

## Manufactura de bicicleta de bambú con transmisión de engranes

### Manufacture of bamboo bicycle with gear transmission

FERRER-ALMARAZ, Miguel Ángel†, RAMOS-LÁZARO, Gabriela, GUANDULAY-ALCAZAR, Miguel Ángel y ORTÍZ-ROA, Arturo

*Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Miguel Ángel, Ferrer-Almaraz* / **ORC ID:** 0000-0003-4913-4010, **Researcher ID Thomson:** S-6969-2018, **CVU CONACYT ID:** 342076

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Gabriela, Ramos-Lázaro* / **ORC ID:** 0000-0002-8827-3948, **Researcher ID Thomson:** S-7730-2018, **CVU CONACYT ID:** 439753

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Miguel, Guandulay-Alcazar* / **ORC ID:** 0000-0002-8831-9547, **Researcher ID Thomson:** S-6750-2018, **CVU CONACYT ID:** 443671

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Arturo, Ortíz-Roa* / **ORC ID:** 0000-0003-0543-7810, **Researcher ID Thomson:** S-7642-2018, **CVU CONACYT ID:** 947387

**DOI:** 10.35429/JID.2019.6.3.8.13

Recibido 05 Enero 2019; Aceptado 30 de Marzo, 2019

#### Resumen

El presente proyecto versa sobre la construcción de una bicicleta con estructura de Bambú, planta de cultivo preferentemente en el suroeste de México, sin embargo se usó un bambú cultivado en el Bajío mexicano. También se incluyó una transmisión a base de engranes helicoidales, sustituyendo la cadena de transmisión tradicional. Se realizó un modelado en Solidworks así como análisis de elementos finitos para cuantificar los factores de seguridad en la bicicleta así como esfuerzos de Von Mises. Respecto al armado y construcción de la bicicleta de bambú, se realizaron distintos cortes de las cañas de la planta para adecuarlas a las partes tubulares del cuadro de la bicicleta, además del manubrio. Se realizó el montaje de la transmisión con engranes helicoidales acoplándolos con un eje de transmisión de potencia. Así mismo se hicieron pruebas, ya armada la bicicleta, tanto de resistencia como de velocidad. Y considerando probar la transmisión con engranes.

**Bambú, Bicicleta, Engranes**

#### Abstract

The present project deals with the construction of a bicycle with a Bamboo structure, a cultivation plant preferably in the southwest of Mexico, however a bamboo cultivated in the Mexican Bajío was used. A transmission based on helical gears was also included, replacing the traditional transmission chain. Solidworks modeling was performed as well as finite element analysis to quantify bicycle safety factors as well as Von Mises efforts. Regarding the assembly and construction of the bamboo bicycle, different cuts of the plant's rods were made to adapt them to the tubular parts of the bicycle frame, in addition to the handlebar. The transmission was assembled with helical gears by coupling them with a power transmission shaft. Also tests were done, already armed the bike, both resistance and speed. And considering testing the transmission with gears.

**Bamboo, Bicycle, Gear**

**Citación:** FERRER-ALMARAZ, Miguel Ángel, RAMOS-LÁZARO, Gabriela, GUANDULAY-ALCAZAR, Miguel Ángel y ORTÍZ-ROA, Arturo. Manufactura de bicicleta de bambú con transmisión de engranes. Revista del Diseño Innovativo. 2019. 3-6: 8-13

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

El Bambú es un material utilizado desde tiempos remotos por grandes civilizaciones para cubrir sus diversas necesidades: transporte (balsas), casas, camas y demás utensilios cotidianos de la vida diaria. Pero también el bambú se puede utilizar de otras maneras, tal como la estructura de una bicicleta; esto significa sustituir los materiales tradicionales con que se han fabricado las bicicletas: acero, hierro, titanio, aluminio y fibra de carbono. En este sentido el objetivo en este estudio será fabricar una bicicleta tipo montaña (Mountain Bike), con un material sustituto de los materiales convencionales como es el bambú. La variedad con que se trabajará el proyecto es *Guadua Angustifolia* Kunth, muy común de cultivarse en el sur de México, sin embargo se adapta a lugares templados como Guanajuato, es aquí donde se obtiene la materia prima para la construcción de la Bicicleta; cabe mencionar que a pesar del clima variado y a veces frío del estado de Guanajuato, el bambú crece, no tan rápido como las regiones más cálidas del país.

