kilogramos hay por unidad de volumen.

Generalmente, la densidad se relaciona con la fuerza y la dureza, y la madera súper densa, como la "madera de hierro", está a la altura de su nombre.

Es importante conocer la densidad de la madera o caña, ya que de ella depende en gran parte el comportamiento de la misma, su adaptabilidad a eventuales tratamientos y modificaciones, así como la posibilidad de utilización que ofrece.

Existen diferentes tipos de densidad para la caña bambú, dentro de las cuales tenemos:

- Densidad de referencia: relación entre la masa y el volumen de la probeta, determinados ambos a un mismo contenido de humedad, para este tipo de densidad se definen:
  - o Densidad anhidra: relación entre la masa y el volumen de la probeta en estado anhidro.
  - o Densidad normal: relación entre la masa y el volumen determinados ambos a un mismo contenido de humedad igual al 12%.
- Densidad básica: relación entre la masa de la probeta en estado anhidro y el volumen de la probeta en estado verde.
- Densidad nominal: relación entre la masa de la probeta en estado anhidro y el volumen de la probeta al contenido de humedad en el ensayo (generalmente 12%)

#### **1.1.1.2 Propiedades Mecánicas**

La caña bambú, cuerpo sólido, poroso y heterogéneo, tiene la capacidad de resistir a sollicitaciones externas, que tienden a deformarla o alterar sus dimensiones.

Las propiedades mecánicas son las que determinan la capacidad que tienen los materiales de resistir fuerzas externas, con lo cual se puede controlar formas más adecuadas para diferentes empleos.

Al ser la caña un material heterogéneo, que se ve reflejado por la variabilidad que es posible encontrar en probetas extraídas de una misma especie y de diferentes plantas, o aún más de probetas provenientes de una misma planta, lo que muestra una marcada diferencia en su densidad y resistencia. Esta variabilidad responde a diferencias genéticas, de ambiente y/o ambas. Además de algunas de sus características que no son controladas o controlables como el contenido de humedad, la densidad, la nudosidad, el ángulo de fibras, etc.

#### **1.1.1.2.1 Tracción**

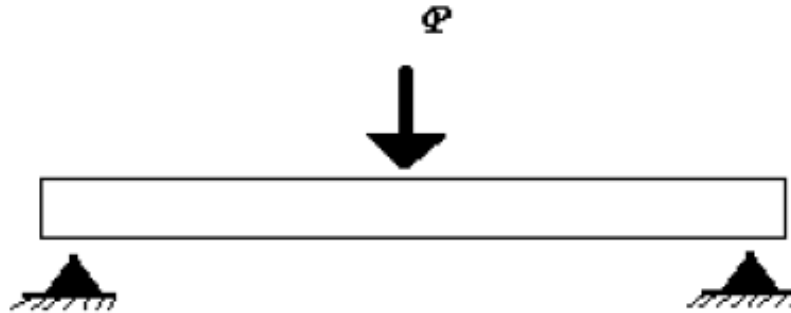
La caña bambú es un material muy indicado para trabajar a tracción (en la dirección de las fibras), viéndose limitado su uso únicamente por la dificultad de transmitir estos esfuerzos a las piezas cuando se la quiere utilizar en un conjunto. Esto significa que en las piezas sometidas a tracción los problemas aparecerán en las uniones.

Si se realiza un esfuerzo de tracción en la dirección axial, la magnitud de la deformación producida será menor que si el esfuerzo es de compresión, sobre todo en lo que concierne a las deformaciones plásticas. Es decir, que la rotura de la caña bambú por tracción se puede considerar como una rotura frágil. La resistencia a la tracción de la caña bambú presenta valores elevados. La resistencia de la caña a la tracción en la dirección de las fibras, se debe a las moléculas de celulosa que constituye, en parte, la pared celular. En la práctica existen algunos inconvenientes, que se han de tener en cuenta al someterla a este tipo de esfuerzos; en la zona de agarre existen compresiones, taladros, etc., que haría romper la pieza antes por raja o cortadura, con lo que no se aprovecharía la gran resistencia a la tracción. Por otra parte, los defectos de la caña, tales como nudos, inclinación de fibras, etc., afectan mucho a este tipo de sollicitación, disminuyendo su resistencia en una proporción mucho mayor que en los esfuerzos de compresión.

#### **1.1.1.2.2 Flexión**

Los esfuerzos en flexión se producen en cuerpos de gran longitud respecto a las dimensiones de su sección transversal, cuando estos son sometidos a la acción de cargas transversales o normales de su eje longitudinal, de tal manera que tiendan a producir una curvatura en el elemento. Un caso típico es el de la viga.

El ensayo de flexión estática mide la resistencia que opone una viga a una carga puntual aplicada en el centro de la luz o distancia entre apoyos aplicada en la cara radial de la probeta



**FIGURA N° 2.1.1.2.2**

#### **Viga en ensayo de flexión**

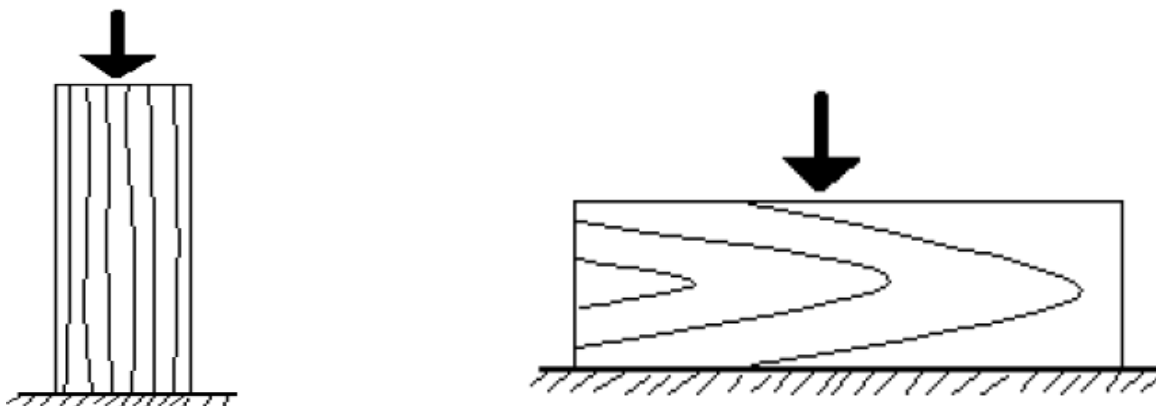
La flexión es una combinación de tres esfuerzos, tracción, compresión y cizalle. Estas causan la curvatura o deformación del cuerpo, con la parte superior cóncava (en compresión), la inferior convexa (en tracción) y el plano neutro tendiendo a resbalar entre las dos fuerzas opuestas (en cizalle).

El plano donde se produce la inversión del sentido del esfuerzo, se denomina plano neutro y su traza sobre la sección transversal se denomina eje neutro (el esfuerzo de flexión es nulo). Además, en la cara inferior de la viga se aprecia los esfuerzos máximo en tracción y en la cara superior el esfuerzo máximo en compresión.

#### **1.1.1.2.3 Compresión**

Se distinguen dos tipos de fuerzas de compresión según el sentido de aplicación de la fuerza; compresión paralela y compresión perpendicular a la fibra. La compresión paralela ocurre cuando una fuerza actúa de manera paralela a las fibras y corresponde a “la resistencia que opone una viga a una carga aplicada en el mismo sentido de la dirección de la fibra”. La compresión perpendicular, ocurre cuando la fuerza solicitante actúa en

dirección perpendicular a las fibras, y corresponde a “la resistencia que opone la caña bambú a una carga aplicada en sentido perpendicular a la dirección de las fibras en una cara radial de la probeta”



**Compresión Paralela**

**Compresión Perpendicular**

**FIGURA N° 2.1.1.2.3**

**Vigas sometidas a compresión paralela y perpendicular**

### **1.1.2 Zonificación de la caña bambú en Tarija**

Estudiando bibliográficamente y constatando en viajes específicos, se ha determinado que en el departamento de Tarija existe caña bambú en la cabecera del valle central (1800-2500 m.s.n.m.), que comprende las sub-formaciones de valles meso térmicos o monte de valle y de ceja de montaña o cañadones de altura; en valles bajos (1100 m.s.n.m) y chaco o subtrópico (600 m.s.n.m.); la caña bambú existe principalmente en las comunidades de San Telmo, Nogalitos y Entre Ríos, en la imagen que se muestra a continuación se indican los lugares de cada provincia donde existe la especie.



**FIGURA N° 2.1.2**

**Zonificación de la caña bambú en Tarija**

**1.1.3 Usos del bambú**

El bambú está considerado como una de las plantas más útiles del mundo y podría suplir las necesidades básicas del hombre. De acuerdo a la calidad de la madera los bambúes tienen diferente utilización. El estudio de las propiedades físico-mecánicas, que incluye contenido de humedad, peso específico, resistencia a la compresión, a la tensión y a la flexión, determinan si son aptos como elemento estructural en la construcción o para la elaboración de muebles; sus propiedades anatómicas son decisivas para determinar su uso en la fabricación de la pulpa de papel o la fibra textil (rayón); el análisis de la composición química y bioquímica, que implica proporciones de celulosa, hemicelulosa, y lignina, además de sustancias menores como: resinas, tainas, ceras, y sales orgánicas, y las variaciones de las mismas dependiendo de las condiciones de crecimiento, son informaciones que ofrece bases para nuevas posibilidades de uso.

La mayor aplicación del bambú se da en la construcción, en la fabricación de muebles, cestería, artesanías, papel, rayón, como alimento, y como recurso natural para la conservación y transformación del medio ambiente.

En el Nuevo Mundo el bambú ha sido utilizado por diferentes comunidades indígenas desde épocas prehispánicas. Actualmente algunas de estas comunidades utilizan especies de bambú como cuchillo para cortarle el ombligo al recién nacido y como antimicótico; poblaciones negras del Pacífico fabrican un ungüento contra el piojo del cabello a base de bambú. En la región amazónica algunas especies son utilizadas contra la mordedura de serpientes y la ceniza de sus hojas como cicatrizante; algunas especies son empleadas para combatir la tos y el sarampión. Esta misma tribu utiliza los tallos para elaborar los bastidores o "yanchamas" sobre los cuales templan las cortezas de árbol que extraen para decorar, y en la fabricación de flechas para la cacería; y los entrenudos los utilizan en la elaboración de instrumentos musicales.

En la región Andina, las comunidades que habitan entre 2.000-3.000 metros de elevación utilizan especies de bambúes de altura para la fabricación de instrumentos musicales, de cerbatanas, en la cestería, en la construcción de viviendas, de templos, como fuente de combustión y como alimento de curíes y otras especies menores.

En los páramos, las hojas se utilizan para el techado de las viviendas. En las tierras altas, desde Colombia hasta Bolivia, los tallos se emplean en la fabricación de instrumentos musicales tales como flautas, quenás, rondadores y zampoñas, y el agua de los entrenudos se reporta como medicinal para curar enfermedades renales.

Para las comunidades que habitan entre los 0-2.000 metros de elevación, la *Guadua angustifolia* es el bambú más útil; lo utilizan principalmente en la construcción, en las labores agropecuarias y artesanales; se emplea como planta ornamental y sus tallos se utilizan para la fabricación de fuegos artificiales y papelotes.

Se puede afirmar que cada especie de bambú tiene diferentes y específicos usos de acuerdo a sus características, además, cada parte diferente de la planta tiene también diferentes aplicaciones por lo que se puede concluir que el número de usos del bambú es ilimitado y cada continente en general y país y zona en particular ha desarrollado sus propios usos.

Mientras que hay países como China que transforma y usa sus bambúes en su mayoría como resultado de procesos industriales, hay otras regiones donde su uso se realiza de manera tradicional y vernácula.

#### **1.1.4 Comparación entre el bambú y el acero**

Una de las propiedades que harían al bambú un buen sustituto de acero en el hormigón es su resistencia. La resistencia a tracción del bambú es mayor que la mayoría de las maderas, alcanzando aproximadamente la cuarta parte de la resistencia a tracción del acero.

El bambú es fácilmente accesible ya que crece en casi todas las zonas tropicales y subtropicales lo que lo convierte en un reductor de los costos de construcción y aumenta la resistencia en edificios que no habían sido planificados con refuerzo.

Un problema importante con el bambú es que atrae organismos vivos tales como hongos e insectos y es más propenso que otros árboles y pastos debido a que contiene un alto contenido de nutrientes.

Con el fin de combatir ese problema, se hace necesario tratar al bambú para protegerlo del medio ambiente mientras que el acero no tiene este problema; pero por otra parte, éste necesita ser recubierto con el fin de protegerlo de la corrosión.

El bambú es muy ligero de peso en comparación con el acero y debido a su bajo módulo de elasticidad puede agrietarse y desviar más esfuerzo que el acero en las mismas condiciones.

Estos y muchos aspectos más ponen al bambú en la lista de materiales de construcción viables con el fin de reducir costos e impactos negativos en el medio ambiente relacionados a la construcción.

## **1.2 CARACTERÍSTICAS Y GENERALIDADES DEL HORMIGÓN**

### **1.2.1 Cemento**

El cemento es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua. Hasta este punto la molienda entre estas rocas es llamada clinker, ésta se convierte en cemento cuando se le agrega yeso, éste le da la propiedad a esta mezcla para que pueda fraguar y endurecerse. Mezclado con agregados pétreos (grava y arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo consistencia pétreo, denominada hormigón.

El cemento más utilizado como aglomerante para la preparación del hormigón es el cemento portland, producto que se obtiene por la pulverización del clinker portland con la adición de una o más formas de yeso (sulfato de calcio). Se admite la adición de otros productos siempre que su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante. Todos los productos adicionales deben ser pulverizados conjuntamente el clinker. Cuando el cemento portland es mezclado con el agua, se obtiene un producto de características plásticas con propiedades adherentes que solidifica en algunas horas y endurece progresivamente durante un período de varias semanas hasta adquirir su resistencia característica. El proceso de solidificación se debe a un proceso químico llamado hidratación mineral.

### **1.2.2 Agregados**

También denominados áridos, inertes o conglomerados son fragmentos o granos que constituyen entre un 70% y 85% del peso de la mezcla, cuyas finalidades específicas son abaratar los costos de la mezcla y dotarla de ciertas características favorables dependiendo de la obra que se quiera ejecutar.

Generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos. El agregado fino es aquel que pasa el tamiz 3/8 “ y es retenido en el tamiz N° 200 y el agregado grueso es aquel que es retenido en el tamiz N° 4.

### 1.2.2.1 Caracterización del Agregado Grueso

La grava o agregado grueso es uno de los principales componentes del hormigón o concreto, por este motivo su calidad es sumamente importante para garantizar buenos resultados en la preparación de estructuras de hormigón.

El agregado grueso estará formado por roca o grava triturada obtenida de las fuentes previamente seleccionadas y analizadas en laboratorio, para certificar su calidad. El tamaño mínimo será de 4,8 mm.

El agregado grueso debe ser duro, resistente, limpio y sin recubrimiento de materiales extraños o de polvo, los cuales, en caso de presentarse, deberán ser eliminados mediante un procedimiento adecuado, como por ejemplo el lavado.

La forma de las partículas más pequeñas del agregado grueso de roca o grava triturada deberá ser generalmente cúbica y deberá estar razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas en todos los tamaños.

#### 1.2.2.1.1 Granulometría

El agregado grueso debe estar bien gradado entre los límites fino y grueso y debe llegar a la planta de hormigón separado en tamaños normales cuyas granulometrías se indican a continuación:

Tamiz	Dimensión de la malla		% Que pasa	
-	-	19 mm	38 mm	51 mm
2"	50	-	100	100
1½"	38	-	95-100	95-100
1"	25	100	-	35-70
¾"	19	90-100	35-70	-
½"	13	-	-	oct-30
3/8"	10	20-55	10-30	-
Nº 4	4.8	0-10	0-5	0-5
Nº 8	2.4	0-5	-	-

**Fuente: ASTM C33 “Especificación Normalizada de Agregados para Concreto”**

A menos que específicamente se indique lo contrario, el tamaño máximo del agregado que deberá usarse en las diferentes partes de la obra será:

<b>Tamaño máximo</b>	<b>Uso general</b>
51 mm (2")	Estructuras de hormigón en masa: muros, losas y pilares de más de 1 m de espesor.
38 mm (1½")	Muros, losas, vigas, pilares, etc., de 30 cm a 1 m de espesor.
19 mm (¾")	Muros delgados, losas, alcantarillas, etc., de menos de 30 cm de espesor.

**Fuente: ASTM C33 “Especificación Normalizada de Agregados para Concreto”**

#### **1.2.2.1.2 Peso específico**

Puesto que el agregado, tanto permeable como impermeable, suele contener poros, resulta necesario definir con mucho cuidado el significado del término peso específico, pues en verdad existen varios tipos de peso específico.

El peso específico absoluto se refiere al volumen del material sólido que excluye todos los poros y se puede definir, como el resultado de la relación de la masa sólida, referida al vacío, respecto de la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gases, tomada ambas a una temperatura dada.

Por otro lado, si se considera que el volumen del sólido debe incluir los poros permeables, pero no los capilares, la palabra aparente debe calificar el peso específico resultante.

#### **1.2.2.1.3 Peso unitario**

El peso unitario es el peso de la unidad de volumen de material a granel en las condiciones de compactación y humedad, en las que se efectúa el ensayo, expresada en kg/m<sup>3</sup>.

Se denomina peso unitario suelto cuando para determinarlo se coloca el material seco suavemente en el recipiente hasta el punto de derrame y a continuación se nivela a ras una carilla. Es aquel que se usará invariablemente para la conversión de peso a volumen.

Se denomina peso unitario compactado cuando los granos han sido sometidos a compactación incrementando así el grado de acomodamiento de las partículas del agregado y por lo tanto el valor de la masa unitaria.

### **1.2.2.2 Caracterización del Agregado Fino**

La arena, agregado fino o árido fino se refiere a la parte del árido o material cerámico inerte que interviene en la composición del hormigón.

El agregado fino consiste en arena natural proveniente de canteras aluviales o de arena producida artificialmente. La forma de las partículas deberá ser generalmente cúbica o esférica y razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas. La arena natural estará constituida por fragmentos de roca limpios, duros, compactos, durables.

En la producción artificial del agregado fino no deben utilizarse rocas que se quiebren en partículas laminares, planas o alargadas, independientemente del equipo de procesamiento empleado.

En general, el agregado fino o arena deberá cumplir con los requisitos establecidos por norma, es decir, no deberá contener cantidades dañinas de arcilla, limo, álcalis, mica, materiales orgánicos y otras sustancias perjudiciales.

#### **1.2.2.2.1 Granulometría**

El agregado fino deberá estar bien gradado entre los límites fino y grueso y deberá llegar a tener la granulometría siguiente:

<b>Tamiz</b>	<b>Dimensión de la malla (mm)</b>	<b>% Que pasa</b>
N° 3/8"	9,52	100
N° 4	4,75	95 - 100
N° 8	2,36	80 - 100
N° 16	1,18	50 - 85
N° 30	0,6	25 - 60
N° 50	0,3	10-30
N° 100	0,15	02-10

**Fuente: ASTM C33 “Especificación Normalizada de Agregados para Concreto”**

#### **1.2.2.2.2 Peso Específico**

Puesto que el agregado, tanto permeable como impermeable, suele contener poros, resulta necesario definir con mucho cuidado el significado del término peso específico, pues en verdad existen varios tipos de peso específico.

El peso específico absoluto se refiere al volumen del material sólido que excluye todos los poros y se puede definir, como el resultado de la relación de la masa sólida, referida al vacío, respecto de la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gases, tomada ambas a una temperatura dada.

Por otro lado, si se considera que el volumen del sólido debe incluir los poros permeables, pero no los capilares, la palabra aparente debe calificar el peso específico resultante.

#### **1.2.2.2.3 Peso Unitario**

El peso unitario es el peso de la unidad de volumen de material a granel en las condiciones de compactación y humedad, en las que se efectúa el ensayo, expresada en  $\text{kg/m}^3$ .

Se denomina peso unitario suelto cuando para determinarlo se coloca el material seco suavemente en el recipiente hasta el punto de derrame y a continuación se nivela a ras una carilla. Es aquel que se usará invariablemente para la conversión de peso a volumen.

Se denomina peso unitario compactado cuando los granos han sido sometidos a compactación incrementando así el grado de acomodamiento de las partículas del agregado y por lo tanto el valor de la masa unitaria.

El procedimiento para determinar el peso unitario del agregado fino en el laboratorio es básicamente el mismo que el del agregado grueso, con la diferencia que para el primero se utilizará un recipiente de menores dimensiones para incrementar la precisión.

### 1.2.3 Dosificación

Los métodos de dosificación de hormigones tienen por finalidad encontrar las proporciones en que hay que mezclar a los diferentes componentes de los mismos para conseguir mezclas que posean determinadas características de consistencia, compacidad, resistencia, durabilidad, etc.

El cálculo teórico de las proporciones en que hay que mezclar a los componentes no exime de la comprobación experimental para la puesta a punto de la composición a adoptar. Esto es debido a que ningún método de dosificación puede tener en cuenta la gran cantidad de factores que influyen en las propiedades del hormigón a conseguir.

No existe un método único de dosificación, sino que, dependiendo de las condiciones que deba reunir el hormigón, el proyectista puede elegir uno entre varios de los muchos existentes y los resultados que se consigan con él serán buenos cuando éste se haya elegido convenientemente y se hayan realizado las correcciones oportunas mediante masas de prueba.

La determinación de una dosificación para hormigones debe hacerse partiendo de unos datos iniciales establecidos en base al proyecto y condiciones de ejecución (reales o previstas) de la obra. Como datos necesarios se pueden indicar, por orden de trascendencia, los siguientes:

1. Resistencia característica especificada.
2. Sistema de puesta en obra o consistencia del hormigón.
3. Características de los materiales:

- Cemento: tipo, categoría y peso específico

- Áridos: granulometría, peso específico y procedencia o forma.

En general, las dosificaciones se basan en los tres tipos siguientes:

- Dosificación del hormigón según mezcla de sus componentes en volumen, y en función de la riqueza de cemento que se necesite por m<sup>3</sup>.

