



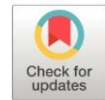


Análisis de falla de los rodillos dentados de una máquina desfibadora de cáscara de coco mediante la simulación de respuesta armónica y estado estructural transitorio aplicando el software Ansys

Failure analysis of the toothed rollers of a coconut shell shredder machine through the simulation of harmonic response and transient structural state applying Ansys software

- ¹ Gustavo Alfredo Barona López  <https://orcid.org/0009-0005-2412-1549>
Magister en Diseño, Producción y Automatización Industrial, EPN, Quito, Ecuador.
barona.gustavo.b@gmail.com
- ² Xavier Oswaldo Macas Valdez  <https://orcid.org/0009-0007-9997-3230>
Magister en Diseño, Producción y Automatización Industrial, EPN, Quito, Ecuador.
menerisocede@gmail.com
- ³ Nataly Cumandá Chanatásig Pichucho  <https://orcid.org/0009-0004-5336-9546>
Magister en Diseño, Producción y Automatización Industrial, EPN, Quito, Ecuador.
cuma_naty@hotmail.com
- ⁴ Álvaro Javier Rosas Huera  <https://orcid.org/0009-0005-1082-5510>
Ingeniero Mecánico, EPN, Quito, Ecuador.
alvaro_rosashj@hotmail.com



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 10/02/2024

Revisado: 07/03/2024

Aceptado: 12/04/2024

Publicado: 10/09/2024

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v8i3.3166>

Cítese:

Barona López, G. A., Macas Valdez, X. O., Chanatásig Pichucho, N. C., & Rosas Huera, Álvaro J. (2024). Análisis de falla de los rodillos dentados de una máquina desfibadora de cáscara de coco mediante la simulación de respuesta armónica y estado estructural transitorio aplicando el software Ansys. *Ciencia Digital*, 8(3), 179-199. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v8i3.3166>



CIENCIA DIGITAL, es una revista multidisciplinaria, trimestral, que se publicará en soporte electrónico tiene como misión contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://cienciadigital.org>
La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec



Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Copia de la licencia: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Palabras claves:

Simulación de respuesta armónica, simulación de estado estructural transitorio, simulación de rodillos desfibreadores con Ansys, rodillos desfibreadores de cáscara de coco, análisis de falla de rodillos dentados.

Resumen

Introducción: en el Ecuador, la producción anual de coco es de 26.000 toneladas. El proceso de desprendimiento de su fibra es empleando machetes de forma rudimentaria, ocasionado que las personas que se dedican a esta actividad tengan accidentes. Por tal peligro, es necesario dotar de máquinas desfibreadoras de tipo rodillos dentados giratorios que pueden solucionar esta problemática, siendo los rodillos el elemento mecánico de mayor grado de importancia para desfibrar la cáscara, esto hace que, para asegurar su diseño y construcción se aplique un determinado análisis de falla. **Objetivo:** el artículo tiene por objetivo realizar un análisis de falla de los rodillos dentados de una máquina desfibreadora de cáscara de coco mediante la simulación de respuesta armónica y estado estructural transitorio aplicando el software Ansys, como un aporte al sector industrial del coco. **Resultados:** el diseño y construcción de la máquina se muestra de forma general, mientras que, para el desarrollo del objetivo de esta investigación se presentó el diseño y el plano de los rodillos dentados. La simulación de los rodillos se lo realizó en el software Ansys, para lo cual; se establecieron parámetros del sistema y para su mallado tamaño de malla de 4, 6 y 10 mm; con el propósito de obtener su frecuencia fundamental natural, respuesta de frecuencia, deformaciones y esfuerzos de von Mises. En el análisis de respuesta armónica y estado estructural transitorio, a medida que disminuye el tamaño de malla los valores de deformación total máxima y esfuerzo von Mises máximo son cada vez más exactos, teniendo exactitud en la malla de 4 mm con valores de 0,07393 mm y 15,86 MPa, respectivamente. **Conclusión:** se concluye que, en la simulación mediante respuesta armónica de los rodillos la frecuencia de 35 Hz alcanza su máxima excitación con un valor de amplitud de $1,039e-10$ mm, no generando daños en los mismos, mientras que, en la simulación mediante estado estructural transitorio de los rodillos se obtuvo un valor de deformación total máximo de 0,07393 mm y un esfuerzo de von Mises máximo de 15,86 MPa, que comparado con la deformación de fluencia de 0,175 mm y la resistencia de fluencia de 250 MPa del acero ASTM A36 utilizado para su fabricación, no se produce falla por rotura. **Área de estudio general:** Ingeniería de falla. **Área de estudio**

específica: Simulación de respuesta armónica y estado estructural transitorio. **Tipo de estudio:** original.

