

APORTE DEL BAMBÚ EN ELEMENTOS DE HORMIGÓN SOMETIDOS A FLEXIÓN

Cortez Flores Ilsen Adriana¹

¹ Investigadora junior de la Carrera de Ingeniería Civil – Facultad de Ciencias y Tecnología - UAJMS
Dirección para correspondencia: adricortez1@gmail.com

RESUMEN

La presente investigación tuvo la finalidad de estudiar el uso de la caña bambú como refuerzo longitudinal en elementos de hormigón sometidos a flexión, con el fin de determinar si existe un aporte en la resistencia a flexión por parte de la misma.

Para el desarrollo se seleccionó las cañas a ser empleadas éstas fueron tratadas y posteriormente se obtuvieron sus propiedades tanto físicas como mecánicas a través de diferentes ensayos de laboratorio basados en las normas de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas COPANT. Luego se procedió a caracterizar los agregados a ser empleados, y en base a sus propiedades se realizó la dosificación buscando una resistencia a compresión de 210 kg/cm² en el hormigón preparado. A continuación, utilizando los resultados anteriores se sometieron vigas de hormigón simple al ensayo de flexión ASTM C-78 para obtener un valor referencial de su resistencia, tanto para los 14 como para los 28 días de edad, los cuales son 47,71 kg/cm² y 53,94kg/cm² en promedio.

Posteriormente, se armaron vigas con diferentes cuantías de refuerzo de bambú en el rango de 1,5% y 5,5%. Estas vigas de igual manera fueron sometidas al ensayo de flexión ASTM C-78, para obtener sus resistencias a los 14 y 28 días de edad y posteriormente poder determinar si existe un aporte por parte del bambú en la resistencia a flexión cuando es utilizado como refuerzo del hormigón.

En los resultados obtenidos se puede observar que el incremento de resistencia a flexión para una edad de 14 días está en el rango del 7,3 al 52,95%, mientras que para los 28 días de edad se encuentra entre el 4,36 y 60,51% en las vigas reforzadas con

bambú. Una vez definidas las características y el comportamiento del hormigón reforzado con bambú se determinaron ecuaciones para ser utilizadas en el diseño de elementos estructurales las cuales permiten obtener la cantidad necesaria de bambú para resistir la sollicitación a la que el elemento está siendo sometido.

Como aplicación práctica se realizó el diseño de una losa y una viga con dimensiones previamente definidas, y para fines comparativos se realizó el diseño de la misma viga con hormigón armado utilizando la normativa CBH-87 y ACI 05 llegando a resultados muy similares.

Palabras claves: Caña de Bambú, flexión

ABSTRACT

This research was intended to study the use bamboo cane as longitudinal reinforcement in concrete elements subjected to bending, in order to determine if there is a contribution to the flexural strength.

Once selected the rods to be used they were treated and later their physical and mechanical properties were obtained through various laboratory tests based on the standards of the Pan American Commission for Technical Standards COPANT. Then we proceeded to characterize the aggregates to be used, and based on their properties dosing was performed looking for a compressive strength of 210 kg / cm² for concrete prepared. Using the above results plain concrete beams were subjected to bending test ASTM C-78 to obtain a reference resistance value for both the 14 to 28 days of age which are 47,71 kg / cm² and 53,94kg / cm² on average.

After that, we armed beams with different amounts of bamboo reinforcement in the range of 1,5% to 5,5%. These beams likewise were subjected to bending test ASTM C-78, to obtain their resistance at 14 and 28 days of age and later to determine if there is a contribution from the bamboo in flexural strength when used as reinforcement concrete.

In the results it can be seen that the increase in flexural strength for an age of 14 days is in the range of 7,3 to 52,95%, while for the 28 days of age is between 4,36 and 60,51% in the bamboo reinforced beams. Once the characteristics and behavior of reinforced concrete bamboo were defined, we determined equations to be used in the design of structural elements which allow you to obtain the necessary amount of bamboo to withstand the stresses to which the element is undergoing.

As an application of them design of a slab and a beam with predefined dimensions was performed. For comparison the same beam was designed in reinforced concrete using the rules of CBH-87 and ACI-05, reaching similar results in both cases.

Keywords: Bambú, flexion,

INTRODUCCIÓN

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.

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 mejora 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 bibliografía consultada puede alcanzar valores de 53.000 psi (3.726 kg/cm²); pero este valor es sumamente variable pues se dan valores de 15.000 psi (1.055 kg/cm²) y al ser el rango bastante apreciable, se debe definir con ensayos de especies locales.

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.

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 substancia 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.

MATERIALES Y MÉTODOS

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/cm² 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.