- Dosificación por peso de sus componentes, partiendo de una cantidad fijada de cemento por m<sup>3</sup>.
- Dosificación en razón a las resistencias requeridas del hormigón a los 7, 14 ó 28 días (edad del hormigón).

#### **1.2.4 Mezclado del hormigón**

Es esencial que los ingredientes de la mezcla, se mezclen apropiadamente para producir hormigón fresco en el cual la superficie de todas las partículas de agregado es recubierta con pasta de cemento y que sea homogénea en la macro escala, para que posea propiedades uniformes. Casi invariablemente el mezclado se efectúa con vibradoras mecánicas.

#### **1.2.5 Colocación y Vibrado**

El propósito de la compactación del hormigón, es alcanzar la densidad más alta posible del hormigón. El medio más antiguo para realizar esto es por apisonamiento o picándolo, pero hoy día esta técnica se usa rara vez. El método usual de compactación es por vibración.

Cuando el hormigón se acaba de colocar en la cimbra, las burbujas de aire pueden ocupar entre 5 por ciento y 20 por ciento del volumen total. La vibración tiene el efecto de hacer fluido el mortero de la mezcla, de modo que la fricción interna se reduce y ocurre el compactado del agregado grueso.

La vibración se debe aplicar uniformemente a toda la masa de hormigón ya que de otra manera algunas partes de la misma no se compactarían adecuadamente, mientras que otras se podrían segregar a causa de una vibración excesiva.

#### **1.2.6 Curado**

Al secar la mezcla de hormigón los diferentes componentes del cemento, reaccionan con el agua a diferentes velocidades, sumado el hecho de que no toda la masa del cemento se pone en contacto con el agua para hacer posible la combinación, mientras mayor es el tiempo en que el hormigón se mantenga húmedo, mayor es la resistencia que se puede obtener.

Si el vaciado de hormigón no se protege, el agua de la mezcla se evapora demasiado rápido, la velocidad de evaporación depende de las condiciones climáticas imperantes.

Tanto las altas temperaturas como el viento excesivo pueden ayudar a que la evaporación sea más acelerada. En temperaturas altas el hormigón puede secarse en pocos minutos quedando una masa débil y muy porosa.

Existen muchas formas de curado simples como las tradicionales por medio de agua o telas o complejas por medio de pinturas o capas impermeables.

Algunos sistemas o técnicas de curado son inundar con agua cada ciertas horas, cubrir con arena, aserrín o tierra húmeda o utilizar aditivos impermeabilizantes; papel grueso, tela de harpillera, sacos de yute o cualquier otro recubrimiento que se pueda mantener húmedo. Los elementos prefabricados suelen sumergirse en tanques con agua o también se curan utilizando técnicas que implican nuevas tecnologías como los ventiladores de humectación.

Para curar las probetas y las vigas éstas deben ser desmoldadas luego de 24 horas de haber sido vaciadas, para introducirlas en agua a una temperatura entre 18 y 24 °C, hasta un día antes del ensayo cuando se trata de probetas y hasta el momento del ensayo cuando son vigas.

### **1.3 HORMIGÓN REFORZADO CON CAÑA DE BAMBÚ**

#### **1.3.1 Antecedentes**

En Asia, muy especialmente, el bambú se ha empleado como refuerzo del hormigón durante muchas décadas. Hasta ahora su uso fue limitado solamente a estructuras menores. La utilización de este material se ha visto cristalizada en épocas de escasez de acero, y no puede decirse que la experiencia fuera totalmente alentadora aunque el refuerzo de bambú ciertamente sufre limitaciones obvias de diseño. Este factor no debe obstruir su creciente adopción siempre que se tomen las precauciones debidas.

Si hablamos de ventajas en el uso del refuerzo de bambú en nuestro país debemos hablar de que en toda la zona subtropical de nuestro suelo existen variadas especies de bambú que

son subempleadas o simplemente se encuentran como testigos de su presencia vegetal en nuestra variada geografía. Además, se puede resaltar que plantar bambú ayuda a disminuir la erosión del terreno, provee protección contra el viento, sombreado y barreras, por lo que podría plantarse en gran escala y sin dificultades por la sencillez de las operaciones.

Ocupándonos del refuerzo de bambú podemos decir que la meta generalmente deseable es mejorar y desarrollar técnicas de construcción basadas en materiales disponibles en la localidad: además, no sólo significaría una sustitución parcial del acero (que económicamente es plenamente justificada) sino que introduciría una mejoría en la construcción rural.

Al ser el bambú un valioso material rural de construcción, existe una familiarización con su empleo.

Desde 1940 Data y De Simone, experimentaron con bambú y desde entonces diversas investigaciones pusieron en claro que el reforzamiento con bambú es factible, pero aún existen problemas concernientes a las uniones o ligaduras, cambios de volumen y posible descomposición o falla.

En distintas partes del mundo, muchas especies han sido probadas y existe diversidad en los resultados obtenidos, así, por ejemplo, se dice que el bambú alcanza a resistir altas fuerzas de tensión. Según la bibliografía consultada puede alcanzar valores de 53000 psi (3726 kg/cm<sup>2</sup>); pero este valor es sumamente variable pues se dan valores de 15000psi (1055 kg/cm<sup>2</sup>) y al ser el rango bastante apreciable, se debe definir con ensayos de especies locales.

### **1.3.2 Tratamiento de la superficie del bambú**

Muchos investigadores se han dedicado a buscar algún tratamiento eficaz y han utilizado una diversidad de formas para hacerlo; así por ejemplo, aconsejan el uso de mezclas como la de linaza-aguarrás o bitumen y querosene. También han experimentado con resinas de poliéster, sulfuros y otras sustancias para que la protección sea efectiva. De todas formas, según los resultados de las pruebas, se nota claramente una mejora substancial en cuanto a humedad y adherencia.

Según Frank B. Cox y Helmut G. Geymayer, han podido recopilar 6 formas de resolver los problemas que se presentan con la adherencia y humedad; ellos son:

- El uso de cañas secas las que, con el curado, sufren expansión que se cree vendría a compensar la subsiguiente contracción. Este método **NO ES RECOMENDABLE** por la aparición de fisuras considerables en la cubierta de hormigón.
- Revestir las cañas secas con alguna capa aislante a la humedad (barniz, asfalto, emulsión, pintura, etc.) retarda la variación de humedad de las cañas. Este método parece tener ventajas (cuando no tiene efectos lubricantes el revestimiento) y pudiera ser utilizado si hay materiales propios a mano.
- Revestir las cañas secas con material como poliéster o resinas que se adhieran firmemente a la superficie del bambú, aseguran positivamente las juntas del hormigón, y espolvorear arena en el revestimiento de resina fresca para producir una superficie rugosa.
- Saturar las cañas secas con líquido que no se evapore ni afecte adversamente las juntas, o afecte a ellas.
- Contar con trabas mecánicas entre el bambú y el hormigón a través de las hinchazones que se agrandan demasiado, es relativamente ineficaz para la contracción. El uso de cañas separadas en lugar de cañas enteras es fuertemente recomendado.
- En zonas tropicales donde la humedad es bastante elevada, puede ponerse cañas con ese porcentaje porque se mantendrán en ese estado sin perder significativamente su contenido de humedad.

Como podemos ver, mejorar las propiedades del bambú comienza en la plantación. Seleccionar las especies más resistentes y el cultivo de nuevas formas para obtener un material más adecuado para la construcción y para afrontar los desafíos del clima, los insectos y la podredumbre. Durante el periodo de crecimiento el bambú es muy poco exigente, es suficiente sacar los tallos caídos o rotos para dar a los demás la posibilidad de crecer hacia arriba directamente.

Johan van Legen en su “Manual del Arquitecto Descalzo” informa de un método de alterar la forma de las cañas de bambú uniéndolas, cuando aún son pequeñas. De esta manera las cañas se pueden obtener cuadrangulares o triangulares.

Otra forma importante de influir en la calidad del bambú consiste en elegir el tiempo de corte correcto: sólo se deben cortar después de alcanzar su plena madurez de acuerdo a las especies después de 3 a 6 años y en el periodo seco del año.

Inmediatamente después de cortar el bambú debe ser sometido a procesos de prevención con el fin de evitar la invasión de insectos y hongos. Los métodos tradicionales consisten en dejar el bambú con todas las hojas verticalmente de pie al aire alrededor de 6 semanas o sumergirlo sin hojas en agua corriente durante unas 4 semanas con el fin de lavar las sustancias nutritivas para las plagas.

Los métodos más modernos incluyen rociar y sumergir en una solución de plaguicidas, diésel, queroseno o una mezcla de estos. Esto, sin embargo, sólo se recomienda para bambú partido, dado que en las cañas la solución no penetra entre las cámaras de los entrenudos y los deja sin protección.

También existe la posibilidad de mejorar las cualidades del bambú en la elección del proceso de secado adecuado. Sobre todo se utiliza el secado del aire. Las cañas se almacenan agrupadas horizontalmente con la distancia adecuada entre ellas por cerca de seis semanas. El uso de aire caliente puede reducir el tiempo de secado

Con el fin de evitar los ataques de insectos y hongos, la caña bambú ha sido tratada con sulfato de cobre, sumergida de forma que la sustancia penetre y tenga efectos de fungicida. Se ha seguido un tratamiento típico utilizado en la Ingeniería Forestal para preservación de la madera, el cual consisten en:

a) Preparar una solución con la siguiente dosificación:

Sulfato de Cobre                      1,0 Kg.

Cal apagada                              0,5 Kg.

Agua                                        10 l.

- b) Cortar las cañas y sumergir las bases en la solución que debe estar en un recipiente no metálico, pues la solución es corrosiva.
- c) Dejar reposar un tiempo (4 ó 5 días) de tal forma que la solución penetre en las cañas, para luego dejar secar al aire y con la humedad deseada preparar la armadura de bambú a utilizar en el hormigón.

En lo que respecta a la adherencia, un aditivo denominado Sikadur 32 – Gel cuya principal función es trabajar como adhesivo estructural, ha sido probado mediante su aplicación sobre las barras de bambú, y los resultados muestran que el mismo incrementa la adherencia entre el hormigón y el bambú aproximadamente 5 veces comparado con el bambú sin tratar que es introducido en el hormigón.

Es por eso que para solucionar el problema de adherencia entre el bambú y el hormigón se seleccionó este producto aplicándolo como puente de adherencia con una brocha sobre la superficie preparada, tomando en cuenta que el hormigón fresco debía ser vaciado antes de 3 horas si la temperatura era hasta de 20°C o 1 hora si la misma era de 30°C.

### **1.3.3 Principios de diseño y construcción recomendados**

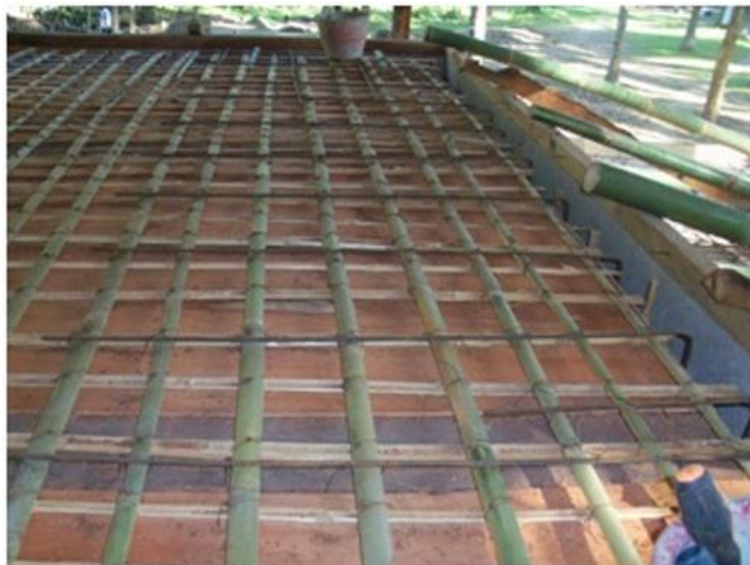
En base a diferentes bibliografías se pueden mencionar los siguientes principios de diseño y construcción recomendados con bambú:

- En elementos importantes de hormigón no se recomienda el empleo de cañas completas, verdes, como refuerzo del material. En losas de hormigón y elementos secundarios, pueden usarse con éxito cañas completas, verdes y sin estacionar, cuando los diámetros de las cañas no exceden los tres cuartos de pulgadas. Cuando sea posible, el bambú empleado como refuerzo de elementos de hormigón sujeto a flexión, deberá ser cortado y estacionado de tres semanas a un mes antes de su empleo.
- No se recomienda el empleo de cañas de bambú, como refuerzo de elementos de hormigón sujetos a flexión, si han sido cortadas en primavera o comienzos del verano. Solamente aquellas cañas que cuentan con una pronunciada coloración oscura podrán ser seleccionadas en la plantación originaria. Esta asegura que las cañas seleccionadas tengan por lo menos tres años de edad.

- Cuando se empleen cañas de bambú enteras completamente estacionadas, para el refuerzo de elementos importantes de hormigón sometido a flexión, es recomendable el uso de algún tipo de impermeabilización.
- Cuando se empleen listones de bambú estacionados provenientes de cañas de diámetro grande, para refuerzo de elementos de hormigón sometidos a flexión, se recomienda el empleo de impermeabilizante en todas las partes que soporten cargas importantes. Sin embargo, para losas y elementos secundarios y donde las secciones de hormigón sean de tales dimensiones que permitan la colocación del bambú con una separación de 1 ½ a 2 pulgadas entre los listones individuales de bambú, así como entre las capas sucesivas, es recomendable el empleo de secciones de bambú sin estacionar.
- Se recomienda el empleo de listones verticales de bambú a fin de soportar las tensiones diagonales de los elementos sometidos a flexión, cubriendo las partes de las vigas en las cuales los esfuerzos cortantes son grandes y donde sea poco práctico doblar los esfuerzos longitudinales con este objeto.
- El adecuado espaciamiento de los refuerzos de bambú es muy importante. Los ensayos indican que cuando el principal refuerzo longitudinal de bambú está muy poco espaciado, la resistencia del elemento a la flexión queda adversamente afectada.
- Al colocar el refuerzo de bambú debe tomarse la precaución de alternar los extremos superiores e interiores de las cañas de bambú en todas las hileras.
- El mismo procedimiento empleado para el diseño de elementos estructurales de hormigón reforzado con hierro se recomienda para el diseño de elementos reforzados con bambú. Se han establecido algunos valores para la tolerancia unitaria de la adherencia entre el bambú y el hormigón a la tensión, para la unidad resistencia del refuerzo longitudinal del bambú y para el módulo de elasticidad del bambú.
- Algunas de las características importantes de los elementos de hormigón reforzado con bambú, sobre los cuales deberán hacerse investigaciones en el futuro, incluyen:
- Empleo de aquellas especies de bambú cuyo módulo de elasticidad es mayor que el de las especies empleadas en estos experimentos.

- Información más exacta sobre el refuerzo de las tensiones diagonales.
- Obtener una información más exacta sobre la adherencia entre el hormigón y el bambú.
- El empleo de nuevos agentes impermeabilizantes, fuera de los usados en los ensayos, para medir el incremento de volumen del bambú seco cuando éste se coloca en el hormigón húmedo.

### 1.3.3.1 Disposición de armadura en losas



**FIGURA N° 2.3.3.1**  
**Disposición de la armadura en losas**

### 1.3.3.2 Disposición de armadura en vigas



**FIGURA N° 2.3.3.2.1**

#### **Disposición de la armadura en vigas**

### 1.3.4 Limitaciones del bambú y modo de subsanarlas

#### **Dimensiones variables**

Es difícil obtener cañas bien ajustadas dimensiones estándares. Por esta causa, el proceso o fabricación en bambú no puede ser mecanizado fácilmente.

Cuando hay una provisión ampliamente suficiente de cañas, las desventajas de esta variabilidad pueden ser superadas, hasta cierto punto, mediante especial cuidado en la selección y clasificación del material. Una ulterior compensación puede obtenerse prestando especial atención al desarrollo de alta destreza del corte y de la clasificación de las piezas.

### **Superficies Disparejas**

El empleo de ciertos bambúes se hace difícil por la combadura de las cañas, la prominencia de los nudos, la desigualdad de medidas y formas, y la proporción de variación longitudinal del ancho. La desigualdad y la conicidad, más marcas hacia el extremo superior de la caña, pueden hacer difícil obtener una construcción ajustada, a prueba de la intemperie y los insectos.

Para superar los efectos de la desigualdad el constructor puede seleccionar los bambúes pensando en las exigencias de su empleo. Las diferentes partes de cada caña pueden ser clasificadas de acuerdo con sus características dominantes, y las cañas pueden ser cortadas de acuerdo con tales bases. Los diversos cortes pueden separarse en grupos de acuerdo con los fines para los cuales sean más adecuados. Las cañas curvadas o en zig-zag pueden ser empleadas cuando la forma no es importante, o donde pueden proporcionar un efecto artístico. Los procedimientos especiales, tales como la eliminación de nudos en las cañas enteras, pueden permitir la obtención de conductos herméticos. Las cañas pueden ser rajadas para hacer paneles o esterillas. Finalmente el diseño de la estructura y sus detalles arquitectónicos pueden ser modificados en cierta extensión para utilizar más efectivamente la naturaleza y peculiaridades del material de construcción.

### **Extrema Habilidad**

Con excepción de los bambúes de paredes gruesas tales como el bambusa tulda y dendrocalamus strictus o aquellos de caña bambú relativamente blanda, tales como ciertas especiales de Guadua, los bambúes tienen tendencia a rajarse fácilmente, tendencia que proscribiera el empleo de clavos. Ello también limita el tipo de técnicas adecuadas para la construcción o unión de las unidades estructurales.

Los remedios sugeridos son emplear las cañas menos fácilmente hendibles, de las especies de paredes gruesas, para aquellos casos en que la gran propensión a rajarse sea una desventaja; hacer los cortes terminales más allá de los nudos, cuando sea posible. (los nudos tiene mayor coeficiente de resistencia al esfuerzo de corte que los internudos y por consiguiente presentan menor tendencia a rajarse) afirmar las uniones por medio de correas u otros materiales de amarre. Labrar o taladrar los agujeros para colocar los clavos, tornillos o clavijas.

### **Corta Duración**

Algunos bambúes son altamente susceptibles a la invasión o parcial destrucción por los insectos xilófagos, tales como las termitas o polillas. Pueden seleccionarse las especies de baja susceptibilidad a tales ataques, y las cañas pueden tratarse para hacerlas menos vulnerables. Las superficies cortadas de los extremos de las cañas son los sitios por donde los insectos efectúan por lo general su entrada y deben ser motivo de especial cuidado.

Muchos bambúes muestran también una gran susceptibilidad a la descomposición por hongos, especialmente en condiciones húmedas y al contacto con el suelo húmedo. En este caso, también la selección de las especies ha de contribuir a superar estas debilidades, pero deberá emplearse alguna forma de tratamiento preservativo para prolongar la utilidad de los bambúes expuestos a los suelos húmedos.

### **Preservación**

Los bambúes varían de especie en especie en cuanto a la susceptibilidad de sus cañas a la invasión de los insectos xilófagos. Aunque las cañas de unos pocos bambúes, especialmente la Guadua, tienen aparentemente una resistencia relativamente alta, tanto a los insectos xilófagos como a la descomposición por los hongos, casi todos parecen más o menos susceptibles bajo ciertas condiciones. De acuerdo con las observaciones de Plank, realizadas durante el transcurso de los experimentos llevados a cabo en la Estación Experimental de Mayaguez (Puerto Rico) existe cierta correlación definida entre la susceptibilidad a la invasión de los insectos xilófagos y el contenido de almidón y humedad de la caña bambú. Existe probablemente una susceptibilidad correlacionada similarmente con la descomposición causada por los hongos.

Tanto el contenido de almidón de la caña bambú como el de humedad, varían con las especies y la edad de las cañas, especialmente durante los primeros dos años, o algo más o menos. El contenido de almidón puede aumentar o disminuir desde la base hacia el extremo de la caña. Toda reducción del almidón o del contenido de humedad, o ambos, tiende a reducir la posibilidad de ataque por los insectos xilófagos. Se encontró en Puerto Rico que el curado de las cañas en grupos es un medio efectivo de reducción de su susceptibilidad.

## **CAPITULO III**

### **DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

Con el fin de determinar la resistencia a flexión en elementos de hormigón reforzado con bambú, se caracterizaron todos sus componentes, es decir, primero se obtuvieron las características tanto físicas como mecánicas de la caña a ser utilizada, para definir las condiciones bajo las cuales ésta trabaja de manera óptima. Luego se procedió a caracterizar los agregados a ser empleados, para en base a sus características realizar la dosificación más conveniente que permita alcanzar la resistencia a compresión de 210 Kg/cm<sup>2</sup> en el hormigón preparado.

A continuación, utilizando los resultados anteriores se procedió a ensayar a flexión vigas de hormigón simple y vigas de hormigón reforzado con bambú el cual previamente fue recubierto con una capa del aditivo SIKADUR 32 GEL para asegurar la adherencia. Se emplearon diferentes cuantías con el fin de observar si existe o no un aporte del bambú en la resistencia a flexión cuando éste es introducido en el hormigón.

#### **3.1 Ensayos sobre el bambú**

Para la obtención de las propiedades tanto físicas como mecánicas de la caña bambú se realizaron los diferentes ensayos correspondientes, en base normas establecidas por la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT).

##### **3.1.1 Contenido de Humedad**

###### **3.1.1.1 Procedimiento**

El término contenido de humedad (C.H) se define como la" cantidad de agua que una pieza de madera (caña bambú) contiene, expresada como porcentaje del peso anhidro o seco al horno de la pieza.

La fórmula para calcular el contenido de humedad es:

$$CH (\%) = \frac{\text{Peso Original} - \text{Peso seco al horno}}{\text{Peso seco al horno}} \times 100$$

En la fórmula anterior el peso seco al horno significa que ha sido llevado a una estufa a 103°C y su contenido de humedad es 0%. Las especies de madera de baja densidad, tienen paredes delgadas y cavidades celulares relativamente grandes. Tales maderas pueden retener más que su propio peso en agua y así poseer un contenido de humedad verde de 200 a 400%.