Keywords:

Harmonic response simulation, transient structural state simulation, defibration roller simulation with ansys, coconut shell defibration rollers, toothed roller failure analysis.

Abstract

Introduction: in Ecuador, annual coconut production is 26,000 tons. The process of removing the fiber is done using rudimentary machetes, causing accidents to occur among people who realize in this activity. Due to this danger, it is necessary to equip shredder machines with rotating toothed rollers that can solve this problem, the rollers being the mechanical element of greatest importance for shredding the shell, which means that, to ensure their design and construction, a certain failure analysis is applied. **Objective:** The objective of this article is to perform a failure analysis of the toothed rollers of a coconut shell shredding machine by simulating harmonic response and transient structural state by applying the Ansys software, as a contribution to the coconut industrial sector. **Results:** the design and construction of the machine is shown in a general way, while, for the development of the objective of this research, the design and plan of the toothed rollers were presented. The simulation of the rollers was conducted in the Ansys software, for which; parameters of the system and mesh size of 4, 6 and 10 mm were established; with the purpose of obtaining its natural fundamental frequency, frequency response, deformations, and von Mises stresses. In the analysis of harmonic response and transient structural state, as the mesh size decreases, the values of maximum total strain and maximum von Mises stress are increasingly accurate, having accuracy in the 4 mm mesh with values of 0.07393 mm and 15.86 MPa, respectively. **Conclusion:** It is concluded that, in the simulation by harmonic response of the rollers, the frequency of 35 Hz reaches its maximum excitation with an amplitude value of 1.039e-10 mm, not generating damage in them, while, in the simulation by transient structural state of the rollers, a maximum total deformation value of 0.07393 mm and a maximum von Mises stress of 15.86 MPa were obtained. that compared with the creep deformation of 0.175 mm and the creep strength of 250 MPa of the ASTM A36 steel used for its manufacture, no failure occurs due to breakage.

1. Introducción

El coco es la sexta fruta más cultivada en el mundo, su producción promedio anual en el año 2023 fue de 60.000 millones de cocos lo que generó en el mercado financiero 4.510 millones de USD, y se espera que alcance 7.260 millones de USD para el 2028. Sus partes constitutivas son el exocarpio, mesocarpio (capa gruesa de fibra) y el endocarpio conocido como nuez (internamente esta la pulpa y el agua de coco). En el Ecuador la forma y geometría de un coco es ovoide casco esférico hueco de alrededor de 17 a 25 cm de diámetro y con un mesocarpio entre 3 y 4,5 cm de espesor (Modor Intelligence, 2023; Delgado et al., 2020; Tropicsafe, 2020; Chan & Elevitch, 2006).

En el Ecuador la producción anual de coco es de aproximadamente 26.000 toneladas y su cultivo se da principalmente en las provincias de Esmeraldas, Manabí y Guayas (Delgado et al., 2020; Pressreader, 2021). El proceso que implica su pelado es de forma artesanal y casi rudimentaria, ocasionado que las personas que se dedican a esta actividad tengan un alto riesgo de accidentes. La forma como las personas desprenden la fibra de coco es empleando machetes lo que ha ocasionado accidentes, debido al tipo de herramienta cortante que se emplea, por tal motivo, es necesario dotar de tecnologías que ayuden de forma eficiente y segura el desprendimiento de la fibra, siendo el diseño y construcción de una máquina desfibradora de cáscara de coco una de las soluciones a esta problemática.

Las partes constitutivas del coco tienen diversas aplicaciones industriales. Siendo la separación de su fibra el primer proceso para la obtención de sus partes. En un sistema productivo las partes son obtenidas a través de una máquina desfibradora de coco. Si la máquina es de tipo rodillos dentados giratorios el diseño, construcción y análisis de ingeniería, de este elemento mecánico, tiene el mayor grado de importancia para desfibrar la cáscara y obtener sus partes hasta el nivel del endocarpio.