El bambú tiene características mecánicas particulares que lo hacen idóneo para ser elegido como material base estructural de la bicicleta a proyectar; de tal manera que se tiene un valor calculado de resistencia al cortante de 16 MPa, utilizando en esta medición bambú crudo (Raw Bamboo) [1], ver tabla 1. Todo lo anterior comparado con un material típico utilizado en la construcción de bicicletas como es el aluminio, 6061-T6, cuya resistencia a la cortante anda alrededor de diez veces más que el bambú [2]. Otro punto a considerar es el peso de la bicicleta. En este rubro una bicicleta fabricada en aluminio con sus componentes (llantas, rines, asiento, transmisión, etc.) pesará entre 16 a 18 kg, siendo que la bicicleta de bambú de las mismas características habrá de pesar entre 10 y 12 kg.

Otra característica del diseño propuesto es dotar a la bicicleta de bambú con una transmisión por engranes, ya que la transmisión por cadena tiene una gran cantidad de puntos de contacto y por lo tanto de fricción, utilizando engranes habría de generarse un sistema de transmisión de potencia más eficiente. Lo anterior expuesto habrá de justificar y a la vez ser la contribución con este trabajo al quehacer ingenieril y científico.

Es decir estamos hablando de un vehículo de transporte fabricado con materiales alternativos que cumplan con las características mecánicas para su uso así como ser mucha más liviana que una bicicleta común.

Material properties for structural bamboo and comparable natural bamboo and timber products.

	Density $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Compression		Tension		Shear $\tau_1$ MPa	Flexural		$f_2$ $\rho$ 10 <sup>6</sup> (m <sup>3</sup> s <sup>-2</sup> )	
		$f_{c1}$ MPa	$f_{c2}$ MPa	$f_{t1}$ MPa	$f_{t2}$ MPa		$f_b$ MPa	$E_b$ GPa		
Laminated bamboo <sup>1</sup>	$\bar{x}$	686	77	22	90	2	16	77-83	11-13	16-19
	COV	0.05	0.05	0.07	0.26	0.13	0.05	0.06-0.08	0.05-0.06	
Bamboo scrimber <sup>2</sup>	$\bar{x}$	1163	86	37	120	3	15	119	13	11
	COV	0.02	0.02	0.05	0.14	0.13	0.11	0.08	0.04	
Raw Bamboo <i>Phyllostachys pubescens</i> <sup>3,4</sup>	$\bar{x}$	666	53	-	153	-	16	135	9	14
Sitka spruce <sup>4a</sup>	$\bar{x}$	383	36	-	59	-	9	67	8	21
Douglas-fir LVL <sup>4b</sup>	$\bar{x}$	520	57	-	49	-	11	68	13	25

**Tabla 1** Propiedades mecánicas del bambú *Guadua Angustifolia* Kunth, fuente: [1]

## Materiales y métodos

### Condiciones de diseño

Se establecen las siguientes condiciones para el diseño de la bicicleta de bambú, las cuales son:

- Material; utilizando la estructura de la bicicleta (cuadro) hecho de bambú, variedad *Guadua Angustifolia* Kunth.
- Peso: 10-12 kg.
- Sistema de transmisión de potencia por engranes.
- Las uniones de la estructura serán de acero.
- Llantas con rodada 26 in.