Para los diferentes ensayos realizados en la caña bambú, se utilizaron muestras con contenidos de humedad dentro del rango del 5 al 20 % ya que con contenidos menores de humedad la caña se vuelve muy frágil y tiende a quebrarse al ser sometida a cualquier tipo de esfuerzo y para contenidos de humedad más elevados, la caña es más susceptible a sufrir ataques de insectos o a pudrirse. Además que elevados contenidos de humedad en la caña harán que esta pierda volumen cuando se encuentre dentro del hormigón lo que ocasionará la presencia de vacíos en el mismo.

De todos los ensayos realizados se puede concluir que el contenido de humedad “óptimo” para obtener mayores resistencias en la caña está dentro del rango del 10 al 15%.

### **3.1.2 Densidad**

#### **3.1.2.1 Procedimiento**

La densidad es una medida de cuánto material se encuentra comprimido en un espacio determinado; es la cantidad de masa por unidad de volumen. Como cada unidad material representa un átomo o molécula y estos tienen masa, la que se mide en gramos o en kilogramos, entonces la densidad de una materia representa cuántos gramos o kilogramos hay por unidad de volumen.

La densidad calculada para la caña bambú fue la “densidad nominal” que es relación entre la masa de la probeta en estado anhidro y el volumen de la probeta al contenido de humedad en el ensayo.

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

**Dónde:**

**M**= masa de la probeta en estado anhidro

**V**= volumen de la probeta al contenido de humedad del ensayo

El valor medio de la densidad para la caña estudiada es de aproximadamente 650 Kg/m<sup>3</sup>.

### **3.1.3 Tracción**

El ensayo utilizado para obtener la resistencia a tracción paralela a las fibras de la caña bambú es el denominado “Método de ensayo de tracción paralela a la fibra” de la Norma COPANT 742, mediante el cual se determina el esfuerzo unitario máximo, el esfuerzo unitario al límite de proporcionalidad y el módulo de elasticidad de las maderas a la tracción paralela al grano.

#### **3.1.3.1 Número de probetas**

La cantidad de probetas a ensayar está determinada por el grado de exactitud buscado, según norma panamericana COPANT 458, en este caso se estudiaron 20 probetas.

#### **3.1.3.2 Instrumental**

Para efectuar este ensayo es necesario disponer de los siguientes elementos:

Prensa.- Provista de dos crucetas, una móvil y otra fija y un mecanismo que permita regular la velocidad de la cruceta móvil.

Mordazas.- Son dos piezas idénticas. Una de ellas se asegura a la cruceta móvil y la otra a la cruceta fija.

Extensómetro.- de sensibilidad igual o superior a 0,0002 mm.

#### **3.1.3.3 Procedimiento**

Las probetas se ensayan con dos rangos de contenido de humedad, el primero entre 5 y 10% y el segundo entre 10 y 15%. El acondicionamiento se realiza según la norma panamericana COPANT 459.

Las probetas se colocan y se mantienen durante todo el ensayo en tal forma que la cruceta móvil se desplace con una velocidad de 1,00 mm/min $\pm$  0,25 mm/min y de modo que las mordazas, con la probeta montada, tiendan a separarse entre sí.

La velocidad del cabezal corresponde a la velocidad del cabezal sin carga para máquinas de ensayo de tipo mecánico y a la velocidad del cabezal con carga en máquinas de ensayo del tipo hidráulico.

Se debe trazar, para cada probeta, una curva carga-deformación con la ayuda del extensómetro con una luz de 5 cm entre cuchillas de las abrazaderas, hasta pasar el límite de proporcionalidad. El extensómetro debe montarse sobre la probeta, en sus caras radiales, de tal manera que el punto medio de la separación de las cuchillas coincida con el punto medio de la longitud de la probeta. Las deformaciones deben leerse con la precisión necesaria. El ensayo debe continuar hasta producir la rotura de la probeta.

De la zona cercana al sitio en que se produjo la rotura se corta una porción de 3 cm de longitud que se destina a la determinación de la humedad y del peso específico aparente de la probeta ensayada conforme con las normas panamericanas COPANT 460 y 461.

#### **3.1.3.4 Cálculos**

El esfuerzo unitario máximo se calcula con la fórmula siguiente:

$$EM = \frac{P}{A}$$

Dónde:

EM=esfuerzo unitario máximo, en Newton por centímetro cuadrado.

P=la carga máxima soportada por la probeta en Newton

A=área de la sección mínima de la probeta, en centímetros cuadrados.

El esfuerzo unitario al límite de proporcionalidad se calcula con la fórmula siguiente:

$$ELP = \frac{P1}{A}$$

Dónde:

ELP= esfuerzo unitario al límite de proporcionalidad, en Newton por centímetro cuadrado.

P1=la carga al límite de proporcionalidad, en Newton.

A= área de la sección mínima de la probeta en centímetros cuadrados.

Los resultados obtenidos en el laboratorio fueron los siguientes:

Muestras con contenido de humedad del 5 al 10%

**TABLA N° 3.1.3.1**

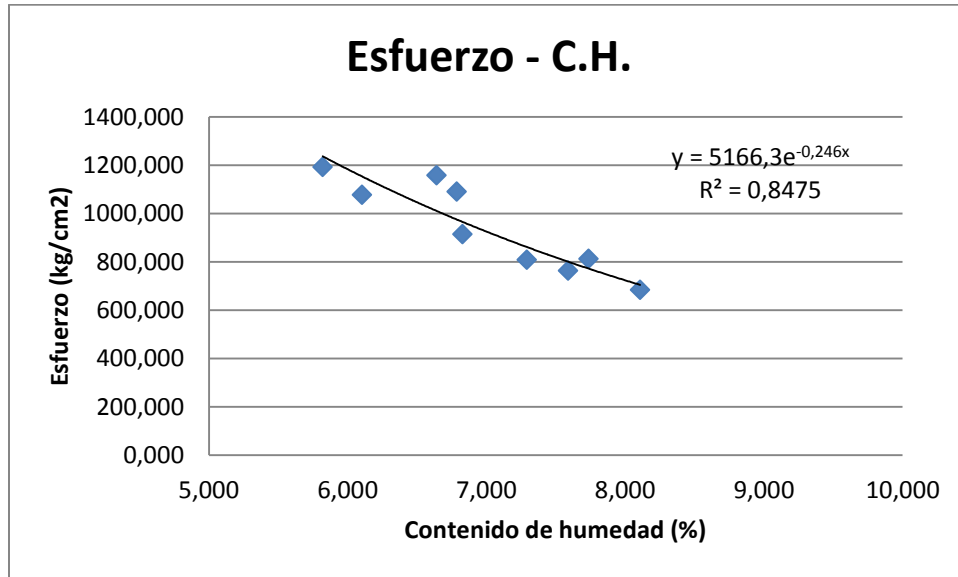
**Resultados obtenidos a tracción en muestras con contenido de humedad entre 5 y  
10 %**

<b>Muestra</b>	<b>Esfuerzo De Rotura</b>	<b>Esfuerzo Limite Proporcionalidad</b>	<b>C.H.</b>
<b>N°</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(%)</b>
1	638,868	0,000	9,259
3	1297,825	1191,881	5,820
4	714,479	683,415	8,108
5	1247,803	1157,756	6,642
10	1114,529	1090,300	6,787
15	804,122	763,916	7,589
16	1117,380	1076,600	6,103
17	855,738	808,197	7,292
18	831,174	813,105	7,738
19	962,500	914,047	6,829
<b>Promedio</b>	958,442	849,922	7,217

**Fuente: Elaboración Propia**

**Gráfica N° 3.1.3.1**

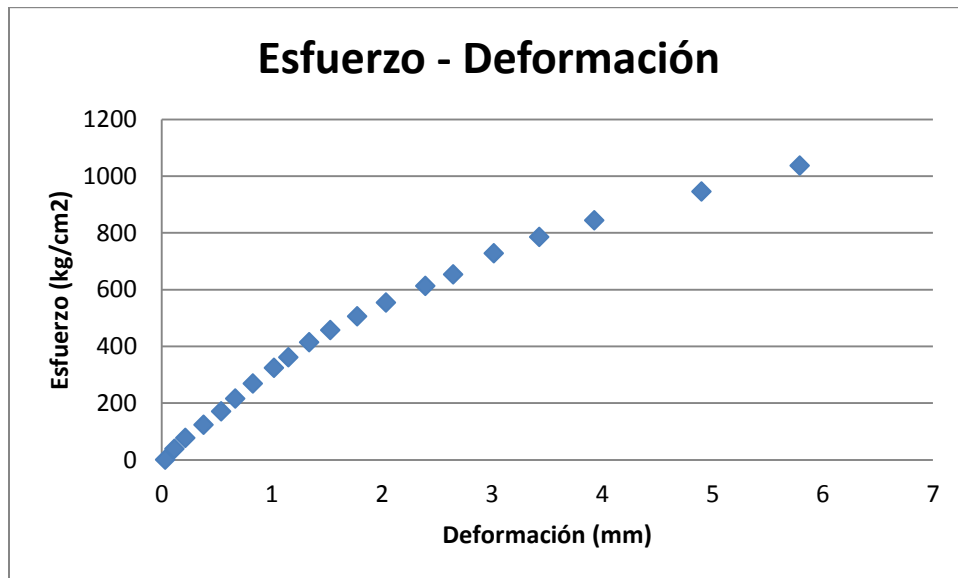
**Esfuerzo de tracción al límite de proporcionalidad Vs Contenido de humedad en el rango del 5 al 10%**



**Fuente: Elaboración Propia**

**Gráfica N° 3.1.3.2**

**Curva promedio de Esfuerzo-Deformación a la tracción en un rango de 5 al 10% de contenido de humedad**



**Fuente: Elaboración Propia**

**TABLA N° 3.1.3.2**

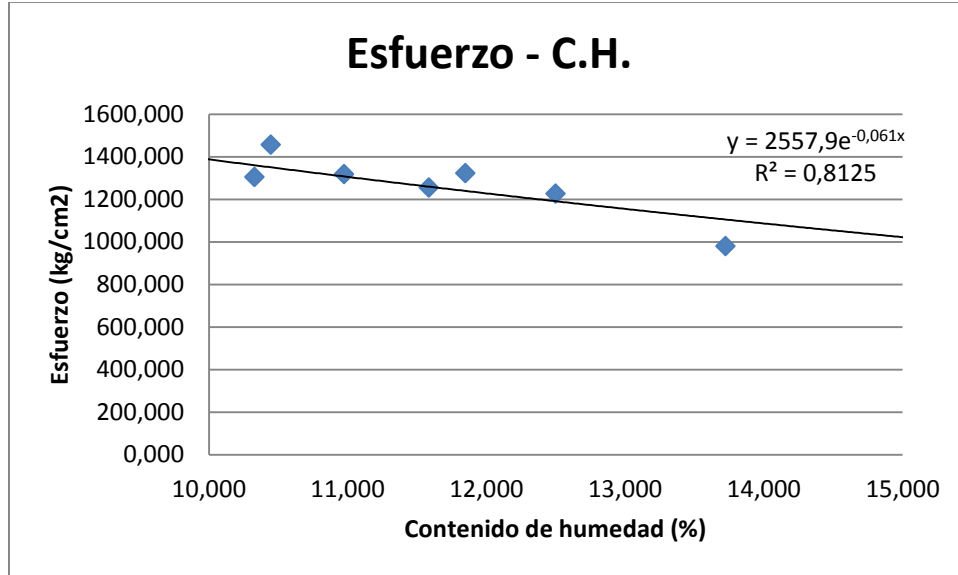
**Resultados obtenidos a tracción en muestras con contenido de humedad entre 10 y 15%**

<b>Muestra</b>	<b>Esfuerzo De Rotura</b>	<b>Esfuerzo Limite Proporcionalidad</b>	<b>C.H.</b>
<b>N°</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(%)</b>
2	1483,876	1456,140	10,448
6	1335,165	1322,569	11,848
7	1323,477	1304,156	10,329
8	1363,579	1318,126	10,976
9	1674,688	1367,497	9,406
11	1636,323	1254,256	11,585
12	1009,523	978,931	13,725
13	1045,714	1014,025	15,179
14	1088,052	1051,783	15,138
20	1467,562	1226,169	12,500
<b>Promedio</b>	1342,796	1229,365	12,113

**Fuente: Elaboración Propia**

**Gráfica N° 3.1.3.3**

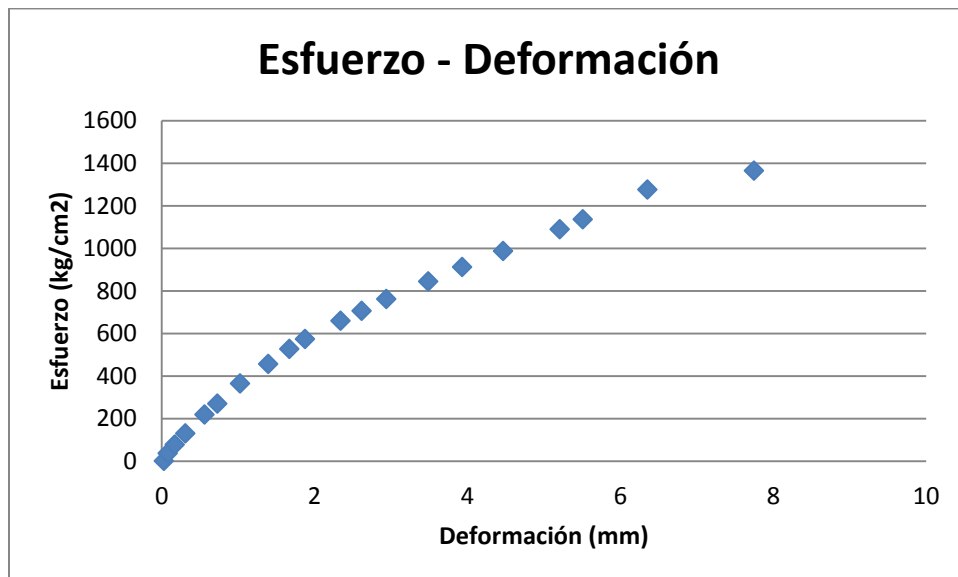
**Esfuerzo de tracción al límite de proporcionalidad Vs Contenido de humedad en el rango de 10 al 15%**



**Fuente: Elaboración Propia**

**Gráfica N° 3.1.3.4**

**Curva promedio de Esfuerzo-Deformación a la tracción en un rango de 10 al 15% de contenido de humedad**



**Fuente: Elaboración Propia**

**TABLA N° 3.1.3.3**

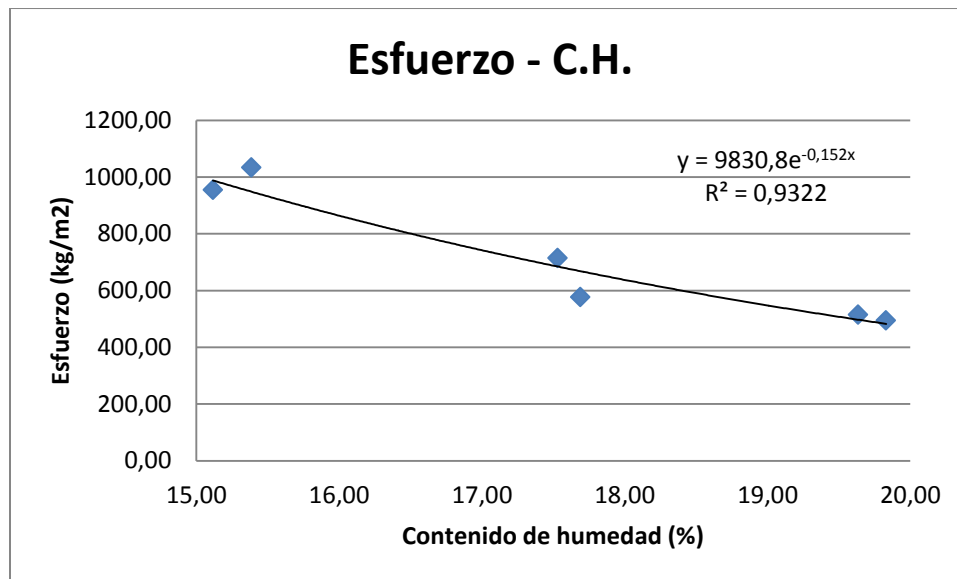
**Resultados obtenidos a tracción en muestras con contenido de humedad entre 15 y 20%**

Muestra	Esfuerzo De Rotura	Esfuerzo Limite Proporcionalidad	C.H.
N°	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	(%)
21	617,20	576,05	17,69
22	562,77	513,83	19,63
23	1066,23	1032,84	15,38
24	524,67	493,81	19,83
25	1073,39	954,12	15,12
<b>Promedio</b>	768,85	714,13	17,53

**Fuente: Elaboración Propia**

**Gráfica N° 3.1.3.5**

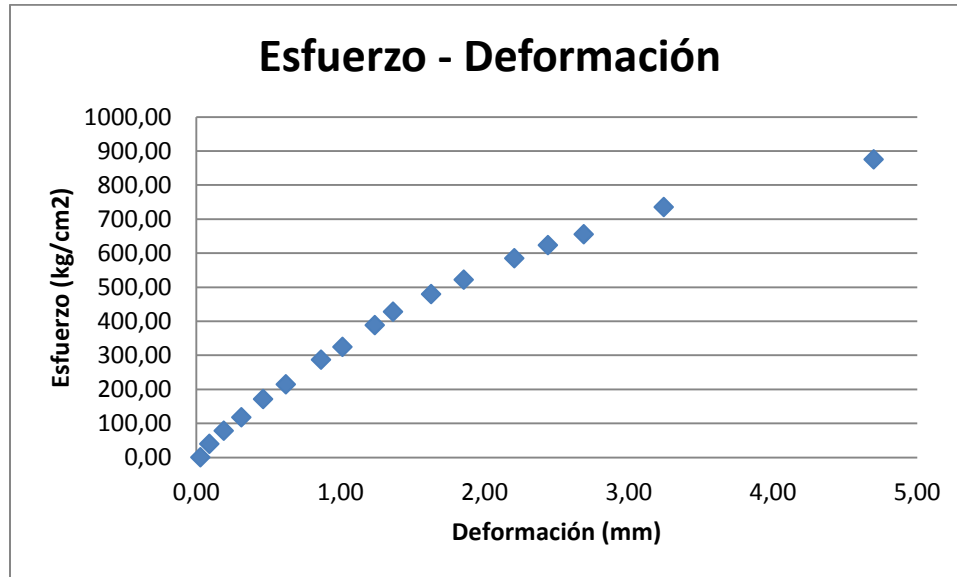
**Esfuerzo de tracción al límite de proporcionalidad Vs Contenido de humedad en el rango de 15 al 20%**



**Fuente: Elaboración Propia**

Gráfica N° 3.1.3.6

Curva promedio de Esfuerzo-Deformación a la tracción en un rango de 15 al 20 % de contenido de humedad



Fuente: Elaboración Propia

El módulo de elasticidad se calcula con la fórmula siguiente:

$$MOE = \frac{P2l}{Ad}$$

Dónde:

MOE=el módulo de elasticidad, en Kilogramo por centímetro.

P2= la fuerza correspondiente a la deformación d en o bajo el límite de proporcionalidad, en Newton.

l= la luz entre cuchillas de las abrazaderas del extensómetro en centímetros.

A= área de la sección mínima de la probeta, en centímetros cuadrados.

d= deformación de la probeta.

Con todas las muestras ensayadas a tracción se calculó el módulo de elasticidad de la caña obteniendo los siguientes valores:

**TABLA N° 3.1.3.4**  
**Resultados obtenidos del módulo de elasticidad**

<b>MUESTRA</b>	<b>MODULO DE ELASTICIDAD</b>
<b>N°</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1	246559,46
2	254761,17
3	269339,09
4	191441,63
5	222733,52
6	222761,65
7	231931,15
8	217799,63
9	209825,06
10	187575,94
11	231626,23
12	233134,58
13	203356,16
14	202281,00
15	186905,94
16	198459,44
17	199482,10
18	205669,80
19	214602,38
20	199242,76
21	242461,12
22	194284,66
23	193002,49
24	232055,96
25	236277,79
<b>PROMEDIO</b>	<b>217102,83</b>

**Fuente: Elaboración Propia**

Donde vemos que en promedio el módulo de elasticidad de la caña bambú utilizada es de 217102,83 Kg/cm<sup>2</sup>.

### **3.1.4 Flexión**

Con el fin de obtener la resistencia a flexión de la caña bambú, se realizó el ensayo denominado “Método de ensayo de flexión Estática” según la Norma COPANT 555

#### **3.1.4.1 Preparación de probetas**

Los ensayos de flexión estática en la caña bambú se realizaron en varillas de caña de entre los 49 y 55 cm de longitud con variaciones en los diámetros.

#### **3.1.4.2 Número de probetas**

El número de probetas a ensayar está determinado por el grado de exactitud que se desee lograr en el ensayo, según la Norma COPANT 458 el número de probetas utilizadas en esta investigación fue de veinte.

#### **3.1.4.3 Instrumental**

Prensa.- Una máquina de ensayo universal, provista de mecanismo que permita regular la velocidad lineal del cabezal.

La probeta está soportada de tal manera que en sus apoyos no se produzca aplastamientos, roces y otros esfuerzos ajenos a la flexión. Además los dispositivos de apoyo deben permitir la libre deformación de la probeta y la absorción de leves torsiones o albeos que ella pudiera experimentar durante el montaje y el proceso de carga.

Cabezal o bloque de carga.- La carga se aplica a través de un cabezal de metal o madera cuyo peso específico no sea menor de  $1\text{g/cm}^3$ .

Deflectómetro.- En caso de que la prensa empleada no disponga de dispositivos capaces de registrar automáticamente la curva que relaciona la fuerza aplicada y la deformación obtenida, se emplea un deflectómetro de precisión requerida.

#### **3.1.4.4 Procedimiento**

Se mide el ancho (b) y la altura (h) en nuestro caso el diámetro (d) de la probeta en el centro de su longitud (l).

Cumpliendo con el requerimiento de que la luz (l) de ensayo debe ser mínimamente 14 veces el diámetro de las probetas.

Se coloca la probeta sobre los apoyos, de modo que la carga sea aplicada mediante el cabezal, con el punto medio de la luz y en el plano tangencial más cercano a la médula.

Se aplica la carga en forma continua, con una velocidad del cabezal de 2,5 mm/min para la probeta cuyo diámetro es 5 cm y de 1,0 mm/min para probetas con diámetro de 2 cm.