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 a normas establecidas por la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT). Los ensayos a los que se sometieron muestras de bambú son:

- Contenido de humedad
- Densidad
- Tracción
- Compresión paralela a las fibras
- Compresión perpendicular a las fibras
- Flexión

Ensayos sobre los agregados

Para obtener las características de los agregados y en base a ellas realizar una dosificación apropiada para obtener una resistencia de 210 kg/cm² en las vigas a ser probadas se realizaron los siguientes ensayos en los agregados:

- Granulometría del agregado grueso
- Peso específico y absorción de agregado grueso
- Peso unitario del agregado grueso
- Granulometría del agregado fino
- Peso específico y absorción del agregado fino
- Peso unitario del agregado fino

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/cm². 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".

Una vez ensayada la caña y obtenidos los valores de contenido de humedad que se pueden considerar "óptimos" para los cuales la misma alcanzaba los valores de resistencia más elevados tanto a tracción como a compresión se procedió a armar vigas con diferentes cuantías de bambú para someterlas al ensayo de flexión.

Primero se ensayaron vigas de hormigón simple para obtener un valor parámetro de la resistencia de las mismas y posteriormente poderlos comparar con los obtenidos con vigas reforzadas con diferentes cuantías de bambú.

Ensayo de Flexión

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.

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 1. Resultados obtenidos para el Módulo de rotura en vigas de hormigón simple a los 14 días

| Muestra N° | Edad (DIAS) | Refuerzo (%) | Peso Kg | Módulo de Rotura Kg/cm ² |
|------------|-------------|--------------|---------|-------------------------------------|
| 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 |
| Promedio | | | 28,49 | 47,71 |

Tabla 2. Resultados obtenidos para el Módulo de rotura en vigas de hormigón simple a los 28 días

| Muestra N° | Edad (DIAS) | Refuerzo (%) | Peso Kg | Módulo de Rotura Kg/cm ² |
|------------|-------------|--------------|---------|-------------------------------------|
| 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 |
| Promedio | | | 28,87 | 53,94 |

Ensayos en vigas reforzadas con bambú

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 y los resultados obtenidos se los puede observar en la tabla a continuación:

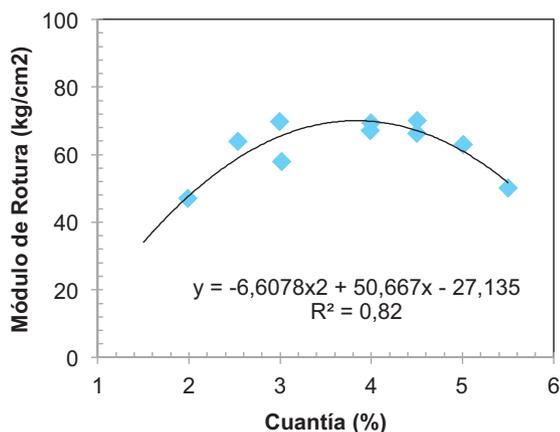
Tabla 3. Resultados obtenidos para el Módulo de rotura en vigas de hormigón reforzado con diferentes cuantías de bambú a los 14 días.

| Muestra N° | Edad (DÍAS) | Refuerzo (%) | Peso Kg | Módulo de Rotura Kg/cm ² |
|------------|-------------|--------------|---------|-------------------------------------|
| 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 |

Tabla 4. Resultados obtenidos para el Módulo de rotura en vigas de hormigón reforzado con diferentes cuantías de Bambú a los 28 días.

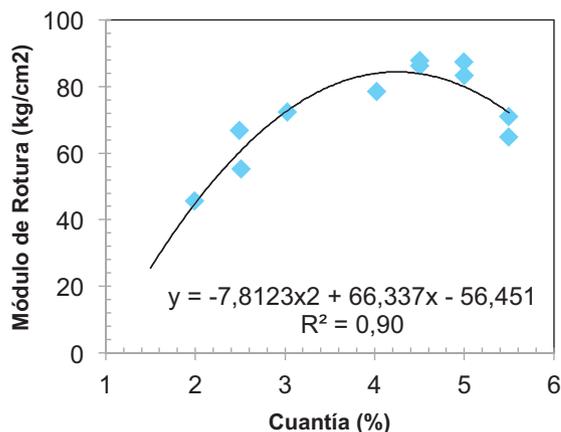
| Muestra N° | Edad (DIAS) | Refuerzo (%) | Peso Kg | Módulo De Rotura Kg/cm ² |
|------------|-------------|--------------|---------|-------------------------------------|
| 15 | 28 | 1,50 | 27,97 | 67,25 |
| 16 | 28 | 1,50 | 27,88 | 64,97 |
| 19 | 28 | 2,00 | 28,38 | 45,69 |
| 20 | 28 | 2,00 | 27,67 | 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 |

Cuantía Vs Módulo de Rotura



Gráfica 1. Cuantía de Caña Bambú vs Módulo de rotura para 14 días

Cuantía Vs Módulo de Rotura



Gráfica 2. Cuantía de Caña de Bambú vs Módulo de rotura para 28 días.