### Modelado y análisis de la estructura de la bicicleta

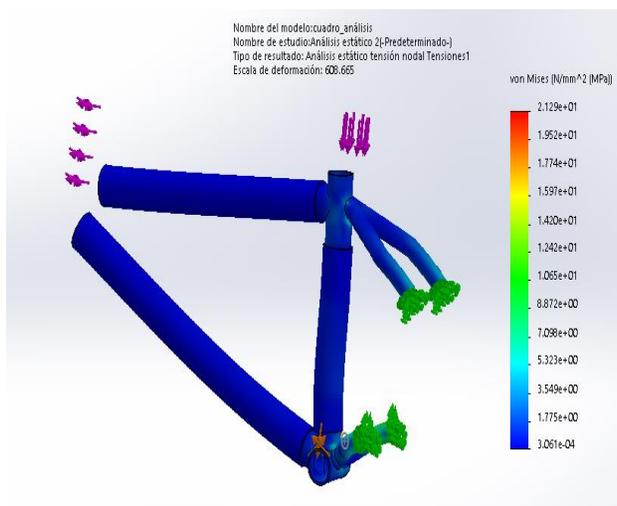
Tomando como base las medidas estandar de un cuadro de bicicleta se efectúa el modelado del cuadro de una bicicleta, además se realiza el análisis por elementos finitos para validar la viabilidad del diseño. Utilizando solidworks se efectúa un modelo renderizado de la estructura de la bicicleta de bambú, figura 1. Los tubos en color café claro estarán hechas de bambú y las partes en morado estarán fabricadas en aluminio 6061-T6.



**Figura 1** Modelo renderizado (Solidworks) de la estructura de la bicicleta de bambú

Fuente: Elaboración Propia

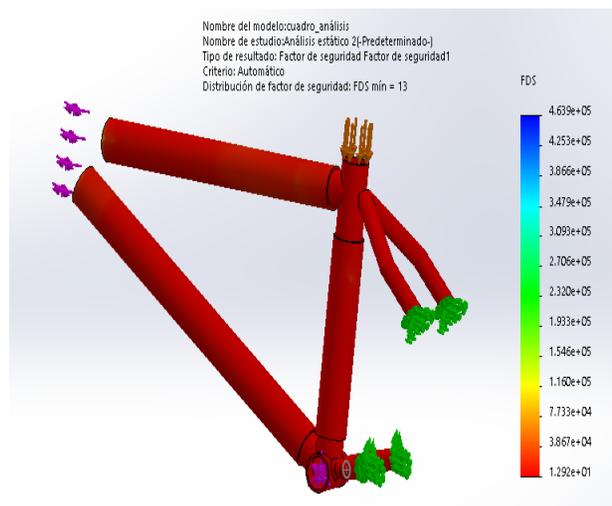
Las sujeciones en la parte del poste del manubrio se consideran como de bisagra así mismo en la parte inferior de la estructura (pedales), ver figura 2. Respecto de la parte derecha de la figura 2 se consideran como sujeciones fijas. Y la carga estará aplicada en la parte del asiento. Se está considerando una carga de peso aplicada de 100 kg del conductor, distribuidos de acuerdo [3], 50 % del peso estará en los pedales (50 kg); 37.5% se repartirá en el asiento (37.5 kg) y 12.5 % en el manubrio (12.5 kg). Se realiza una malla con 17526 nodos, 8611 elementos y 50304 grados de libertad.



**Figura 2** Análisis de Von Mises (Solidworks) de la estructura de la bicicleta de bambú

Fuente: Elaboración Propia

Se realiza un análisis de Von Mises así como el análisis del factor de seguridad de la estructura, figura 3.

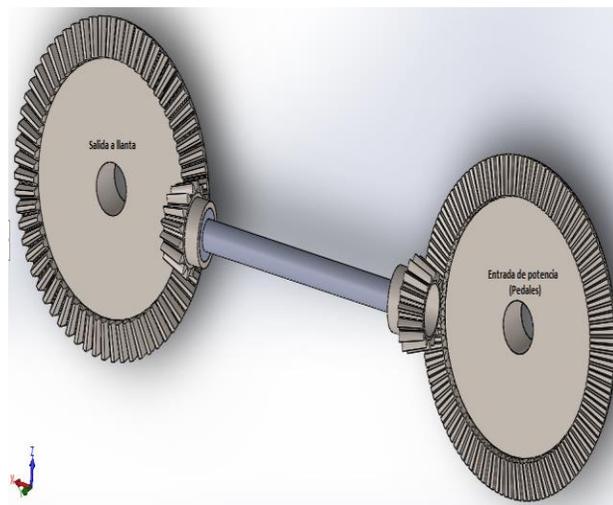


**Figura 3** Análisis de factor de seguridad (Solidworks) de la estructura de la bicicleta de bambú

Fuente: Elaboración Propia

### Transmisión de la bicicleta de bambú

La transmisión de potencia para la bicicleta de bambú funcionará por engranes. Esto es el eje de los pedales estará conectada a una corona de engrane cónico recto que a su vez engranará con un piñón cónico recto transmitiendo el torque por medio de un eje a un segundo piñón cónico que impulsará a un engrane que funcionará como corona, este último conectado a la maza de la rueda, generando el movimiento del vehículo. Figura 4.