Cuando se utilice el deflectómetro se miden las flechas (d) producidas en la mitad de la luz para cargas progresivas, con intervalos de carga convenientemente elegidos, de modo que con las lecturas que así se obtengan, se pueda efectuar la determinación del límite de proporcionalidad (P2) en el gráfica carga-deformación con la precisión requerida.

### 3.1.4.5 Cálculos

Cálculo del esfuerzo unitario en el límite de proporcionalidad.- En el gráfica que relaciona la fuerza aplicada y la deformación obtenida debe ubicarse el punto P2 correspondiente al extremo de la parte recta del gráfica, es decir el punto en que comienza la línea curva del gráfica; este punto P2 corresponde a la carga límite de proporcionalidad. Para el cálculo se aplica la fórmula siguiente:

$$ELP_f = \frac{P2 * L}{4 * \pi * R^2 * e}$$

Dónde:

ELP<sub>f</sub>= esfuerzo unitario en el límite de proporcionalidad, en kilogramos fuerza por centímetro cuadrado.

P2=carga en el límite de proporcionalidad, en kilogramos fuerza

L=luz de la probeta, es decir separación entre apoyos, en centímetros.

R= radio externo de la caña.

e= espesor de las paredes de la caña.

Al haberse demostrado con el ensayo de tracción que contenidos de humedad superiores al 15% proporcionan resistencias menores, este ensayo fue realizado en dos rangos los cuales son del 5 al 10% y del 10 al 15%.

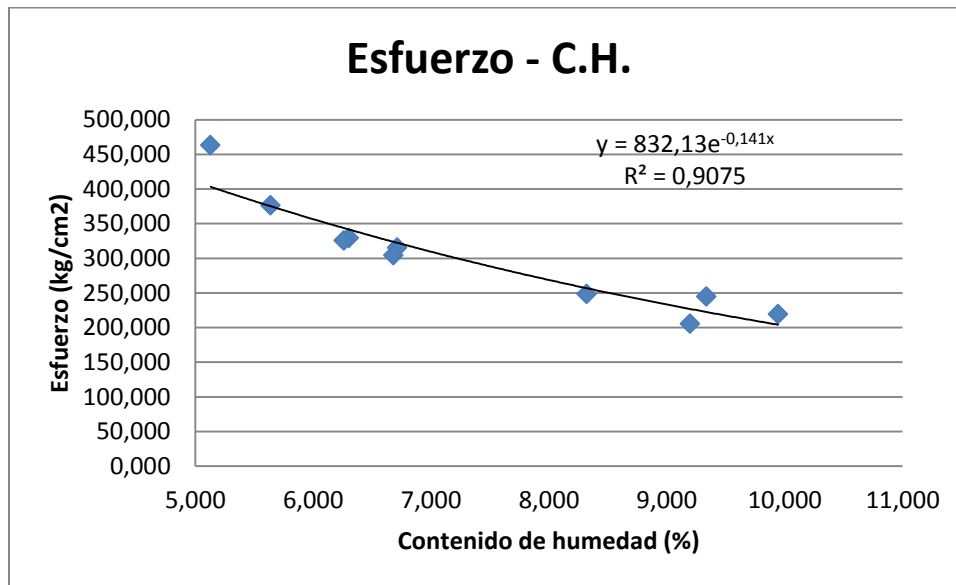
**TABLA N° 3.1.4.1****Resultados obtenidos a flexión en muestras con contenido de humedad entre 5 y 10%**

<b>Muestra</b>	<b>Esf. Rotura</b>	<b>Esf. Limite Proporcionalidad</b>	<b>C.H.</b>
<b>N°</b>	<b>Kg/cm2</b>	<b>Kg/cm3</b>	<b>(%)</b>
1	342,689	328,981	6,304
2	343,791	325,697	6,261
3	315,114	315,114	6,712
5	514,455	463,010	5,128
6	439,272	376,519	5,638
11	268,949	248,261	8,321
12	256,875	205,500	9,198
13	243,816	219,434	9,944
14	252,881	244,723	9,337
15	316,974	304,295	6,680
<b>PROMEDIO</b>	329,481	303,153	7,352

**Fuente: Elaboración Propia**

**Gráfica N° 3.1.4.1**

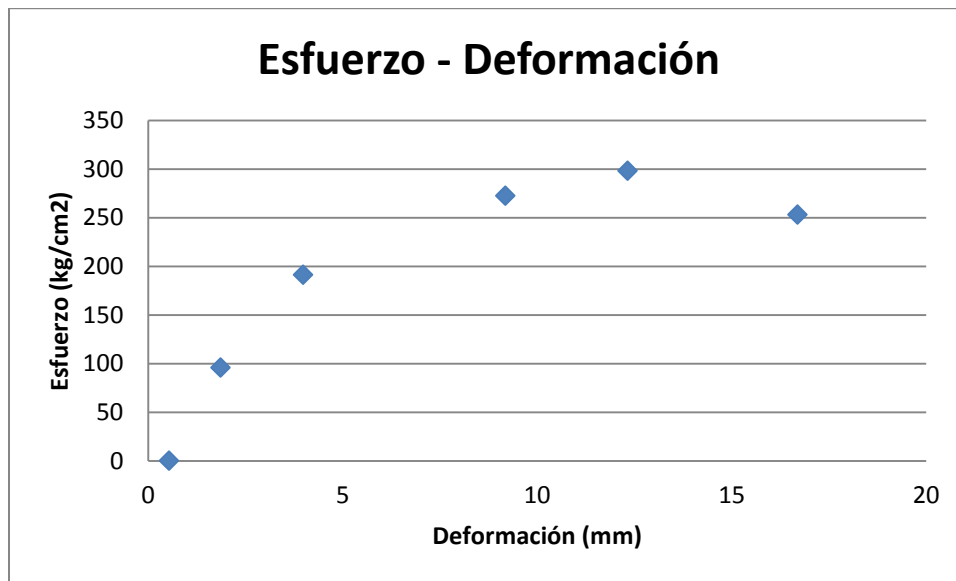
**Esfuerzo a flexión al límite de proporcionalidad Vs Contenido de humedad en el rango de 5 al 10%**



**Fuente: Elaboración Propia**

**Gráfica N° 3.1.4.2**

**Curva promedio de Esfuerzo-Deformación en flexión en un rango de 5 al 10 % de contenido de humedad**



**Fuente: Elaboración Propia**

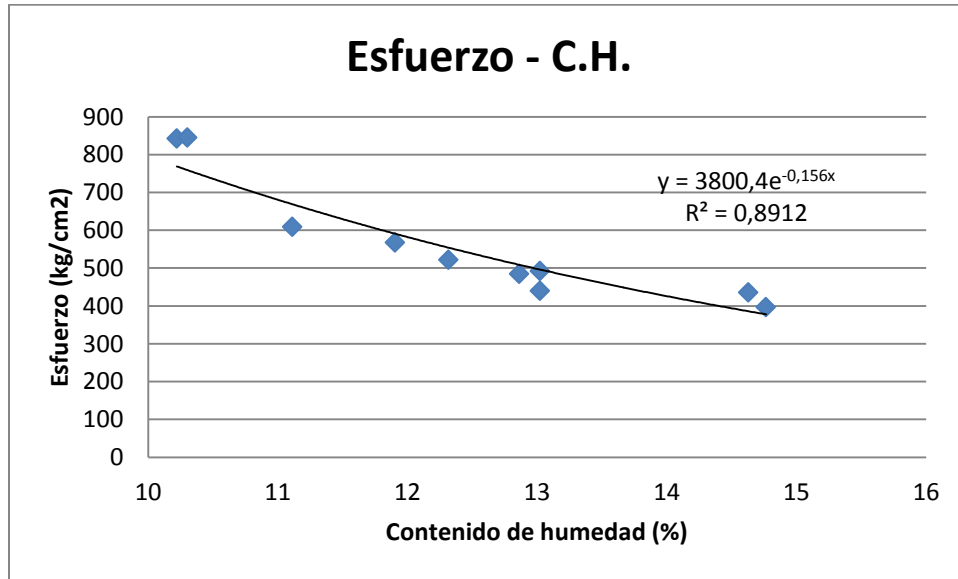
**TABLA N° 3.1.4.2****Resultados obtenidos a flexión en muestras con contenido de humedad entre 10 y 15%**

<b>Muestra</b>	<b>Esf. Rotura</b>	<b>Esf. Limite Proporcionalidad</b>	<b>C.H.</b>
<b>N°</b>	<b>Kg/cm2</b>	<b>Kg/cm3</b>	<b>(%)</b>
4	528,536	396,402	14,765
7	936,309	842,678	10,221
8	757,054	567,791	11,905
9	695,543	521,658	12,315
10	1408,798	845,279	10,303
16	659,940	439,960	13,023
17	727,461	484,974	12,862
18	812,478	609,359	11,111
19	580,515	435,386	14,628
20	985,209	492,604	13,023
<b>Promedio</b>	<b>809,184</b>	<b>563,609</b>	<b>12,416</b>

**Fuente: Elaboración Propia**

**Gráfica N° 3.1.4.3**

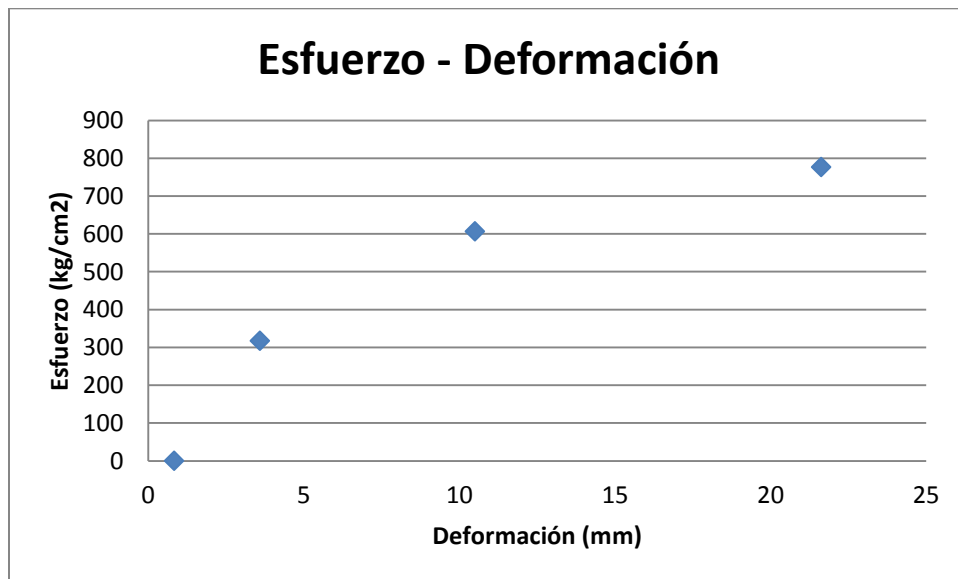
**Esfuerzo a flexión al límite de proporcionalidad Vs Contenido de humedad en el rango de 10 al 15%**



**Fuente: Elaboración Propia**

**Gráfica N° 3.1.4.4**

**Curva promedio de Esfuerzo-Deformación en flexión en un rango de 10 al 15 % de contenido de humedad**



**Fuente: Elaboración Propia**

### **3.1.5 Compresión Perpendicular**

Para la determinación de la resistencia a compresión perpendicular a las fibras de la caña se realizó el ensayo de compresión perpendicular según la Norma COPANT 466 denominada: “Método de determinación de la compresión perpendicular al grano” mediante el siguiente procedimiento:

#### **3.1.5.1 Preparación de probetas**

Los ensayos de compresión perpendicular a las fibras se realizaron en varillas de caña de 15 cm de longitud y diferentes diámetros.

#### **3.1.5.2 Número de probetas**

El número de probetas a ensayar está determinado por el grado de exactitud que se desee lograr en el ensayo, según la Norma COPANT 458 el número de probetas utilizadas en esta investigación fue de veinte.

#### **3.1.5.3 Instrumental**

Para realizar la determinación es necesario disponer del instrumental indicado a continuación:

**Prensa.-** Una prensa con la precisión requerida por la finalidad del ensayo, capaz de aplicar una fuerza mayor de 2000 kg con dos crucetas, una fija y otra móvil y una válvula o mecanismo que permita regular la velocidad real de la cruceta móvil.

Accesorios.-

El accesorio consiste en un aparato compuesto por una pieza metálica maciza, que sirve de base a todo el aparato. Una pieza metálica de presión, en forma de prisma recoto de 5 cm x 5cm de base, medido con la precisión requerida por la exactitud del ensayo y de 5 cm de altura con un orificio pasante de diámetro 1,5cm de un de las caras laterales a la opuesta, en cuyo interior va alojado un cilindro metálico macizo de 1,00 cm de diámetro, con un eje en su parte central que le permite bascular libremente.

Dos parantes metálicos asegurados a la base, en cuyo extremo libre va un eje que se mueve solidariamente a dos brazos, los cuales se apoyan por uno de sus extremos en los extremos del cilindro metálico alojado en la pieza de presión, para lo cual éste debe tener un pequeño

rezaje recto. Uno de los brazos debe apoyarse, por su otro extremo en la perilla de un deflectómetro.

#### **3.1.5.4 Procedimiento**

Se colocó la probeta centrada sobre la base del aparato, de manera que la fuerza sea aplicada sobre la cara radial. Sobre la probeta se colocó la pieza de presión, perfectamente centrada con la probeta y se hicieron descansar sobre su cilindro basculante los extremos de los brazos, uno de los cuales accionaba el deflectómetro.

Se accionó la prensa de modo que una de las crucetas toque ligeramente la pieza de presión; en este instante se ajusta el deflectómetro de modo que todas sus manecillas indiquen cero. Se acciona nuevamente la presa a la velocidad de ensayo de 0,3mm/min. Esta velocidad debe mantenerse constante a lo largo del ensayo.

#### **3.1.5.5 Cálculos**

$$RLP = \frac{P1}{S}$$

Dónde:

RLP= resistencia al límite proporcional, en kilogramos fuerza por centímetro cuadrado.

P1= carga al límite proporcional, en kilogramos fuerza

S= superficie impresa sobre la probeta por la pieza de presión, en centímetros cuadrados.

Debido a la influencia que puede tener la presencia de un nudo en la sección que va a ser comprimida, se realizó este ensayo de manera separada para muestras con y sin nudo.

**TABLA N° 3.1.5.1**

**Resultados obtenidos a compresión perpendicular en muestras sin nudo con contenido de humedad entre 5 y 10%**

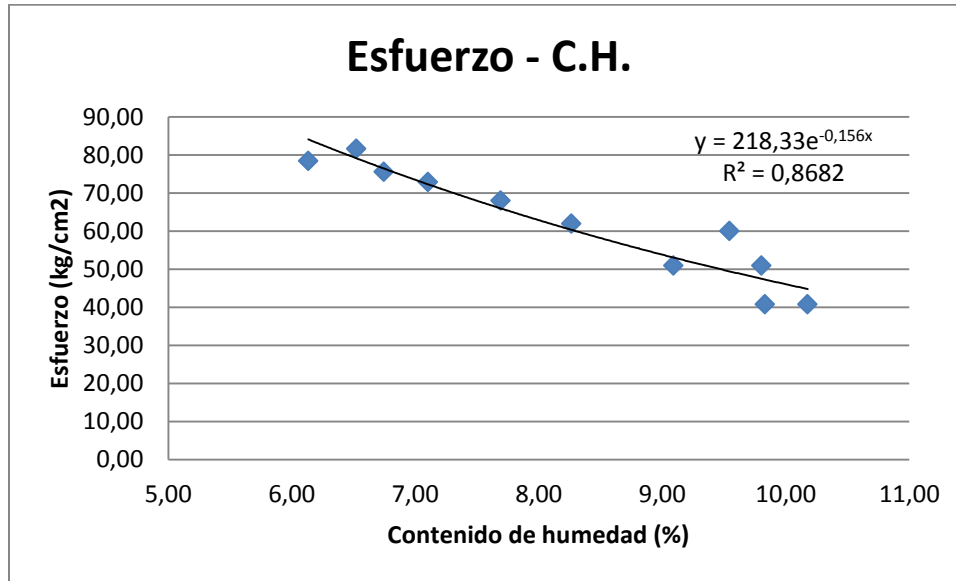
<b>Muestra</b>	<b>Tipo</b>	<b>Esf. Límite De Proporcionalidad</b>	<b>C.H.</b>	<b>Densidad</b>
<b>N°</b>		<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(%)</b>	<b>(kg/cm3)</b>
4	Sin Nudo	40,79	9,83	0,69
5	Sin Nudo	59,98	9,54	0,62
9	Sin Nudo	81,58	6,52	0,53
10	Sin Nudo	40,79	10,18	0,49
11	Sin Nudo	50,99	9,09	0,42
12	Sin Nudo	50,99	9,80	0,40
13	Sin Nudo	67,98	7,69	0,45
15	Sin Nudo	72,84	7,10	0,56
22	Sin Nudo	75,53	6,75	0,76
23	Sin Nudo	78,44	6,13	0,60
<b>Promedio</b>		61,99	8,26	0,55

0,55

**Fuente: Elaboración Propia**

**Gráfica N° 3.1.5.1**

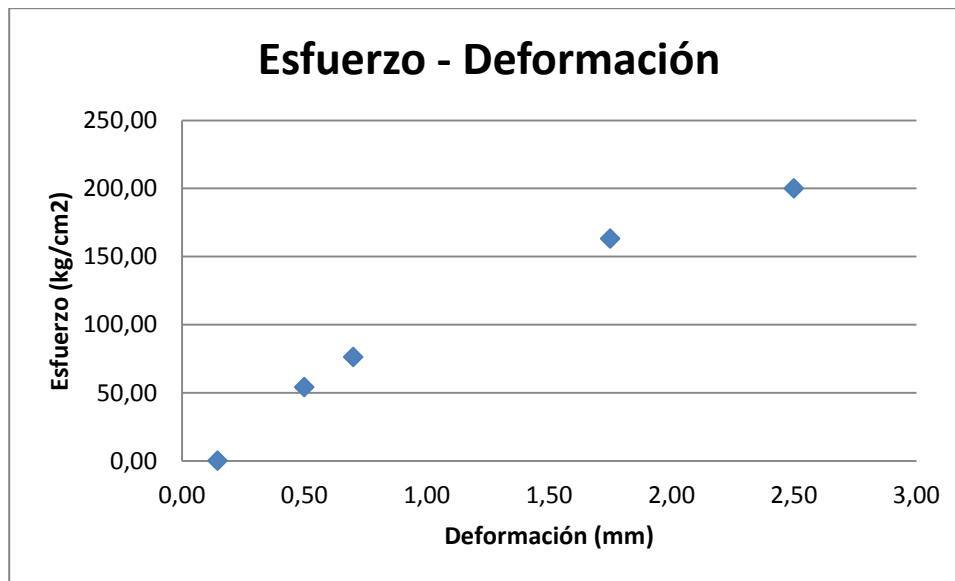
**Esfuerzo de compresión perpendicular en muestras sin nudo al límite de proporcionalidad Vs Contenido de humedad en el rango de 5 al 10%**



**Fuente: Elaboración Propia**

**Gráfica N° 3.1.5.2**

**Curva promedio de Esfuerzo-Deformación de compresión perpendicular en muestras sin nudo en un rango de 5 al 10 % de contenido de humedad**



**Fuente: Elaboración Propia**

**TABLA N° 3.1.5.2**

**Resultados obtenidos a compresión perpendicular en muestras sin nudo con contenido de humedad entre 10 y 15%**

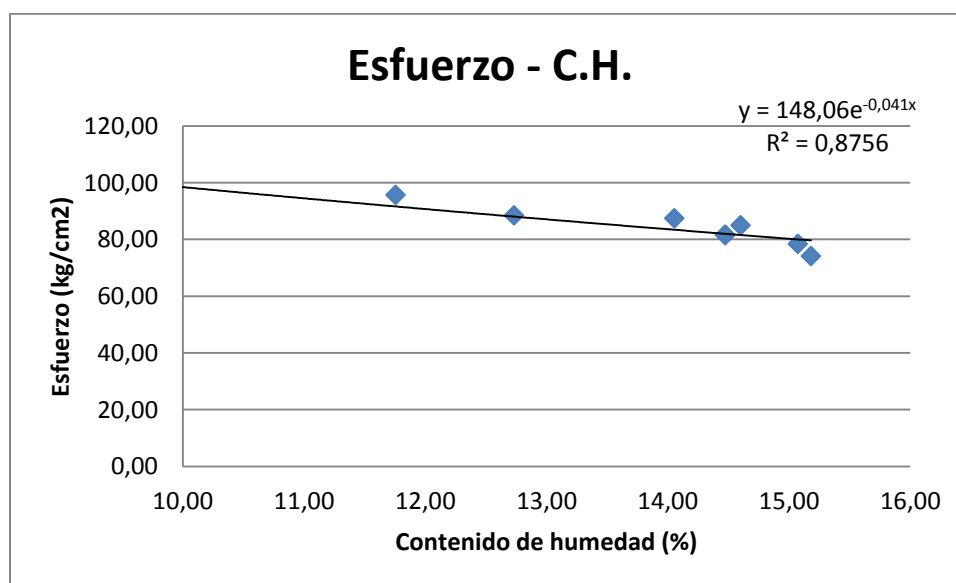
Muestra	Tipo	Esf. Límite De Proporcionalidad	C.H.	Densidad
N°		(Kg/cm2)	(%)	(kg/cm3)
1	Sin Nudo	87,40	14,06	0,69
2	Sin Nudo	81,58	14,47	0,79
7	Sin Nudo	81,58	14,48	0,89
14	Sin Nudo	84,98	14,60	0,54
16	Sin Nudo	97,12	9,03	0,72
17	Sin Nudo	101,97	9,16	0,66
18	Sin Nudo	101,97	9,53	0,61
19	Sin Nudo	78,44	15,07	0,56
20	Sin Nudo	74,16	15,18	0,75
21	Sin Nudo	95,60	11,75	0,62
<b>Promedio</b>		88,48	12,73	0,68