Tabla 5. Incremento de resistencia a la flexión en vigas reforzadas con Bambú, en relación a vigas de hormigón simple para 14 días de edad.

| Edad | Cuantía Bambú | Módulo de Rotura | Hormigón Simple | Incremento Resistencia |
|--------|---------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| (Días) | (%) | (Kg/cm ²) | (Kg/cm ²) | (%) |
| 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 |

Tabla 6. Incremento de resistencia a la flexión en vigas reforzadas con Bambú, en relación a vigas de hormigón simple para 28 días de edad.

| Edad | Cuantía Bambú | Módulo de Rotura | Hormigón Simple | Incremento De Resistencia |
|--------|---------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|
| (Días) | (%) | (Kg/cm ²) | (Kg/cm ²) | (%) |
| 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 |

RESULTADOS

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.

En lo que respecta a 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/cm² para los 14 días y de 53,94 Kg/cm² 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.

Como se puede observar, 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 Gráfica 1 y Gráfica 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 5, 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 6, 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.

Una vez teniendo todos estos datos disponibles se realizó una aplicación del diseño de hormigón reforzado con bambú donde se realizó la deducción de una fórmula que permitiera realizar diseño de estas estructuras mismas que está dada por:

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

Donde:

Ab= cantidad de bambú necesaria para resistir el momento (cm²).

Mn= momento nominal (kg/cm).

Fyc= resistencia característica a tracción de la caña bambú (kg/cm²).

f'c= resistencia del hormigón (kg/cm²).

d= altura efectiva de la sección (cm).

b= ancho de la sección (cm).

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:

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

Diseño en rotura Obtención del factor de reducción de resistencia

Para el diseño en rotura primero se obtuvo el factor de reducción de resistencia introduciendo los datos de las resistencias obtenidas en el rango "óptimo" de contenido de humedad a una distribución Normal. Teniendo que el valor de este factor para la caña estudiada es de 0,78.

Posteriormente, utilizando el diagrama esfuerzo y deformación en el campo plástico se dedujo que la cantidad de bambú necesaria para resistir el momento cuando el diseño se realiza en rotura está dada por:

$$A_b = \frac{(0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b)}{F_{yc}}$$

Donde:

C= resultante de compresión (kg).

T=resultante de tracción (kg).

b= ancho de la sección (cm).

Ab= cantidad de caña necesaria para resistir el momento (cm²).

Mn= momento nominal (kg/cm).

Mu= momento resistente (kg/cm).

Φ= factor de reducción de la resistencia.

a= profundidad del bloque de compresiones (cm).

De esta forma obtendremos la cantidad de bambú necesaria para el diseño en rotura.

DISCUSIÓN

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,

podemos mencionar una serie de datos que resultan verdaderamente interesantes y permiten además apreciar que efectivamente utilizar el mismo como refuerzo del hormigón incrementa su resistencia cuando este es sometido a flexión.

Primero podemos afirmar que 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.

En base a resultados obtenidos experimentalmente podemos afirmar que 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 menos propenso a sufrir ataques de insectos o podrirse. Haciendo notar 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.

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.

Como hemos visto en lo expuesto anteriormente, de manera experimental 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.

Recalcando que 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. Cabe hacer mención que 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.

Es así que 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 presentan algunas de las características importantes de los elementos de hormigón reforzado con bambú, sobre los cuales deberán hacerse investigaciones en el futuro como por ejemplo se deberán realizar pruebas de adherencia entre el bambú y el hormigón con y sin aditivos para verificar su funcionamiento.

Además se deberán 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 se podría determinar las longitudes de anclaje necesarias en las armaduras de bambú además de las longitudes de trasape necesarias.

Y finalmente se podría realizar un estudio más profundo sobre la vida útil de elementos de

hormigón reforzados con bambú para verificar la funcionalidad de estos con proyecciones a futuro.

BIBLIOGRAFÍA

Adom-Asamoah, M., & Afrifa Owusu, R. (2011). A comparative study of Bamboo reinforced concrete beams using different stirrup materials for rural construction.

Arcilla, J. (1993). El bambú como material de construcción.

ASTM. (s.f.). American Society for Testing and Materials - ASTM C78.

Botero Cortés, L. F. (2004). Manual de Bambú. CBH-87. (1987). Código Boliviano del Hormigón - CBH 87.

COPANT, M. (s.f.). Comisión Panamericana de Normas Técnicas - COPANT Maderas.

Fanf, H., & Fay, S. (1978). Mecanismo de la interacción Bambú-Agua-Concreto. Conferencia Internacional sobre Materiales de Construcción para países en desarrollo. Bangkok, Tailandia. Jimenez Montoya. (s.f.). Hormigón Armado.

Khosrow, G. (s.f.). Bamboo as reinforcement in structural concrete elements.

Leena, K. (s.f.). Performance evaluation of Bamboo reinforced concrete beams.

Mahzuz, H. M., Mushtaq, A., Ashrafuzzaman, M., Rejaul, K., & Raju, A. (2011). Performance evaluation of Bamboo with mortar and concrete.

N.V., H. S., Vamsi Krishna, T., & Ramana Reddy, I. V. (2012). Investigation on properties of Bamboo as reinforcing material in concrete.