**Figura 4** Modelo de la transmisión (Solidworks) para la bicicleta de bambú

Fuente: Elaboración Propia

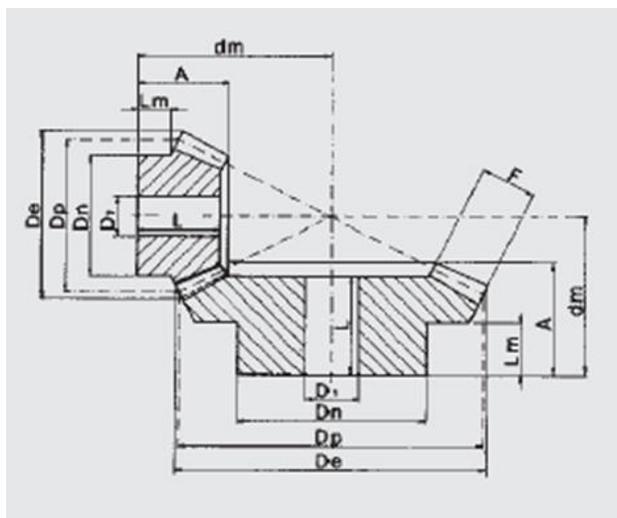
**Análisis de la transmisión**

Para efectuar el análisis de la transmisión se parte de la necesidad de tener una transmisión eficiente, esto es, cuál será el mejor arreglo o configuración de la transmisión para tener un porcentaje aceptable de eficiencia en el manejo de la bicicleta. De acuerdo al estudio de Spicer y Richardson [6], existen combinaciones más eficientes para las transmisiones de cadena en bicicletas, tabla 1.

	50 RPM 100 W	60 RPM 100 W	70 RPM 100W	60 RPM 150 W	60 RPM 175W
52-11	92.5	91.1	88.7	94.6	95.5
52-15	94.7	92.3	90.4	96.2	97.5
52-21	95.2	93.8	92.0	97.4	98.2

**Tabla 1** Eficiencias de conducción para diferentes configuraciones de cadenas para bicicleta, fuente [5]

Utilizando esta información y considerando el valor 52-21, en tamaño de diámetro para sprocket, con una eficiencia del 98.2 %, a una marcha promedio de 60 RPM. Haciendo la analogía con engranes para la entrada de potencia, siendo ahora una relación inversa de Corona-piñón; esto será 21/52. Ahora se busca un engrane cónico recto como corona con un valor comercial [7], considerando el espacio físico  $D_e$ , alrededor de 132 mm, ángulo de presión  $20^\circ$ , material A-1020, utilizando la nomenclatura de la figura 5.



**Figura 5** Nomenclatura para engranes cónicos, fuente [5]

Se obtiene un arreglo de 32 dientes en la corona y 16 dientes del piñón, con módulo 4, la relación de transmisión será 0.5, cercana al valor de 21/52 que es 0.40; de esta manera los engranes cónicos seleccionados y de acuerdo a la tabla 2. Entonces se tendrían los siguientes valores tanto la piñón y rueda.

M	Z	$D_e$	$D_p$	A	F	$D_n$	$D_1$	$d_m$	L	$L_m$
4	16	71,1	64	36	20	50	20	80,8	32	13,4
	32	131,6	128	45	20	80	20	65,5	39,5	23

**Tabla 2** Características de piñón y corona cónicos, milimetricos, fuente [5]

Ahora considerando que la bicicleta viaja a una velocidad promedio de 15 km/h y tiene ruedas rodado 26, es decir el diámetro de la rueda es de 26 in (66.04 cm), así, se puede calcular la velocidad angular promedio de salida (rpm), utilizando la ecuación 1:

$$V = \omega r \tag{1}$$

Donde  $\omega$  es la velocidad angular y r es el radio del eje, entonces sustituyendo valores,  $\omega$  tendrá el valor de 96,4 rpm.