0,68

**Fuente: Elaboración Propia**

**Gráfica N° 3.1.5.3**

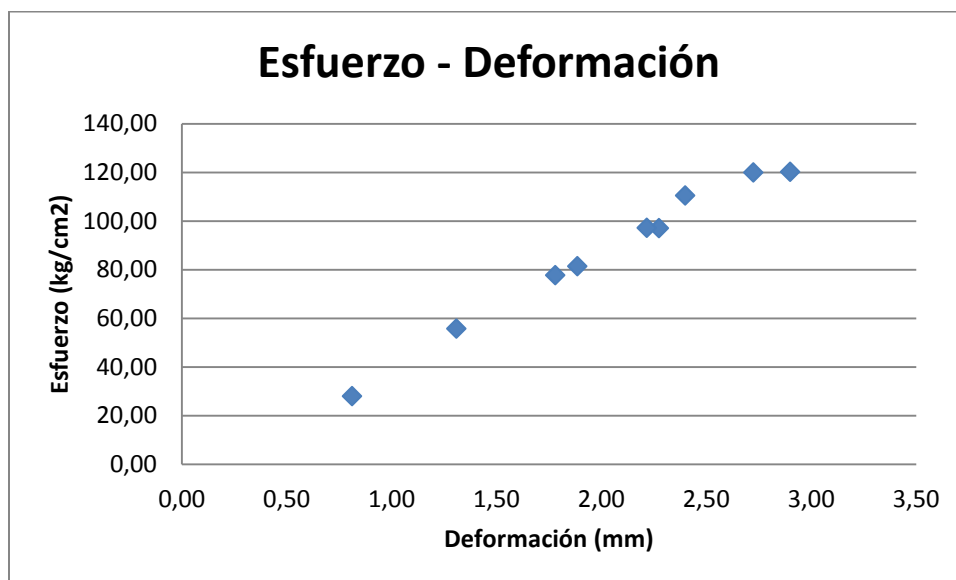
**Esfuerzo de compresión perpendicular en muestras sin nudo al límite de proporcionalidad Vs Contenido de humedad en el rango de 10 al 15%**



**Fuente: Elaboración Propia**

**Gráfica N° 3.1.5.4**

**Curva promedio de Esfuerzo-Deformación de compresión perpendicular en muestras sin nudo en un rango de 10 al 15 % de contenido de humedad**



**Fuente: Elaboración Propia**

**TABLA N° 3.1.5.3**

**Resultados obtenidos a compresión perpendicular en muestras con nudo con contenido de humedad entre 5 y 10 %**

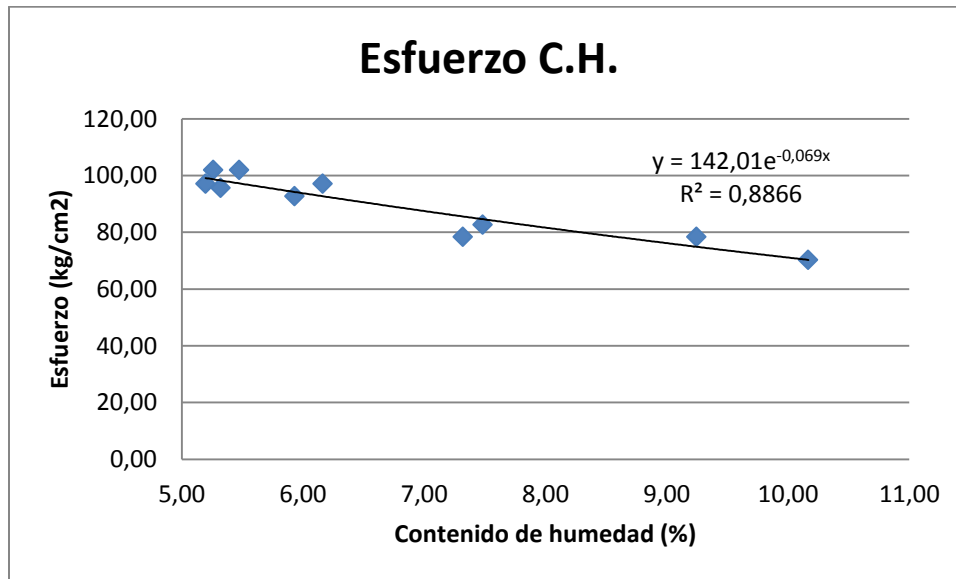
<b>Muestra</b>	<b>Tipo</b>	<b>Esf. Limite De Proporcionalidad</b>	<b>C.H.</b>	<b>Densidad</b>
<b>N°</b>		<b>(Kg/Cm2)</b>	<b>(%)</b>	<b>(Kg/Cm3)</b>
8	Con Nudo	101,97	5,26	0,47
24	Con Nudo	97,12	6,16	0,53
25	Con Nudo	95,60	5,32	0,72
26	Con Nudo	78,44	7,32	0,98
27	Con Nudo	101,97	5,47	0,84
28	Con Nudo	82,68	7,48	0,82
29	Con Nudo	78,44	9,25	0,67
30	Con Nudo	92,70	5,93	0,81
34	Con Nudo	97,12	5,19	0,68
39	Con Nudo	70,33	10,17	0,68
<b>Promedio</b>		89,64	6,76	0,72

0,72

**Fuente: Elaboración Propia**

**Gráfica N° 3.1.5.5**

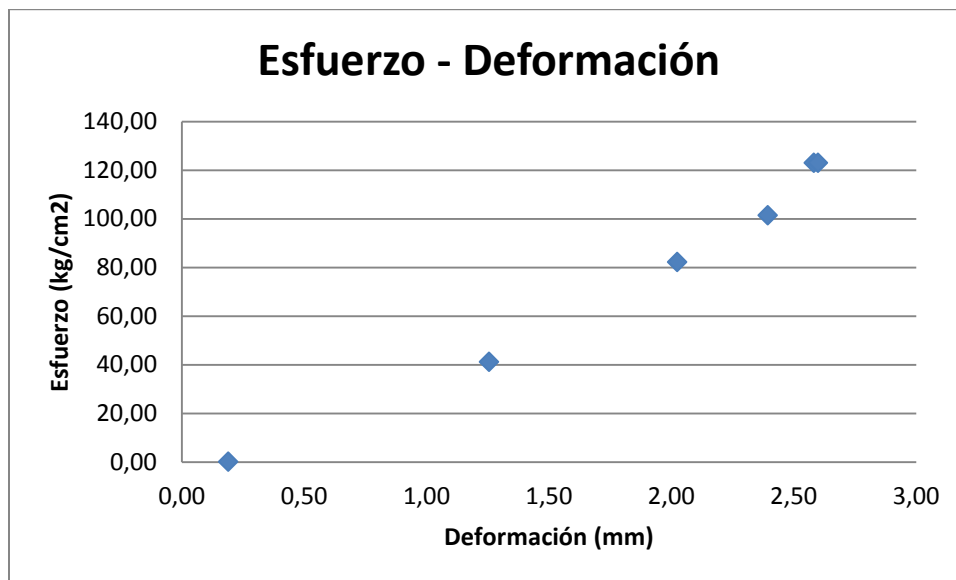
**Esfuerzo de compresión perpendicular en muestras con nudo al límite de proporcionalidad Vs Contenido de humedad en el rango de 5 al 10%**



**Fuente: Elaboración Propia**

**Gráfica N° 3.1.5.6**

**Curva promedio de Esfuerzo-Deformación de compresión perpendicular en muestras con nudo en un rango de 5 al 10 % de contenido de humedad**



**Fuente: Elaboración Propia**

**TABLA N° 3.1.5.4**  
**Resultados obtenidos a compresión perpendicular en muestras con nudo con**  
**contenido de humedad entre 10 y 15 %**

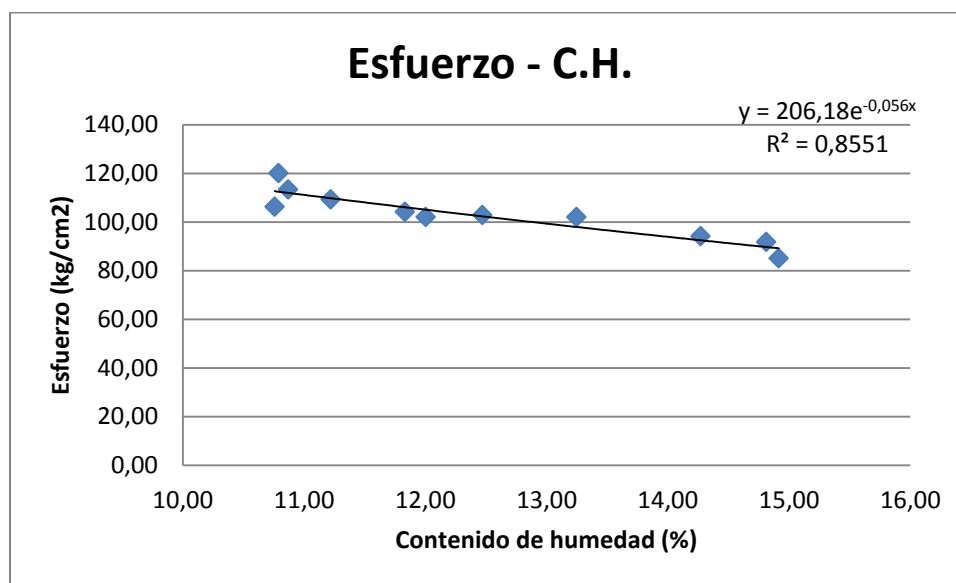
<b>Muestra</b>	<b>Tipo</b>	<b>Esf. Limite De Proporcionalidad</b>	<b>C.H.</b>	<b>Densidad</b>
<b>N°</b>	<b>Con Nudo</b>	<b>(Kg/Cm2)</b>	<b>(%)</b>	<b>(Kg/Cm3)</b>
3	Con Nudo	104,05	11,83	0,66
6	Con Nudo	106,22	10,76	0,65
31	Con Nudo	101,97	13,25	0,65
32	Con Nudo	109,26	11,22	0,69
33	Con Nudo	101,97	12,00	0,77
35	Con Nudo	91,66	14,81	0,99
36	Con Nudo	94,13	14,27	0,66
37	Con Nudo	113,30	10,87	0,65
38	Con Nudo	119,97	10,79	0,67
40	Con Nudo	84,98	14,91	1,26
<b>Promedio</b>		102,75	12,47	0,76

0,76

**Fuente: Elaboración Propia**

**Gráfica N° 3.1.5.7**

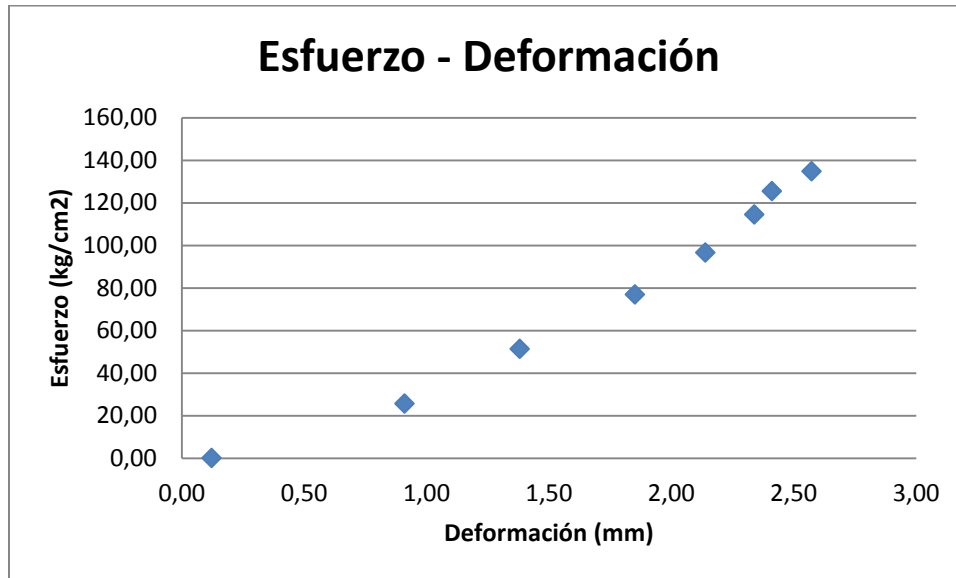
**Esfuerzo de compresión perpendicular al límite de proporcionalidad en muestras con nudo Vs Contenido de humedad en el rango de 10 al 15%**



**Fuente: Elaboración Propia**

**Gráfica N° 3.1.5.8**

**Curva promedio de Esfuerzo-Deformación de compresión perpendicular en muestras con nudo en un rango de 10 al 15% de contenido de humedad**



**Fuente: Elaboración Propia**

### **3.2 Ensayos sobre los agregados**

#### **3.2.1 Granulometría del agregado grueso**

##### **3.2.1.1 Materiales**

Para la determinación de la granulometría del agregado grueso se utilizaron los siguientes materiales:

Balanza sensible a 0,1 gramo

Juego de tamices

Horno a temperatura constante (105°C)

Brocha para limpiar los tamices

La muestra debe ser representativa y se la obtiene por cuarteo.

Al tratarse de agregado grueso el peso de muestra de agregado necesario para el ensayo debe de estar de acuerdo con el tamaño máximo de las partículas en pulgadas, en nuestro caso en particular como el tamaño máximo del agregado es 3/4" se utilizó un poco más de 5000 gramos.

### **3.2.1.2 Procedimiento**

Una vez secada la muestra en el horno de 105°C se la deja enfriar a temperatura ambiente y se pesa la cantidad requerida para hacer la prueba.

Se coloca el juego de tamices desde el tamaño correspondiente al tamaño máximo hasta el tamiz N° 200 y al final la base.

Se agita todo el juego de mallas, horizontalmente con movimientos de rotación y verticalmente con golpes de vez en cuando. El tiempo de agitado depende de la cantidad de finos de la muestra, pero por lo general debe ser mayor a 15 minutos.

Se quita la tapa y se separa la malla, vaciando la fracción de suelo que haya sido retenida en ella sobre un papel o una fuente bien limpia, a las partículas que han quedado trancadas entre los hilos de la malla no se las debe forzar a pasar a través de ella; se debe invertir el tamiz y con ayuda de una brocha o cepillo de alambre se desprende y agrega a las depositadas en la fuente.

Luego se procede a pesar cuidadosamente la fracción de muestra obtenida anteriormente.

Se hacen las pesadas de las fracciones retenidas en cada malla y en la base del fondo procediendo como se indicó anteriormente.

### **3.2.1.3 Cálculos**

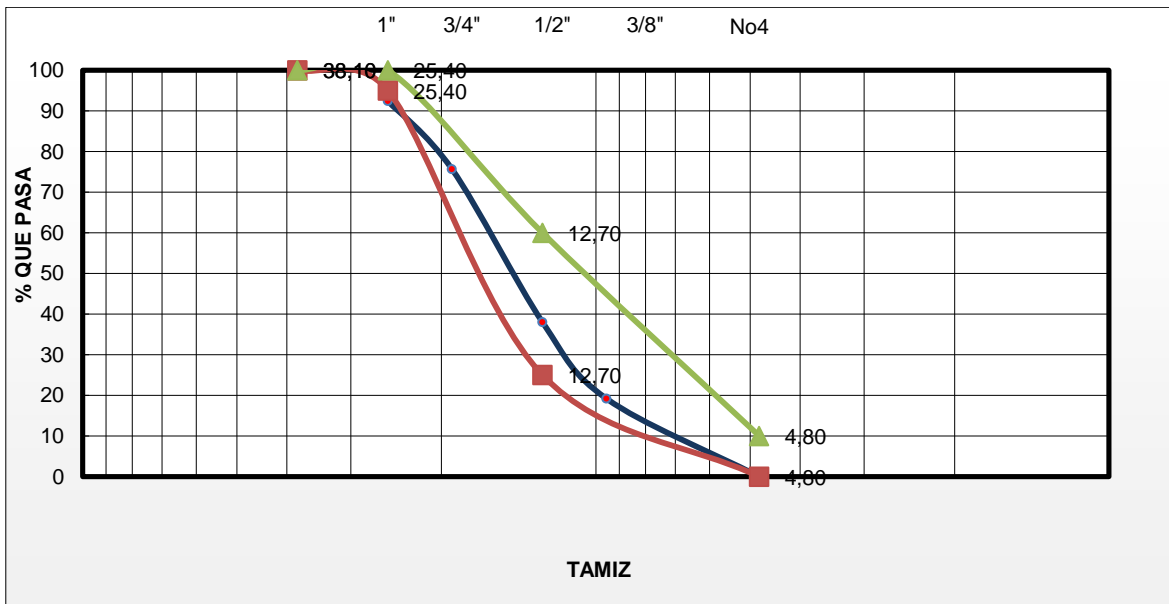
El peso de material retenido sobre cada tamiz será anotado y expresado como sigue:

Por ciento retenido sobre cada tamiz

Por ciento total que pasa por cada tamiz

### Gráfica N° 3.2.1.1

#### Curva granulométrica del agregado grueso



Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.2 Peso específico y absorción del agregado grueso

#### 3.2.2.1 Materiales

El equipo utilizado para la determinación del peso específico aparente y el peso específico a granel del agregado grueso es el siguiente:

Una balanza con capacidad de 5 kg o más con sensibilidad de 0,5gr.

Cesto cilíndrico de tela metálica de 20 cm de diámetro y 20 cm de altura

Recipiente en el que se pueda sumergir la cesta de alambre y un aparato para suspender la cesta cuando se sumerge.

La muestra consiste en aproximadamente 5 Kg. de material separado por el método de cuarteo y de manera que todo el material quede retenido sobre el tamiz 3/8"

#### 3.2.2.2 Procedimiento

Se lava el material a fin de remover el polvo o cualquier impureza que cubra la superficie de las partículas, para luego sumergir la muestra en agua por un periodo de 24 horas.

Luego de transcurridas las 24 horas, se saca la muestra del agua y se secan las partículas con una toalla hasta que la película de agua haya desaparecido de la superficie, evitando la evaporación durante esta operación.

Se obtiene después el peso de la muestra con sus partículas saturadas.

La muestra se vuelve a sumergir después de ser pesada y se determina el peso de la muestra así sumergida.

Se seca la muestra en un horno a temperatura constante (105°C) y luego se deja enfriar y se pesa.

### 3.2.2.3 Cálculos

#### 3.2.2.3.1 Peso Específico a Granel

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{B - C}$$

Dónde:

A= Peso de la muestra secada en horno, en gr.

B= Peso de la muestra saturada pero con superficie seca, en gr.

C= Peso de la muestra saturada dentro del agua en gr.

#### 3.2.2.3.2 Peso Específico en condición saturado con superficie seca

$$\text{Peso Esp. Sat con sup. seca} = \frac{B}{B - C}$$

(B-C)= Este término es la pérdida de peso de la muestra sumergida y significa el volumen da agua desplazado, o sea el volumen de la muestra.

#### 3.2.2.3.3 Peso Específico Aparente

$$\text{Peso Específico aparente} = \frac{A}{A - C} * 100$$

#### 3.2.2.3.4 Porcentaje de Absorción

$$\% \text{ Absorción} = \frac{B - A}{A} * 100$$

**TABLA N°3.2.2.1**

#### **Resultados peso específico de la grava**

<b>Peso Específico Saturado Superficie Seca</b>	2,22	gr/cm3
<b>Peso Específico Bruto</b>	2,19	gr/cm3
<b>Porcentaje de Absorción</b>	1,25	%

**Fuente: Elaboración Propia**

### 3.2.3 Peso Unitario del agregado grueso

#### 3.2.3.1 Materiales

Este ensayo tiene como objeto obtener el peso unitario de los agregados a temperatura ambiente. El equipo utilizado para efectuarlo fue:

Balanza sensible al 0,5% del peso de la muestra

Una varilla de 5/8" de diámetro y unos 60 cm. de largo

Un juego de recipientes cilíndricos cuyo tamaño dependerá del tamaño máximo de las partículas

Se usa una muestra representativa del agregado a humedad ambiente.

#### 3.2.3.2 Procedimiento

Se llena el molde hasta una tercera parte de su capacidad, nivelándose el agregado con las manos. Luego por medio de la varilla se apisona uniformemente esta capa 25 veces. No se debe golpear el fondo del molde.

Se repite el procedimiento anterior dos veces hasta llenar el molde. Las partículas de la superficie se deben enrasar con la varilla teniendo como guía el borde del molde.

Se pesa el molde junto con el agregado.

#### 3.2.3.2 Cálculos

El peso neto del agregado o de la mezcla dentro del molde se obtiene restando del peso del molde más la muestra compactada el peso del molde. El peso por unidad de volumen de la muestra se obtiene multiplicando su peso neto por el inverso del volumen del molde.

$$\text{Peso Unitaria} = P.U. = \frac{\text{Peso Promedio}}{\text{Volumen de la tara}}$$

**TABLA N° 3.2.3.1**

#### **Resultados peso unitario de la grava**

	Material	
	Suelto	Compactado
P. U. (gr/cm <sup>3</sup> )	1,62	1,69

**Fuente: Elaboración Propia**

### **3.2.4 Granulometría del agregado fino**

#### **3.2.4.1 Materiales**

Para la determinación de la granulometría del agregado grueso se utilizaron los siguientes materiales:

Balanza sensible a 0,1 gramo

Juego de tamices

Horno a temperatura constante (105°C)

Brocha para limpiar los tamices

La muestra debe ser representativa y se la obtiene por cuarteo.

El peso de la muestra de agregado fino para el ensayo deberá ser de unos 500 gramos.

#### **3.2.4.2 Procedimiento**

Una vez secada la muestra en el horno de 105°C se la deja enfriar a temperatura ambiente y se pesa la cantidad requerida para hacer la prueba.

Se desmoronan los grumos del material con un rodillo que puede ser metálico o de madera.

Se coloca el juego de tamices desde el tamaño correspondiente al tamaño máximo hasta el tamiz N° 200 y al final la base.

Se agita todo el juego de mallas, horizontalmente con movimientos de rotación y verticalmente con golpes de vez en cuando. El tiempo de agitado depende de la cantidad de finos de la muestra, pero por lo general debe ser mayor a 15 minutos.

Se quita la tapa y se separa la malla, vaciando la fracción de suelo que haya sido retenida en ella sobre un papel o una fuente bien limpia, a las partículas que han quedado trancadas entre los hilos de la malla no se las debe forzar a pasar a través de ella; se debe invertir el tamiz y con ayuda de una brocha o cepillo de alambre se desprende y agrega a las depositadas en la fuente.

Luego se procede a pesar cuidadosamente la fracción de muestra obtenida anteriormente.

Se hacen las pesadas de las fracciones retenidas en cada malla y en la base del fondo procediendo como se indicó anteriormente.

#### **3.4.2.3 Cálculos**

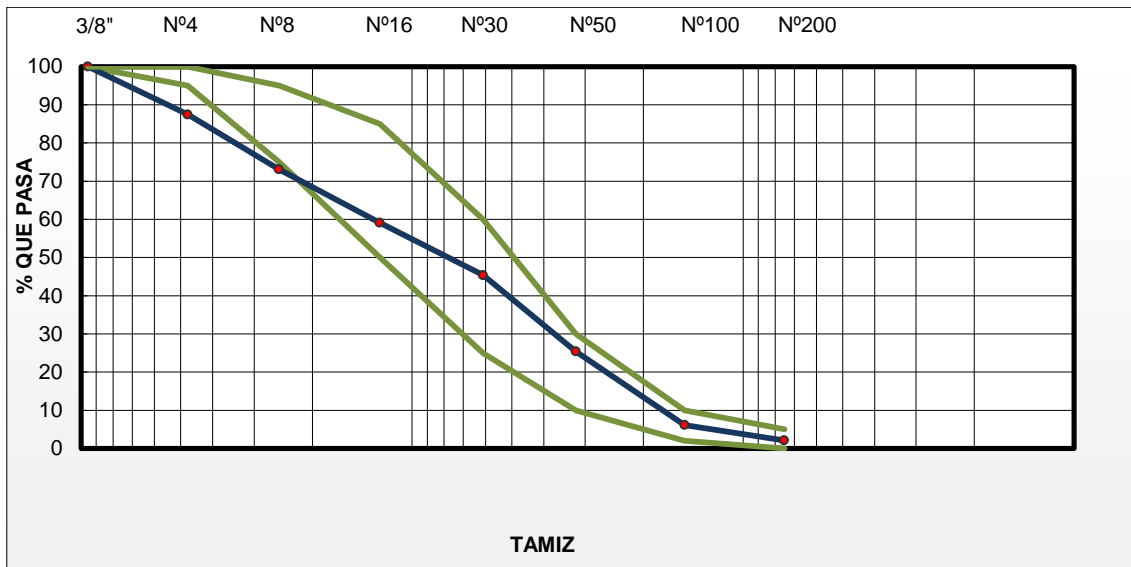
El peso de material retenido sobre cada tamiz será anotado y expresado como sigue:

Por ciento retenido sobre cada tamiz

Por ciento total que pasa por cada tamiz

**Gráfica N° 3.2.4.1**

**Curva granulométrica del agregado fino**



**Fuente: Elaboración Propia**

**3.2.5 Peso Específico y Absorción del agregado fino**

**3.2.5.1 Materiales**

El objeto principal es determinar el peso específico aparente y el peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua que absorbe el agregado fino cuando se sumergen agua por un período de 24 horas expresada como un porcentaje en peso.

El equipo utilizado para obtener los datos necesarios fue:

Balanza con capacidad de 1 kg. y sensibilidad de 0,1 gr.

Matraz de 500 ml. de capacidad

Molde cónico y una varilla.

La muestra consiste en 1 kg que puede ser obtenida por cuarteo; la cual es colocada dentro de un recipiente lleno de agua por un período de 24 hrs para ser saturada.

**3.2.5.2 Procedimiento**

Se saca la muestra del recipiente y se seca de manera uniforme.

Con el fin de inspeccionar que tan seca está la muestra, se coloca primero en el molde cónico y luego se retira éste. Si la muestra tiene todavía alguna humedad en la superficie,

conservará la forma cónica y si por el contrario la humedad de la superficie ha sido eliminada, la arena rodará libremente cuando se levante el cono.

Por lo general si la arena rueda libremente la primera vez que se coloca el cono, esto es indicación de que la muestra ha sido secada más de lo necesario y que ha perdido su condición de saturada; por consiguiente, se deberá rociar con agua y dejarla reposar por 30 minutos antes de volver a colocarla en el cono.

Se colocan 500 gr de la muestra en el matraz y luego se llena este con agua hasta el tope.

Con el fin de eliminar burbujas de aire presentes en el matraz, se rueda el matraz sobre si mismo y luego se coloca en un baño a temperatura constante de 20 °C, se deberán hacer las correcciones del caso siguiendo la curva de calibración. Luego se obtiene el peso del matraz lleno.

**TABLA N°3.2.5.1**

**Resultados peso específico de la arena**

<b>Peso Específico Saturado Superficie Seca</b>	2,67	gr/cm <sup>3</sup>
<b>Porcentaje de Absorción</b>	2,46	%

**Fuente: Elaboración Propia**

**3.2.6 Peso Unitario del agregado fino**

**3.2.6.1 Materiales**

Este ensayo tiene como objeto obtener el peso unitario de los agregados a temperatura ambiente. El equipo utilizado para efectuarlo fue:

Balanza sensible al 0,5% del peso de la muestra

Una varilla de 5/8" de diámetro y unos 60 cm. de largo

Un juego de recipientes cilíndricos cuyo tamaño dependerá del tamaño máximo de las partículas

Se usa una muestra representativa del agregado a humedad ambiente.

**3.2.6.2 Procedimiento**

Se llena el molde hasta una tercera parte de su capacidad, nivelándose el agregado con las manos. Luego por medio de la varilla se apisona uniformemente esta capa 25 veces. No se debe golpear el fondo del molde.

Se repite el procedimiento anterior dos veces hasta llenar el molde. Las partículas de la superficie se deben enrasar con la varilla teniendo como guía el borde del molde.

Se pesa el molde junto con el agregado.

### 3.2.6.3 Cálculos

El peso neto del agregado o de la mezcla dentro del molde se obtiene restando del peso del molde más la muestra compactada el peso del molde. El peso por unidad de volumen de la muestra se obtiene multiplicando su peso neto por el inverso del volumen del molde.

$$PesoUnitario = P.U. = \frac{Peso\ Promedio}{Volumen\ de\ la\ tara}$$

**TABLA N° 3.2.6.1**

#### **Resultados peso unitario de la arena**

<b>Material</b>		
	<b>Suelto</b>	<b>Compactado</b>
<b>P. U. (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1,73	1,82

**Fuente: Elaboración Propia**

### 3.3 Elaboración de las vigas

Una vez obtenidas las características tanto de la caña como de los agregados a utilizar se realizó la dosificación del hormigón por el método ACI, el cual parte de la resistencia que debe tener el mismo, siendo adecuado para cualquier tipo de obra realizada con este material.

Para las vigas a ensayar se realizó la dosificación para un hormigón con una resistencia de 210 Kg/cm<sup>2</sup>.

En lo que respecta a la caña, una vez recolectada fue sometida a un tratamiento con efectos fungicidas e insecticidas, al sumergirla en una solución de sulfato de cobre y cal apagada, para luego dejarla secar al aire hasta que adquiriera el contenido de humedad considerado como “óptimo”.

Para armar las vigas, se retiró la parte lisa de las cañas y se les puso una capa de SIKADUR 32 –GEL con el fin de obtener una mayor adherencia entre las mismas y el hormigón y se utilizaron dos estribos con el fin de sostener la armadura longitudinal.

### **3.4 Ensayos en vigas sin refuerzo**

#### **3.4.1 Flexión**

##### **3.4.1.1 Procedimiento**

En esta prueba, una viga simple de hormigón (sin refuerzo) se sujeta a flexión usando carga de dos puntos simétricos hasta que ocurre la falla. Puesto que los puntos de carga están espaciados a un tercio del claro libre, la prueba es llamada prueba de carga en los tercios. El esfuerzo a tensión máximo teórico alcanzado en la fibra inferior de la viga de prueba es conocido como el módulo de ruptura.

Las vigas normalmente son probadas sobre su lado en relación con la posición como se ha vaciado pero, siempre y cuando el hormigón no segregue, la posición de la viga como se prueba en la relación con la posición como se ha vaciado no afecta el módulo de ruptura.

Los requisitos de la norma ASTM C 78-94 prescriben carga en los tercios en vigas de 150 por 150 con una longitud que sea mínimamente tres veces la de su lado.

##### **3.4.1.2 Cálculos**

Si ocurre la fractura dentro del tercio central de la viga, el módulo de ruptura se calcula sobre la base de la teoría elástica ordinaria y entonces es igual a:

$$\frac{PL}{bd^2}$$

Dónde:

P=carga máxima total sobre la viga

L=claro libre

b= ancho de la viga

d=peralte de la viga

Sin embargo, si ocurre fractura fuera de los puntos de carga, digamos, a una distancia cercana al apoyo, siendo la distancia promedio medida sobre la superficie de tensión de la viga, pero no más de 5 por ciento del claro libre, entonces el módulo de ruptura es dado por:

$$\frac{3Pa}{bd^2}$$

Esto significa que el esfuerzo máximo de tensión en la sección crítica, y no el esfuerzo máximo sobre la viga, se considera en los cálculos.

El método británico desecha la falla fuera del tercio central de la viga.

También existe una prueba para la resistencia en flexión bajo carga en el centro del claro, prescrito en la norma ASTM C 293-94.

En esta prueba, la falla ocurre cuando se ha agotado la resistencia a la tensión del hormigón en la fibra extrema bajo el punto de carga. Por otro lado, con la carga en los tercios, un tercio de la longitud de la fibra inferior en la viga se sujeta al esfuerzo máximo, así que puede desarrollarse el agrietamiento crítico, en cualquier sección en un tercio de la longitud de la viga. Puesto que la probabilidad de que un elemento débil (de cualquier resistencia especificada) que está sujeto al esfuerzo crítico sea considerablemente mayor bajo carga de dos puntos que cuando actúa una carga en el centro del claro, la prueba de carga en el centro del claro da un valor mayor del módulo de ruptura, pero también más variable en consecuencia, la prueba de carga en el centro del claro se usa muy raramente.

**TABLA N° 3.4.1.1**

**Resultados obtenidos para el Módulo de Rotura en vigas de hormigón simple a los 14 días.**

<b>Muestra N°</b>	<b>Edad (DIAS)</b>	<b>Refuerzo (%)</b>	<b>Peso Kg</b>	<b>Módulo De Rotura Kg/cm2</b>
2	14	Sin Refuerzo	30,00	55,80
4	14	Sin Refuerzo	28,84	47,23
6	14	Sin Refuerzo	28,14	41,28
8	14	Sin Refuerzo	27,73	42,98
10	14	Sin Refuerzo	28,03	49,60
12	14	Sin Refuerzo	28,22	49,39
<b>Promedio</b>			28,49	47,71

**Fuente: Elaboración Propia**

**TABLA N° 3.4.1.2**

**Resultados obtenidos para el Módulo de Rotura en vigas de hormigón simple a los 28 días.**

<b>Muestra N°</b>	<b>Edad (DIAS)</b>	<b>Refuerzo (%)</b>	<b>Peso Kg</b>	<b>Módulo De Rotura Kg/cm2</b>
1	28	Sin Refuerzo	30,47	58,95
3	28	Sin Refuerzo	29,51	54,15
5	28	Sin Refuerzo	28,39	49,89
7	28	Sin Refuerzo	28,36	52,88
9	28	Sin Refuerzo	28,58	54,23
11	28	Sin Refuerzo	27,91	53,52
<b>Promedio</b>			28,87	53,94

**Fuente: Elaboración Propia**

### **3.5 Ensayos en vigas reforzadas con bambú**

#### **3.5.1 Flexión**

El ensayo realizado en vigas con refuerzo de bambú es el mismo que el utilizado en vigas sin refuerzo, es decir, la prueba de resistencia a la flexión ASTM C78.

##### **3.5.1.1 Muestra**

Se utilizaron cuatro vigas para cada una de las cuantías estudiadas, de las cuales dos fueron ensayadas a los catorce días de edad y las otras dos a los veintiocho.

##### **3.5.1.2 Procedimiento**

Las cañas seleccionadas fueron tratadas en sulfato de cobre con el fin de protegerlas del ataque de hongos e insectos; posteriormente se las dejó secar al aire libre hasta conseguir que las mismas adquieran el contenido de humedad considerado como óptimo.

Una vez tratadas y secas, se armaron las diferentes vigas según las cuantías previamente definidas las cuales fueron recubiertas con una capa del aditivo Sikadur 32- Gel con el fin de conseguir la adherencia necesaria con el hormigón.

**TABLA N° 3.5.1.1**

**Resultados obtenidos para el Módulo de Rotura en vigas de hormigón reforzado con bambú con una cuantía de 1,50 %**

<b>Muestra N°</b>	<b>Edad (DIAS)</b>	<b>Refuerzo (%)</b>	<b>Peso Kg</b>	<b>Módulo De Rotura Kg/cm2</b>
13	14	1,50	27,84	67,11
14	14	1,50	28,00	78,85
15	28	1,50	27,97	67,25
16	28	1,50	27,88	64,97

**Fuente: Elaboración Propia**

**TABLA N° 3.5.1.2**

**Resultados obtenidos para el Módulo de Rotura en vigas de hormigón reforzado con bambú con una cuantía de 2,00%**

<b>Muestra N°</b>	<b>Edad (DIAS)</b>	<b>Refuerzo (%)</b>	<b>Peso Kg</b>	<b>Módulo De Rotura Kg/cm2</b>
17	14	2,00	28,48	60,42
18	14	2,00	28,36	46,19
19	28	2,00	28,38	45,69
20	28	2,00	27,67	66,89

**Fuente: Elaboración Propia**

**TABLA N° 3.5.1.3**

**Resultados obtenidos para el Módulo de Rotura en vigas de hormigón reforzado con bambú con una cuantía de 2,50%**

<b>Muestra N°</b>	<b>Edad (DIAS)</b>	<b>Refuerzo (%)</b>	<b>Peso Kg</b>	<b>Módulo De Rotura Kg/cm2</b>
21	14	2,50	28,08	62,77
22	14	2,50	27,80	41,06
23	28	2,50	28,38	55,29
24	28	2,50	27,71	66,33

**Fuente: Elaboración Propia**

**TABLA N° 3.5.1.4**

**Resultados obtenidos para el Módulo de Rotura en vigas de hormigón reforzado con bambú con una cuantía de 3,00 %**

<b>Muestra N°</b>	<b>Edad (DIAS)</b>	<b>Refuerzo (%)</b>	<b>Peso Kg</b>	<b>Módulo De Rotura Kg/cm2</b>
25	14	3,00	27,56	69,95
26	14	3,00	27,55	58,07
27	28	3,00	27,47	56,22
28	28	3,00	27,68	72,73

**Fuente: Elaboración Propia**

**TABLA N° 3.5.1.5**

**Resultados obtenidos para el Módulo de Rotura en vigas de hormigón reforzado con bambú con una cuantía de 3,50 %**

<b>Muestra N°</b>	<b>Edad (DIAS)</b>	<b>Refuerzo (%)</b>	<b>Peso Kg</b>	<b>Módulo De Rotura Kg/cm2</b>
29	14	3,50	27,31	68,57
30	14	3,50	27,54	67,61
31	28	3,50	27,42	77,57
32	28	3,50	27,51	78,42

**Fuente: Elaboración Propia**

**TABLA N° 3.5.1.6**

**Resultados obtenidos para el Módulo de Rotura en vigas de hormigón reforzado con bambú con una cuantía de 4,00 %**

<b>Muestra N°</b>	<b>Edad (DIAS)</b>	<b>Refuerzo (%)</b>	<b>Peso Kg</b>	<b>Módulo De Rotura Kg/cm2</b>
33	14	4,00	27,19	67,46
34	14	4,00	27,40	68,96
35	28	4,00	26,97	78,28
36	28	4,00	27,38	78,64

**Fuente: Elaboración Propia**

**TABLA N° 3.5.1.7**

**Resultados obtenidos para el Módulo de Rotura en vigas de hormigón reforzado con bambú con una cuantía de 4,50 %**

<b>Muestra N°</b>	<b>Edad (DIAS)</b>	<b>Refuerzo (%)</b>	<b>Peso Kg</b>	<b>Módulo De Rotura Kg/cm2</b>
37	14	4,50	27,81	69,87
38	14	4,50	27,80	66,68
39	28	4,50	27,52	86,89
40	28	4,50	27,48	86,25

**Fuente: Elaboración Propia**

**TABLA N° 3.5.1.8**

**Resultados obtenidos para el Módulo de Rotura en vigas de hormigón reforzado con bambú con una cuantía de 5,00 %**

<b>Muestra N°</b>	<b>Edad (DIAS)</b>	<b>Refuerzo (%)</b>	<b>Peso Kg</b>	<b>Módulo De Rotura Kg/cm2</b>
41	14	5,00	27,47	63,41
42	14	5,00	27,40	69,31
43	28	5,00	27,57	86,68
44	28	5,00	27,85	84,61

**Fuente: Elaboración Propia**

**TABLA N° 3.5.1.9**

**Resultados obtenidos para el Módulo de Rotura en vigas de hormigón reforzado con bambú con una cuantía de 5,50 %**

<b>Muestra N°</b>	<b>Edad (DIAS)</b>	<b>Refuerzo (%)</b>	<b>Peso Kg</b>	<b>Módulo De Rotura Kg/cm2</b>
45	14	5,50	27,24	60,35
46	14	5,50	27,31	49,82
47	28	5,50	27,50	65,40
48	28	5,50	27,79	71,09

**Fuente: Elaboración Propia**

**TABLA N° 3.5.1.10**

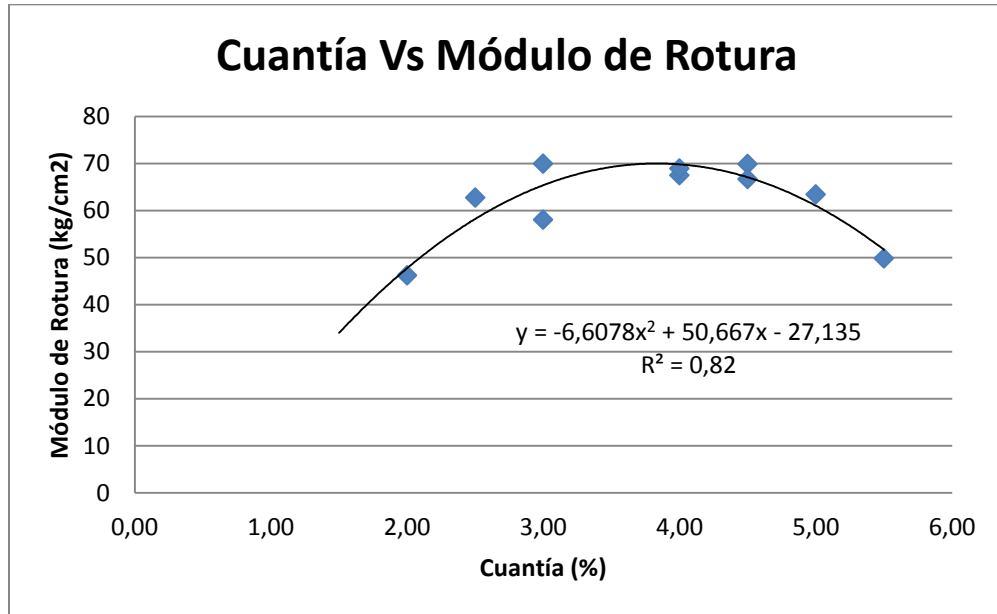
**Resultados obtenidos para el Módulo de Rotura en vigas de hormigón reforzado con diferentes cuantías de bambú a los 14 días.**

<b>MUESTRA N°</b>	<b>EDAD (DIAS)</b>	<b>REFUERZO (%)</b>	<b>PESO Kg</b>	<b>MODULO DE ROTURA Kg/cm2</b>
13	14	1,50	27,84	67,11
14	14	1,50	28,00	78,85
17	14	2,00	28,48	60,42
18	14	2,00	28,36	46,19
21	14	2,50	28,08	62,77
22	14	2,50	27,80	41,06
25	14	3,00	27,56	69,95
26	14	3,00	27,55	58,07
29	14	3,50	27,31	68,57
30	14	3,50	27,54	67,61
33	14	4,00	27,19	67,46
34	14	4,00	27,40	68,96
37	14	4,50	27,81	69,87
38	14	4,50	27,80	66,68
41	14	5,00	27,47	63,41
42	14	5,00	27,40	69,31
45	14	5,50	27,24	60,35
46	14	5,50	27,31	49,82

**Fuente: Elaboración Propia**

### Gráfica N° 3.5.1.1

Cuantía de caña bambú Vs Módulo de Rotura para 14 días.