Estimando que se mantiene la relación de transmisión de 0.5 y un valor de diámetro de eje d 20 mm, entonces el piñón cónico sería de sería de 16 dientes y la corona de salida hacia la rueda de 32 dientes, de esta forma quedaría calculada y seleccionada la transmisión.

**Manufactura de la bicicleta de bambú**

Para iniciar el proceso de manufactura de la bicicleta de bambú se requiere cuantificar los materiales necesarios para la construcción.



**Figura 6** Elementos delanteros del cuadro de bicicleta con bambú

Fuente: Elaboración Propia

En este sentido se realizaron los cortes de los tramos de bambú para la parte delantera con extensión de 1.6 m de largo y diámetro de 50 mm. Ver figura 6. Respecto a la parte trasera se corto un tramo de 1.8 m de largo con diámetro de 30 mm, ver figura 7.



**Figura 7** Elementos traseros del cuadro de bicicleta con bambú

*Fuente: Elaboración Propia*

Se hizo el armado y montaje del cuadro de la bicicleta de bambú, Figura 8.



**Figura 8** Elementos traseros del cuadro de bicicleta con bambú

II.

También se efectuó el montaje de los engranes para la transmisión de la bicicleta. Figura 9.



**Figura 9** Eje para acoplar la transmisión por engranes de la bicicleta de bambú

## Resultados

Dentro del análisis del diseño por elementos finitos, se maneja un factor de seguridad de 13, figura 3. Respecto al análisis de Von Mises presenta valores inferiores al límite elástico, figura 4. De tal manera que el análisis del diseño será factible, en cuanto a la fabricación de la bicicleta de bambú, este se realizó resultando un vehículo mucho más ligero que las bicicletas convencionales, así como la Transmisión por engranes más suave que una bicicleta normal.



**Figura 10** Armado de bicicleta de bambú

## Conclusiones

El trabajo efectuado para realizar la fabricación de una bicicleta cuyas características estarían muy alejadas a los estándares convencionales, no deja de ser un reto, ya que el utilizar materiales muy diferentes al aluminio, tan maleable, ligero y comercial contra un material que no es común utilizarlo en bicicletas de calle. En este sentido la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato proporcionó todo el bambú necesario para la fabricación de la bicicleta, mismo que se cultiva en las instalaciones de la universidad.

También el incorporar una transmisión manipulada por engranes fue una interesante aplicación que hace ver lo basto que puede ser la mecánica. Al final queda la inquietud de seguir mejorando el diseño y si bien este prototipo fue satisfactorio en su funcionamiento, queda mucho por hacer para la mejora continua y aprendizaje mecánico.

## Referencias

[1] Bhavna Sharma, Ana Gatóo, Maximilian Bock , Michael Ramage (2015). Engineered bamboo for structural applications, Construction and Building Materials, ELSEVIER, Volumen 81, pag. (66-73)

[2] Mott , Robert L. Resistencia de materiales, Pearson, México 2009

[3] N Hipólito, M Ángel, Universidad Carlos III de Madrid, Estudio a fatiga de un cuadro de bicicleta mediante el método de elementos finitos

Recuperado: [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/25623/PFC\\_MiguelAngel\\_Naranjo\\_Hipolito.pdf](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/25623/PFC_MiguelAngel_Naranjo_Hipolito.pdf)

[4] Gonzalez, H. A., Hellwig, S., & Montoya, J. A. (2008). Resultados del ensayo del módulo de Young y resistencia a la flexion de vigas laminadas de Guadua angustifolia Kunth. Scientia et Technica, (40), 291–296.

[5] Wang, Z., Shyam, P., Chen, X., & Gao, L. (2009). Application of bamboo based engineered materials in construction. In Second International Congerence on Modern Bamboo Structures –ICBS. Bogotá.

[6] Spicer, J. B., Richardson, C. J., Ehrlich, M. J., Bernstein, J. R., Fukuda, M., & Terada, M. (2001). Effects of Frictional Loss on Bicycle Chain Drive Efficiency. Journal of Mechanical Design, 123(4), 598-605.

[7] Transmisiones Zaragoza, Catálogo general, recuperado: <http://www.traza.es/catalogos/General.pdf>