Fuente: Elaboración Propia

**TABLA N° 3.5.1.11**

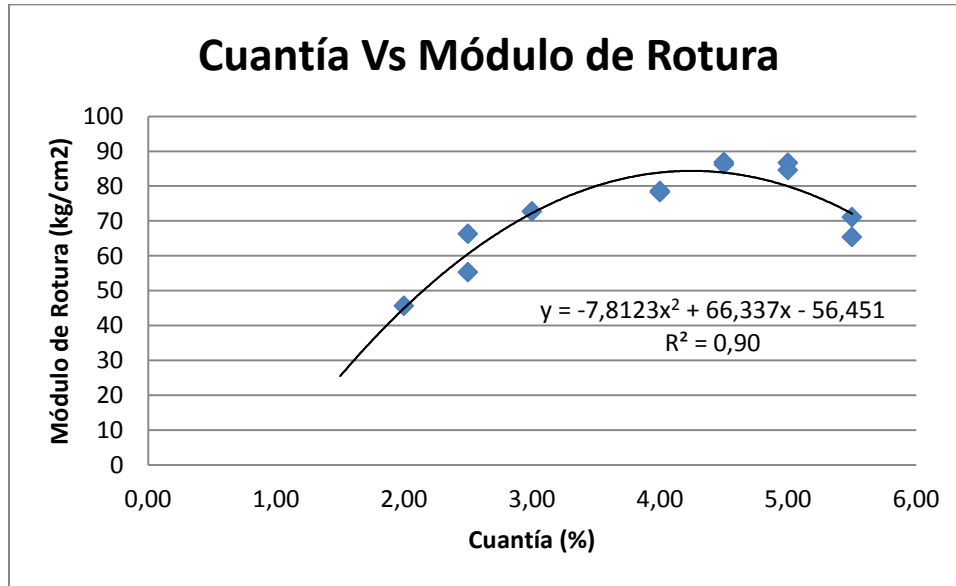
**Resultados obtenidos para el Módulo de Rotura en vigas de hormigón reforzado con diferentes cuantías de bambú a los 28 días.**

<b>MUESTRA N°</b>	<b>EDAD (DIAS)</b>	<b>REFUERZO (%)</b>	<b>PESO Kg</b>	<b>MODULO DE ROTURA Kg/cm2</b>
15	28	1,50	27,97	67,25
16	28	1,50	27,88	64,97
19	28	2,00	28,38	45,69
20	28	2,00	27,67	66,89
23	28	2,50	28,38	55,29
24	28	2,50	27,71	66,33
27	28	3,00	27,47	56,22
28	28	3,00	27,68	72,73
31	28	3,50	27,42	77,57
32	28	3,50	27,51	78,42
35	28	4,00	26,97	78,28
36	28	4,00	27,38	78,64
39	28	4,50	27,52	86,89
40	28	4,50	27,48	86,25
43	28	5,00	27,57	86,68
44	28	5,00	27,85	84,61
47	28	5,50	27,50	65,40
48	28	5,50	27,79	71,09

**Fuente: Elaboración Propia**

**Gráfica 3.5.1.2**

**Cuantía de caña bambú Vs Módulo de Rotura para 28 días.**



**Fuente: Elaboración Propia**

**TABLA N° 3.5.1.12**

**Incremento de resistencia a la flexión en vigas reforzadas con bambú, en relación a vigas de hormigón simple para 14 días de edad**

<b>Edad</b>	<b>Cuantía DE BAMBÚ</b>	<b>Módulo De ROTURA</b>	<b>Hormigón SIMPLE</b>	<b>Incremento De RESISTENCIA</b>
<b>(Días)</b>	<b>(%)</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>(%)</b>
14	1,5	72,98	47,71	52,95
14	2	51,20	47,71	7,30
14	2,5	53,30	47,71	11,70
14	3	64,01	47,71	34,16
14	3,5	44,87	47,71	42,72
14	4	68,21	47,71	42,96
14	4,5	68,28	47,71	43,09
14	5	66,36	47,71	39,08
14	5,5	55,08	47,71	15,44

**Fuente: Elaboración Propia**

**TABLA N° 3.5.1.13**

**Incremento de resistencia a la flexión en vigas reforzadas con bambú, en relación a vigas de hormigón simple para 28 días de edad**

<b>Edad</b>	<b>Cuantía DE BAMBÚ</b>	<b>Módulo De ROTURA</b>	<b>Hormigón SIMPLE</b>	<b>Incremento De RESISTENCIA</b>
<b>(Días)</b>	<b>(%)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(Kg/cm2)</b>	<b>(%)</b>
28	1,5	64,83	53,94	20,20
28	2	56,29	53,94	4,36
28	2,5	60,81	53,94	12,74
28	3	64,48	53,94	19,54
28	3,5	45,72	53,94	44,60
28	4	78,46	53,94	45,46
28	4,5	86,57	53,94	60,51
28	5	85,65	53,94	58,79
28	5,5	68,25	53,94	26,53

**Fuente: Elaboración Propia**

## CAPITULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS Y APLICACIÓN

#### 4.1 Análisis de resultados

##### 4.1.1 Resultados de la caña bambú

En lo que respecta al comportamiento de la caña bambú cuando es sometida a esfuerzos de tracción se observa que a medida que el porcentaje de humedad disminuye su resistencia se incrementa, esto se debe a que los tejidos que se encuentran entre las fibras adquieren propiedades adherentes entre ellos cuando pierden humedad, lo que incrementa la resistencia; sin embargo, este fenómeno ocurre hasta cierto contenido de humedad ya que para contenidos de humedad considerados muy bajos la caña se vuelve muy frágil (de consistencia vidriosa) para ser sometida a diferentes tipos de esfuerzos y se quiebra muy fácilmente.

Se puede ver que en los tres rangos de contenido de humedad ensayados el comportamiento de la caña es el mismo, es decir, a medida que se incrementa el contenido de humedad la resistencia disminuye; sin embargo, para el rango central (del 10 al 15%) de contenido de humedad, la caña alcanza su máxima resistencia, es por eso que se lo define como el contenido “óptimo” de humedad.

De todas las muestras ensayadas a tracción, se observa que la falla siempre ocurre en los nudos, lo que convierte a esa zona en la zona crítica de la caña cuando va a ser sometida a esfuerzos de ese tipo.

Con relación a la flexión pura se puede observar que el comportamiento de la resistencia de la caña bambú cuando es sometida a este tipo de esfuerzos, en relación al contenido de humedad de la misma es similar al de la caña cuando es sometida a tracción, es decir, a menor contenido de humedad, mayor resistencia, siempre y cuando la misma no se encuentre muy seca ya que de estarlo es muy frágil para ser usada.

Por otra parte, los valores obtenidos de la resistencia a flexión pura mediante este ensayo, son para cañas que no han sido seccionadas, es decir, secciones circulares huecas, lo que en cierta manera reduce la resistencia ya que las mismas tienden a fallar por aplastamiento, mientras que si se utiliza caña seccionada en tiras, la resistencia a la flexión puede incrementarse de manera considerable.

La compresión perpendicular fue estudiada en elementos con y sin nudo ya que su presencia afecta de manera considerable en los resultados.

En ambos casos se puede observar que el comportamiento “a menor contenido de humedad, mayor resistencia” se mantiene hasta cierto rango.

Contrariamente a la tracción, cuando la caña es sometida a compresión perpendicular a sus fibras, la presencia de un nudo resulta favorable ya que el mismo incrementa la resistencia.

#### **4.1.2 Resultados de vigas de hormigón simple**

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del hormigón y se expresa como el Módulo de Rotura (MR) en kilogramos por centímetro cuadrado, el cual según bibliografía es cerca del 10 al 20% de la resistencia a compresión, en dependencia del tipo, dimensiones y volumen del agregado grueso utilizado.

Las vigas fueron sometidas al ensayo ASTM C78 a los 14 y a los 28 días de edad, los que muestran que la resistencia promedio a la flexión del hormigón simple es de 47,71 kg/cm<sup>2</sup> para los 14 días y de 53,94 Kg/cm<sup>2</sup> para los 28, donde según se observa, el agregado grueso utilizado colaboró en la resistencia ya que la misma alcanzó un valor promedio del 25% de la resistencia a compresión, estando por encima de los valores encontrados en la bibliografía.

### **4.1.3 Resultados de vigas de hormigón reforzado con bambú**

Como se puede observar en la sección 3.5, los resultados obtenidos en los ensayos a flexión de vigas reforzadas con bambú son considerablemente elevados en relación a vigas de hormigón simple.

Se puede notar que para una cuantía del 1,5 % los valores de resistencia a la flexión (Módulo de Rotura) son mayores que para 2%; pero sin embargo, estos no pueden considerarse los óptimos ya que con cuantías mayores se obtienen valores más elevados de resistencia a la flexión.

Al igual que en compresión, la resistencia a flexión que adquieren las vigas a los 28 días de edad es mayor que su resistencia a los 14 días, tanto en vigas de hormigón simple como en vigas reforzadas con bambú.

En las gráficas N° 3.5.1.1 y N° 3.5.1.2 se observa que la resistencia a flexión en relación con la cuantía de bambú que tiene la viga, tiene un comportamiento parabólico, es decir, a medida que se incrementa la cuantía, la resistencia a flexión también incrementa hasta llegar a un punto que puede considerarse el “óptimo” donde a partir de ahí la resistencia a la flexión vuelve a disminuir.

Teniendo en cuenta que los valores de las correlaciones son de 0,82 para 14 días de edad y 0,90 para los 28 días se demuestra que las curvas son bastante representativas.

En la tabla N° 3.5.1.12 se puede ver que el incremento de resistencia a flexión para una edad de 14 días está en el rango del 7,3 al 52,95%, siendo para esta edad el valor más elevado el correspondiente a una cuantía de 1,5%, sin embargo, como este queda fuera de la dispersión de puntos se considera que el valor óptimo de cuantía para los 14 días de edad es del 4,5% el cual se encuentra dentro de la curva seleccionada como la más representativa.

En la tabla N° 3.5.1.13 se observa que el incremento de resistencia a flexión para la edad de 28 días se encuentra en el rango de 4,36 a 60,51%

Para los 28 días de edad se verifica que la cuantía óptima de bambú es de 4,5% ya que nos proporciona la resistencia a flexión más alta.

## 4.2 Aplicación del hormigón reforzado con bambú

### 4.2.1 Determinación de las ecuaciones de diseño a flexión

#### 4.2.1.1 Diseño en el campo elástico

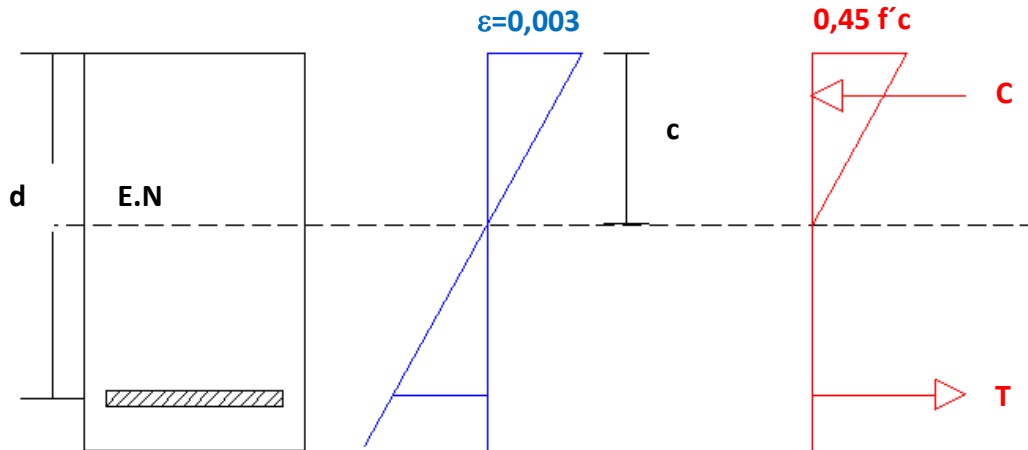


FIGURA N°4.2.1.1

#### Diagrama esfuerzo y deformación en el campo elástico

Por relación de triángulos:

$$\frac{\varepsilon c}{c} = \frac{\varepsilon c a \tilde{n} a}{d - c}$$

$$\varepsilon c (d - c) = \varepsilon c a \tilde{n} a * c$$

$$\varepsilon c * d - \varepsilon c * c = \varepsilon c a \tilde{n} a * c$$

$$c = \frac{\varepsilon c * d}{\varepsilon c a \tilde{n} a + \varepsilon c}$$

El momento nominal que resiste la sección está dado por:

$$M_n = T * \left( d - \frac{c}{3} \right)$$

$$Mn = Ab * Fyc * \left(d - \frac{c}{3}\right)$$

De donde se tiene:

$$Ab = \frac{Mn}{Fyc * \left(d - \frac{c}{3}\right)}$$

Haciendo sumatoria de fuerzas horizontales:

$$T = C$$

$$Ab * Fyc = \frac{1}{2} (0,45 * f'c) * c * b$$

Despejando “c”:

$$c = \frac{Ab * Fyc}{0,225 * f'c * b}$$

Introduciendo el valor de “c”:

$$Ab = \frac{Mn}{Fyc * \left(d - \frac{\left(\frac{Ab * Fyc}{0,225 * f'c * b}\right)}{3}\right)}$$

Donde:

Ab= cantidad de bambú necesaria para resistir el momento en centímetros cuadrados.

Mn= momento nominal en Kilogramo por centímetro

Fyc= resistencia característica a tracción de la caña bambú en kilogramos por centímetro al cuadrado.

f'c= resistencia del hormigón en kilogramos por centímetro al cuadrado.

d= altura efectiva de la sección en centímetros.

b= ancho de la sección en centímetros.

Mediante la cual con un proceso iterativo se puede obtener la cantidad de armadura necesaria para resistir el momento.

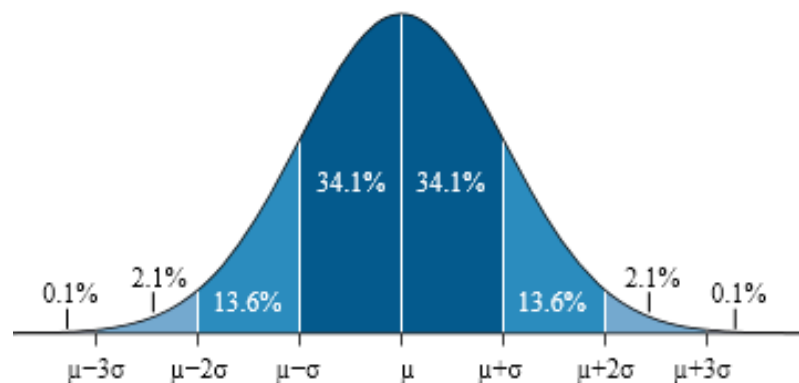
Considerando que el diseño realizado está en el campo elástico donde:

$$\sigma \ll \sigma_{adm}$$

#### 4.2.1.2 Diseño en rotura

##### 4.2.1.2.1 Obtención del factor de reducción de resistencia

Para encontrar el factor de reducción de la resistencia de la caña, se introdujeron los datos de las resistencias obtenidas en el rango “óptimo” de contenido de humedad a una distribución Normal.



**FIGURA N° 4.2.1.2.1**

#### **Campana de Gauss**

**Fuente: Enciclopedia Wikipedia**

Donde para toda la serie de valores se obtuvieron:

Media= 1229,368

Desviación= 161,219

Varianza= 25991,69

Con el fin de calcular la resistencia característica de la caña, es decir, el valor estadístico de la resistencia, que corresponde a la probabilidad que el noventa y cinco por ciento de todos los resultados de ensayos de la población supere dicho valor, se introducen los valores en las siguientes ecuaciones:

$$\delta = \frac{\text{desviación típica}}{\text{media aritmética}} = 0,13114$$

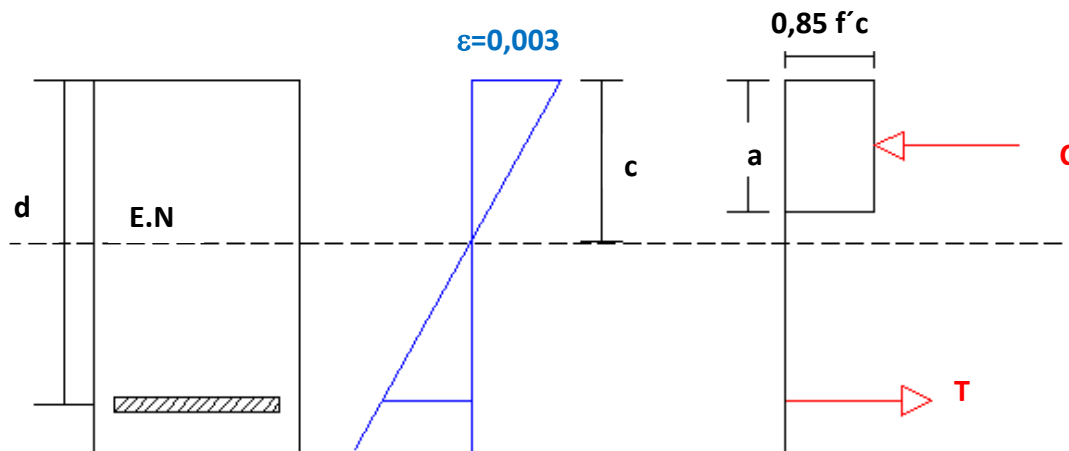
$$F_{yck} = f_{ycm} * (1 - 1,64 * \delta) = 964,97 \frac{Kg}{cm^2}$$

Con el valor de la resistencia característica:

$$F_{yck} = \phi F_{ycmed}$$

$$\phi = 0,78$$

#### 4.2.1.2.2 Determinación de las ecuaciones



**FIGURA N° 4.2.1.2.2**

#### **Diagrama esfuerzo y deformación en el campo plástico**

El diagrama de deformaciones unitarias se caracteriza por tener un valor de 0,003 en la fibra extrema de compresión del hormigón, conforme a los códigos.

El esfuerzo uniforme equivalente de compresión en el hormigón es “0,05\*f'c”

Igualando fuerzas horizontales:

$$C = T$$

Introduciendo el valor de cada una:

$$0,85 * f'c * a * b = Ab * Fyc$$

Haciendo sumatoria de momentos:

$$Mn = 0,85 * f'c * a * b * \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

Desarrollando:

$$\frac{Mn}{0,85 * f'c * b} = a * d - \frac{a^2}{2}$$

Ordenando los términos:

$$\frac{a^2}{2} - d * a + \frac{Mu * \emptyset}{0,85 * f'c * b} = 0$$

Despejando el valor de “a”

$$a = \frac{d - \sqrt{d^2 - 4 * \frac{1}{2} * \frac{Mu}{0,85 * f'c * b * \emptyset}}}{2 * \frac{1}{2}}$$

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * Mu}{0,85 * f'c * b * d^2 * \emptyset}}\right) * d$$

Una vez obtenido el valor de “a” tendremos:

$$Ab = \frac{0,85 * f'c * a * b}{Fyc}$$

De donde obtendremos la cantidad de bambú necesaria si es que se está diseñando en rotura.

Donde:

C= resultante de compresión en Kilogramos.

T=resultante de tracción en Kilogramos.

b= ancho de la sección en centímetros.

Ab= cantidad de caña necesaria para resistir el momento en centímetros cuadrados.

Mn= momento nominal en kilogramos por centímetro.

Mu= momento resistente en kilogramos por centímetro.

$\Phi$ = factor de reducción de la resistencia obtenido en el punto 4.2.1.2.1

a= profundidad del bloque de compresiones en centímetros.

#### 4.2.2 Diseño de una losa de hormigón reforzado con bambú

Para el diseño de la losa se utilizó el método de Henry Marcus, el cual, permite determinar en función a las luces y la magnitud de las cargas uniformemente distribuidas, los valores de  $q_x$  y  $q_y$  así como los momentos flectores máximos positivos en la luz de los tramos y las reacciones en las vigas perimetrales de apoyo.

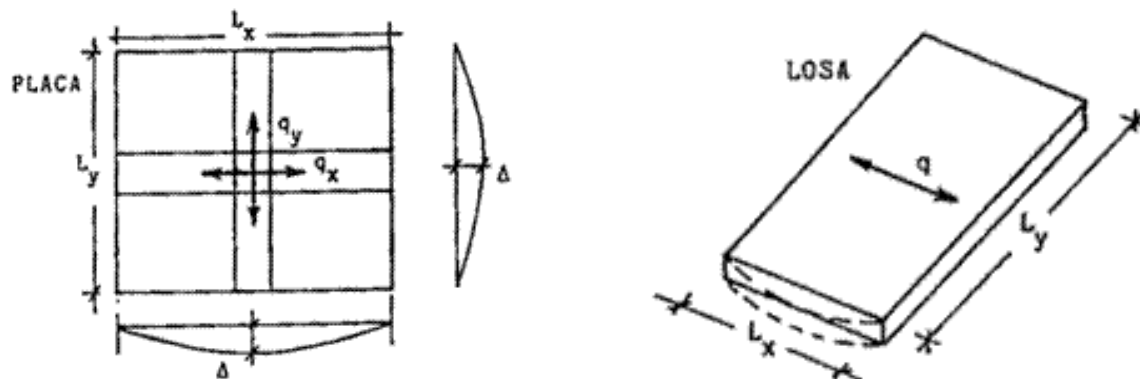


FIGURA N° 3.7.2.1

Distribución de cargas en losas por el método de Marcus

Sabemos que:

$$q = q_x + q_y \quad (1)$$

Igualando las deflexiones máximas en las dos fajas centrales (única sección de placa) tendremos:

$$\frac{5}{384} * \frac{q_x * Lx^4}{EI} = \frac{5}{384} * \frac{q_y * Ly^4}{EI}$$

Pero, sabemos que el producto EI no es el mismo porque la altura efectiva “d” varía debido a que las barras de una dirección van superpuestas a la dirección ortogonal, variando así el valor de “I” pero como son muy cercanas se aceptan como iguales. Entonces:

$$q_x * Lx^4 = q_y * Ly^4$$

Si igualamos:

$$q = q_x + q_x * \frac{Lx^4}{Ly^4} = q_x * \left(1 + \frac{Lx^4}{Ly^4}\right)$$

Despejando  $q_x$ :

$$q_x = \frac{q}{1 + \frac{Lx^4}{Ly^4}} = \frac{q * Ly^4}{Lx^4 + Ly^4}$$

Entonces  $q_y$  será:

$$q_y = \frac{q * Lx^4}{Lx^4 + Ly^4}$$

Designando por:

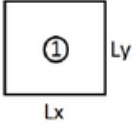
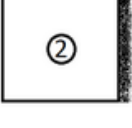




$$k = \frac{Ly^4}{Lx^4 + Ly^4}$$

Por lo tanto, la parte de carga que corresponde a cada dirección de las fajas cruzadas:

$$q_x = k * q$$

$$q_y = (1 - k) * q$$

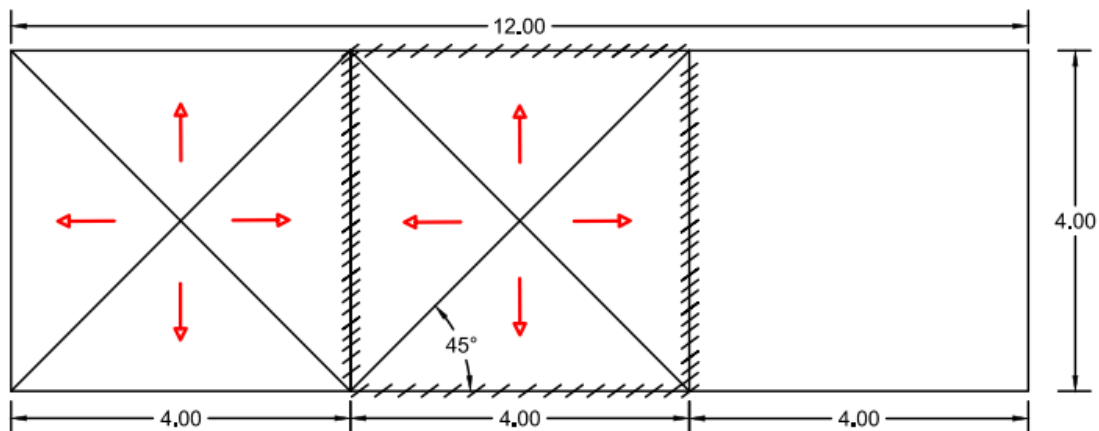
Los valores de  $k$  dependen de la relación de luces y de la forma de sustentación de la losa. Las diferentes formas de apoyo de una losa se indican a continuación, con los respectivos valores de  $k$ .

Forma de sustentación						
$k$	$\frac{Ly^4}{Lx^4 + Ly^4}$	$\frac{5Ly^4}{5Lx^4 + 5Ly^4}$	$\frac{5Ly^4}{Lx^4 + 5Ly^4}$	$\frac{Ly^4}{Lx^4 + Ly^4}$	$\frac{2Ly^4}{Lx^4 + 2Ly^4}$	$\frac{Ly^4}{Lx^4 + Ly^4}$

**FIGURA N° 3.7.2.2**

**Valores de “k” según las condiciones de apoyo de la losa**

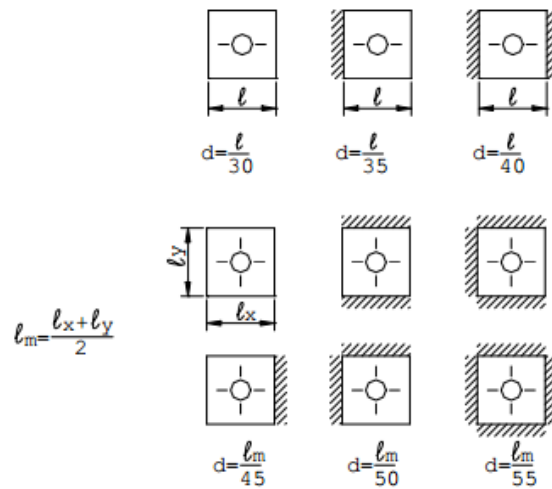
Al tratarse de una opción más económica que evita el uso de materiales que no se producen en muchos lugares, se analiza su posible aplicación en una vivienda de la zona rural, donde las luces máximas de las habitaciones suelen ser de alrededor de 4 metros, contemplando el siguiente caso:



**FIGURA N° 3.7.2.3**

**Esquema de la losa y la viga a diseñar**

Para losas con cargas menores a 1000 Kg/m<sup>2</sup> la altura se puede pre-dimensionar según sus apoyos:



**FIGURA N° 3.7.2.4**

**Pre-dimensionamiento de la altura de la losa según sus condiciones de apoyo**

$$h = \frac{l}{55}$$

$$h = \frac{400}{55} = 7,27$$

Entonces h=8 cm.

Las cargas que deberá soportar esta losa son:

- Peso Propio

$$Peso\ Propio = \gamma * h_{losa} = 192\ kg/m^2$$

- Sobre Carga

$$Sobrecarga = 51\ kg/m^2$$

- Carga Viva

$$Carga\ Viva = 250\ kg/m^2$$

$$q_{total} = P.P. + S.C. + C.V.$$

$$q_{total} = 493 \text{ kg/m}^2$$

Como la losa se trata del caso N° 6 de la tabla, se tiene:

$$k = \frac{Ly^4}{Lx^4 + Ly^4}$$

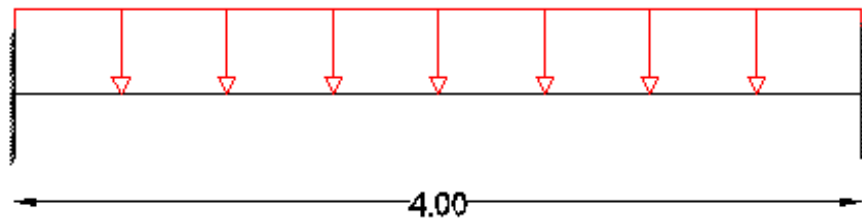
Y al ser una losa simétrica:

$$k = 0,5$$

$$(1 - k) = 0,5$$

Por lo tanto:

$$q_x = q_y = 0,5 * q$$



**FIGURA N° 3.7.2.5**

**Esquema de la losa cargada**

Y el momento estará dado por:

$$M_x = M_y$$

$$M_x = M_y = 165 \text{ kg} * \text{m/m}$$

Es el momento que resistirá un metro de losa, por lo tanto la armadura para cada metro de losa será:

$$d = h - r - \frac{\phi}{2} = 4,5 \text{ cm}$$

$$Ab = \frac{Mn}{Fy * \left( d - \frac{\left( \frac{Ab * Fy}{0,225 * f'c * b} \right)}{3} \right)}$$

$$Ab = 4,05 \text{ cm}^2/m$$

### Verificación al cortante

Como se trata de una losa maciza, el hormigón es el encargado de resistir el cortante.

El cortante que el hormigón resiste está dado por:

$$Vc = 0,53 * \sqrt{f'c} * b * d$$

$$Vc = 3456,19 \text{ kg}$$

Mientras que el cortante máximo al que está sometida la losa es de:

$$V = 494 \text{ kg}$$

De donde se puede verificar que:

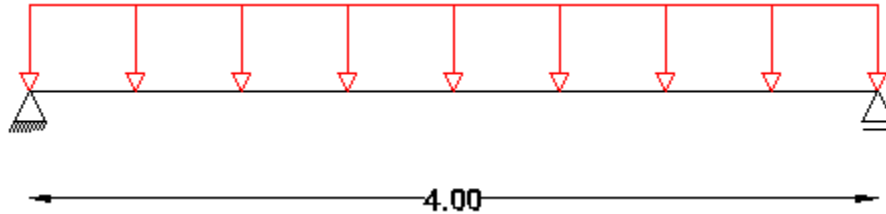
$$V \leq \frac{Vc}{2}$$

Por lo tanto, no es necesario incrementar el espesor de la losa.

### 4.2.3 Diseño de una viga de hormigón reforzado con bambú

Para la determinación de los esfuerzos en los elementos sustentantes de la losa, (vigas en este caso), se supone que las reacciones de la misma, para carga uniforme se reparten según

áreas tributarias triangulares y trapezoidales. En las esquinas a las que concurren bordes del mismo tipo, puede suponerse que el reparto se hace a 45°.



**FIGURA N° 3.7.3.1**  
**Esquema de la viga cargada**

La viga que se calcula es la más desfavorable, es decir, la que tiene que soportar el aporte de dos losas, más su peso propio más la posible carga viva que deba sostener.

El área de aporte será:

$$\text{Área} = 4 \text{ m}^2$$

Como el  $q_{\text{total}} = 393 \text{ kg/m}^2$

La carga que transmite una de las losas a la viga es:

$$q = 1576 \text{ kg}$$

Debido a la simetría, la carga de dos losas es:

$$q = 3152 \text{ Kg}$$

Si se la distribuye uniformemente, la carga se tiene:

$$q = 788 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$$

La viga además, deberá soportar su peso propio, por lo que se asumen las secciones de  $b=20$  cm y  $h=30$  cm al ser estas las más utilizadas. De esta manera, la carga que la viga soporta debido a su peso propio es:

$$q = 144 \frac{Kg}{m}$$

Asumiendo que sobre la viga existirá un muro de ladrillo de 3 metros de altura:

$$q = 660 \frac{Kg}{m}$$

La carga total que deberá resistir la viga es:

$$q_{total} = 1592 \frac{Kg}{m}$$

Como la viga se encuentra simplemente apoyada, el momento máximo que resiste está dado por:

$$M_{max} = \frac{q_{total} * l^2}{8}$$

$$M_{max} = 318400 \text{ Kg} * \text{cm}$$

Con el valor de  $h= 30$  cm y considerando el recubrimiento mínimo de 3 cm en vigas, el valor de la altura efectiva es:

$$d = 27 \text{ cm}$$

Utilizando la ecuación obtenida en la sección 4.2.1.1:

$$Ab = \frac{Mn}{Fy * \left( d - \frac{\left( \frac{Ab * Fy}{0,225 * f'c * b} \right)}{3} \right)}$$

$$Ab = 15,11 \text{ cm}^2$$

### Verificación al cortante

El cortante que el hormigón resiste está dado por:

$$Vc = 0,53 * \sqrt{f'c} * b * d$$

$$Vc = 4147,43 \text{ Kg}$$

Mientras que el cortante máximo al que está sometido la viga analizada es de:

$$V = 3184 \text{ Kg}$$

Como:

$$\frac{Vc}{2} \ll V \ll Vc$$

La armadura de corte necesaria en la viga será la mínima:

$$Asmin = \frac{3,5 * b * S}{fy}$$

Despejando la separación y asumiendo un diámetro de 8 mm para los estribos:

$$Smax = \frac{Amin * Fy}{3,5 * b}$$

$$Smax = 12,06$$

Por lo tanto, para el cortante se utilizarán  $\phi$  6 c/ 25

Observando que los estribos utilizados son de acero, no de caña bambú.

#### 4.2.4 Diseño de una viga de hormigón armado

##### 4.2.4.1 Según Norma Boliviana CBH-87

$$Md = 1,6 * Mn = 509440Kg * cm$$

$$fcd = \frac{fc}{1,5} = 140 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$fyd = \frac{fy}{1,15} = 3652 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$dmin = 2,5 * \sqrt{\frac{Md}{bw * fcd}} = 27,15 cm$$

$$h = dmin + d1 = 30,15 cm$$

$$h = 35 cm$$

$$d = h - 3cm = 32cm$$

$$\mu d = \frac{Md}{bw * d^2 * fcd} = 0,178$$

De tabla:

$$ws = 0,20296$$

$$As = ws * bw * d * \frac{fcd}{fyd} = 4,98 cm^2$$

De tabla:

$$wsmin = 0,0033$$

$$Asmin = wsmin * bw * d = 2,112 cm^2$$

Entonces, la cantidad de armadura necesaria es de:  $A_s = 4,98 \text{ cm}^2$ , lo que constructivamente puede estar dado por  $5 \phi 12$ .

#### 4.2.4.2 Según ACI 318S-05

$$M_u = 1,4 * M_d + 1,6 * M_l$$

$$M_u = 445760 \text{ kg} * \text{m}$$

Con las dimensiones asumidas para la viga armada con bambú:

$$d = 26,5\text{m}$$

Altura del bloque de compresiones:

$$a = d * \left( 1 - \sqrt{1 - 2,6144 * \frac{M_u}{f'_c * b * d^2}} \right)$$

$$a = 5,9 \text{ cm}$$

Armadura necesaria:

$$A_s = \frac{0,85 * f'_c * b * a}{f_y}$$

$$A_s = 5,00 \text{ cm}^2$$

Armadura mínima:

Para acero  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $\rho_{min} = 0,0033$

$$A_{smin} = \rho_{min} * b * d$$

$$A_{smin} = 1,78 \text{ cm}^2$$

Por lo tanto  $A_s = 5,00 \text{ cm}^2$ ,  $5\phi 12$ .

### 4.3 Análisis de costos

#### 4.3.1 Análisis de costos para viga reforzada con bambú

El aditivo utilizado para asegurar la adherencia entre el bambú y el hormigón es el denominado SIKADUR 32 GEL que es un adhesivo de consistencia líquida, de dos componentes a base de resinas epóxicas seleccionadas y libre de solventes.

El mismo se puede encontrar en dos presentaciones, de 1kg y de 5kg.

El rendimiento del mismo cuando es utilizado en la caña se detalla a continuación:

El volumen de hormigón es igual al producto de las dimensiones de la sección transversal por una determinada longitud:

$$V = a * b * L$$

Entonces para un metro cúbico de hormigón la longitud correspondiente dependiendo de las dimensiones de la sección transversal de la viga está dada por:

$$L = \frac{V}{a * b}$$

Para 1 m<sup>3</sup> de la viga proyectada tendremos:

$$L=16,67 \text{ m}$$

En base a datos experimentales se tiene que:

1 kilogramo de SIKADUR 32 GEL rinde para recubrir 110 metros de caña bambú seccionada en mitades con una pasada uniforme en todas sus caras.

Por otro lado se tiene que en promedio una viga se encuentra reforzada por 6 barras de caña, las cuales en un metro cúbico de hormigón tendrán una longitud total de 100 metros.

Si tenemos que 1 kilogramo de SIKADUR 32 GEL rinde 110 metros, sabremos que para 1 m<sup>3</sup> se necesitan 0,9 kilogramos del mismo.

El costo del SIKADUR 32 GEL en su presentación de 1 kg es de 200 Bs. por lo tanto para el refuerzo necesario de bambú en 1 m<sup>3</sup> de hormigón se necesita disponer de 180 Bs para el aditivo.

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**FECHA:** nov-13

**ITEM:** Viga H°B°

**UNIDAD :** m3

**MONEDA:** BOLIVIANOS

DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
<b>1. MATERIALES</b>				
Cemento portland El Puente	Kg.	325,000	1,11	360,750
Arena común	m3	0,500	120,00	60,000
Grava común	m3	0,700	150,00	105,000
Caña Bambú más aditivo	global	1,000	180,00	180,000
Hierro Corrugado	Kg.	20,000	8,29	165,800
Madera de construcción	Pie2	67,000	7,50	502,500
Clavos	Kg.	2,000	13,00	26,000
Alambre de amarre	Kg.	2,000	13,00	26,000
<b>TOTAL MATERIALES</b>				<b>1.283,445</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>				
Albañil	Hr	10,000	16,25	162,500
Ayudante	Hr	24,000	11,00	264,000
Encofrador	Hr	18,000	16,25	292,500
Armador	Hr	12,000	16,25	195,000
<b>SUB TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>914,000</b>
CARGAS SOCIALES 55%				502,700
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA 14,94%				211,655
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>1.628,355</b>
<b>3. EQUIPO MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>				
Mezcladora	Hr	1,000	24,00	24,000
Vibradora	Hr	0,800	13,00	10,400
HERRAMIENTAS 5%				81,418
<b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>				<b>115,818</b>
<b>4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>				
GASTOS GENERALES 12%				363,314
<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>				<b>479,132</b>
<b>5. UTILIDAD</b>				
UTILIDAD 10%				350,675
<b>TOTAL UTILIDAD</b>				<b>350,675</b>
<b>6. IMPUESTOS</b>				
IMPUESTOS IT 3,09%				119,194
<b>TOTAL IMPUESTOS</b>				<b>119,190</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>				<b>3.976,615</b>

### 4.3.2 Análisis de costos para viga de hormigón armado

#### ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

FECHA: nov-13

ITEM: Viga H°A°

UNIDAD : m3

MONEDA: BOLIVIANOS

DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
<b>1. MATERIALES</b>				
Cemento portland El Puente	Kg.	325,000	1,11	360,750
Arena común	m3	0,500	120,00	60,000
Grava común	m3	0,700	150,00	105,000
Hierro corrugado	Kg.	97,000	8,29	804,130
Madera de construcción	Pie2	67,000	7,50	502,500
Clavos	Kg.	2,000	13,00	26,000
Alambre de amarre	Kg.	2,000	13,00	26,000
<b>TOTAL MATERIALES</b>				<b>1.884,380</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>				
Albañil	Hr	10,000	16,25	162,500
Ayudante	Hr	24,000	11,00	264,000
Encofrador	Hr	18,000	16,25	292,500
Armador	Hr	12,000	16,25	195,000
<b>SUB TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>914,000</b>
CARGAS SOCIALES 55%				502,700
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA 14,94%				211,655
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>1.628,355</b>
<b>3. EQUIPO MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>				
Mezcladora	Hr	1,000	24,00	24,000
Vibradora	Hr	0,800	13,00	10,400
HERRAMIENTAS 5%				81,418
<b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>				<b>115,818</b>
<b>4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>				
GASTOS GENERALES 12%				435,426
<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>				<b>551,244</b>
<b>5. UTILIDAD</b>				
UTILIDAD 10%				417,980
<b>TOTAL UTILIDAD</b>				<b>417,980</b>
<b>6. IMPUESTOS</b>				
IMPUESTOS IT 3,09%				142,071
<b>TOTAL IMPUESTOS</b>				<b>142,070</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>				<b>4.739,846</b>



## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

Luego de haber definido las propiedades físicas y mecánicas de la caña bambú y utilizarla como refuerzo longitudinal en elementos de hormigón los cuales fueron sometidos a ensayos de flexión, se puede concluir que:

1. Es factible la utilización del bambú como refuerzo del hormigón; sin embargo, se necesita tener conocimiento del tratamiento previo que necesita la caña para su correcto funcionamiento en el hormigón, además del proceso de vaciado y funcionamiento para evitar posibles fallas de construcción.
2. El uso del bambú como refuerzo del hormigón requiere conocimiento de la globalidad teórica, pues pequeños detalles (humedad, absorción, adherencia) pueden influir en su comportamiento y ocasionar que el mismo no alcance la resistencia deseada o no tenga un buen funcionamiento.
3. El contenido de humedad con el que se debe utilizar el bambú como refuerzo en el hormigón es de aproximadamente 12%, ya que así el mismo alcanza sus máximas resistencias y es menor propenso a sufrir ataques de insectos o podrirse.
4. Además que, el exceso de humedad en el bambú provocará la pérdida de agua del mismo al transcurrir el tiempo provocando su pérdida de volumen y por ende vacíos en el elemento de hormigón que reducirá su resistencia.
5. Por otra parte, el bambú debe recibir un tratamiento con el fin de asegurar que exista adherencia con el hormigón para que ambos trabajen como un conjunto resistiendo los esfuerzos a los que sean sometidos, experimentalmente se pudo observar que el adhesivo SIKADUR 32GEL, gracias a su particularidad de tener alta resistencia a la tracción, funciona de muy buena manera proporcionando al bambú la adherencia necesaria.

6. Experimentalmente se pudo observar que para los 28 días de edad el incremento de resistencia a flexión para vigas de hormigón reforzadas con cuantías entre el 1,5 y 5,5 % se encuentra en el rango del 4,36 al 60,51 % demostrándose que el bambú aporta de manera significativa en la resistencia comparada con la de una viga de hormigón simple.
7. El comportamiento de la resistencia a la flexión en función a la cuantía de bambú de las vigas es parabólico, es decir, a medida que se incrementa la cantidad de bambú la resistencia aumenta hasta llegar a un punto que puede ser considerado el óptimo y es a partir de ahí que, a pesar de que se siga incrementando la cuantía, la resistencia a flexión vuelve a disminuir.
8. Tanto para los 14 como para los 28 días de edad se pudo observar que con una cuantía del 4,5% de bambú las vigas alcanzan los valores máximos de resistencia, por lo tanto, se puede definir a esta como la cuantía “óptima”.
9. No se pretende reemplazar al hierro, porque las características del bambú no alcanzan en mínima parte la magnitud de sus características; sin embargo, la proyección de esta investigación va a pequeñas edificaciones que no tienen que resistir grandes solicitaciones en las cuales el bambú sí puede ser utilizado como refuerzo del hormigón asegurando su correcto funcionamiento.
10. El costo del m<sup>3</sup> de viga reforzada con bambú es menor en aproximadamente el 20% en relación con el de hormigón armado, por lo que para reemplazar esas estructuras en lugares donde existe el bambú (principalmente zonas rurales) es aconsejable su uso.
11. El diseño de elementos de hormigón sometidos a flexión reforzados con bambú se realizó en el campo elástico, a través de la deducción de ecuaciones propias basadas en resultados obtenidos experimentalmente, principalmente debido a que no se

cuenta con suficientes datos estadísticos para poder realizar el diseño en rotura con seguridad.

## **5.2 Recomendaciones**

En base a los resultados obtenidos en los diferentes ensayos se pueden mencionar los siguientes principios de diseño y construcción recomendados con bambú:

1. En elementos importantes de hormigón no se recomienda el empleo de cañas completas, verdes, como refuerzo del material. Cuando sea posible, el bambú empleado como refuerzo de elementos de hormigón sujeto a flexión, deberá ser cortado y estacionado de tres semanas a un mes antes de su empleo.
2. Antes de ser introducida en el hormigón, la caña debe ser tratada con una substancia que tenga efectos de fungicida con el fin de evitar una posible descomposición futura.
3. Cuando se empleen cañas de bambú enteras completamente estacionadas, para el refuerzo de elementos importantes de hormigón sometido a flexión, es recomendable el uso de algún tipo de impermeabilización.
4. El adecuado espaciamiento de los refuerzos de bambú es muy importante. Los ensayos indican que cuando el principal refuerzo longitudinal de bambú está muy poco espaciado, la resistencia del elemento a la flexión queda adversamente afectada.
5. Al colocar el refuerzo de bambú debe tomarse la precaución de alternar los extremos superiores e interiores de las cañas de bambú en todas las hileras.
6. Se debe colocar correctamente la armadura, evitando posibles movimientos en el momento de vaciado que harían que la pieza no trabaje correctamente.
7. Se debe asegurar la adherencia entre la caña y el hormigón mediante el uso de alguna resina o aditivo con propiedades adhesivas.
8. En elementos de importancia considerable, se puede utilizar algún aditivo auto-compactante para no tener que vibrar y así evitar cualquier movimiento de la armadura.
9. Con el principal fin de continuar con la investigación del hormigón reforzado con bambú en el afán de proyectarlo como un refuerzo estructural de hormigón en un futuro no muy lejano se recomiendan algunas de las características importantes de

los elementos de hormigón reforzado con bambú, sobre los cuales deberán hacerse investigaciones en el futuro:

- Realizar pruebas de adherencia entre el bambú y el hormigón con y sin aditivos para verificar su funcionamiento.
- Probar diferentes disposiciones de la armadura para comparar sus comportamientos y encontrar aquella en la que las resistencias alcanzadas son las más elevadas.
- A través de ensayos de laboratorio determinar las longitudes de anclaje necesarias en las armaduras de bambú además de las longitudes de traslape necesarias.
- Comparar el comportamiento de las cañas de bambú utilizadas como refuerzo cuando están seccionadas y sin seccionar.
- Estudiar la durabilidad del hormigón reforzado con caña bambú para tener una referencia de su vida útil.