A través de la historia se han planteado varias teorías de falla estática para materiales dúctiles; actualmente, estas son la teoría del esfuerzo cortante máximo (TECM), la teoría de la energía de la distorsión, la teoría del esfuerzo cortante octaédrico (TECO) y la teoría de Mohr-Coulomb (Budynas & Nisbett, 2018; Vanegas, 2018; Norton, 2011). Sin embargo, la mayoría de los elementos mecánicos se someten a esfuerzos dinámicos los cuales varían con el tiempo. Los esfuerzos variables en un elemento mecánico tienden a producir grietas que crecen a medida que éstos se repiten, hasta que se produce la falla total, para asegurar que la falla no ocurra se puede analizar el elemento mediante un análisis estructural aplicando elementos finitos (Budynas & Nisbett, 2018; Vanegas, 2018; Tickoo, 2022).

El análisis de ingeniería de falla en elementos mecánicos se lo puede realizar mediante algún tipo de análisis estructural. El tipo de análisis estructural es seleccionado de acuerdo con el fenómeno físico al que está expuesto el elemento mecánico. Los varios tipos de

análisis estructural aplican conceptos de análisis de elementos finitos mediante un software de ingeniería especializado, el mismo que calcula los esfuerzo de von Mises y deformaciones para posteriormente realizar un análisis de falla del elemento. A continuación, se describen los tipos de análisis estructural aplicados a elementos mecánicos (Tickoo, 2022; Huei, 2014; Cruz, 2012).

- Análisis estático.
- Análisis dinámico: análisis modal, análisis armónico (análisis de respuesta armónica) y análisis dinámico transitorio.
- Análisis espectral.
- Análisis de pandeo.
- Análisis dinámico explícito.

Los rodillos dentados de la máquina desfibadora de cáscara de coco están sometidos a una carga dinámica que podría causar resonancia lo que originaría grandes deformaciones y esfuerzos, además de elevados valores de ruido. Por tal motivo, se seleccionó un análisis dinámico para el cálculo del esfuerzo de von Mises y deformaciones mediante el software de ingeniería Ansys para posteriormente compararlo con el esfuerzo de fluencia del acero de los rodillos y verificar si no se presenta falla por rotura.

En la presente investigación se realizó el análisis de falla de los rodillos dentados de una máquina desfibadora de cáscara de coco a partir de los resultados del esfuerzo de von Mises y la deformación total máxima, calculados mediante análisis dinámico que consta de un análisis de respuesta armónica y un análisis de estado estructural transitorio simulados en el software de ingeniería Ansys.

En la investigación se presentan aspectos generales del diseño y construcción de la máquina desfibadora, ya que, como se mencionó en el párrafo anterior, su enfoque es para determinar el esfuerzo de von Mises y la deformación total máxima, mediante la simulación en el software de ingeniería Ansys del diseño 3D de los rodillos dentados.

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que, por medio del software de ingeniería Ansys se realiza el cálculo del esfuerzo de von Mises y la deformación total máxima de los rodillos dentados de la máquina desfibadora de cáscara de coco. Además, posee un alcance correlacional debido a la comparación de la deformación total máxima y el esfuerzo de von Mises máximo con la deformación de fluencia y el esfuerzo de fluencia del acero ASTM A36 de los rodillos, para el análisis de falla.

1. Máquina desfibadora de cáscara de coco

El diseño y construcción de la máquina se lo realizó como un aporte a las necesidades de la industria del coco ecuatoriana. El diseño y construcción de la máquina se muestra de

forma general, mientras que, para el objetivo de este proyecto de investigación se presentó el diseño y el plano de los rodillos dentados realizado en el software SolidWorks.

1.1. Diseño y construcción de la máquina desfibradora de cáscara de coco

La estructura consta de tubería estructural cuadrada de 2 in x 2 in x 4 mm, sobre esta van montados el resto de componentes de la máquina. Las dimensiones de la estructura son 915 x 1400 x 550 mm. En la parte inferior de la estructura se ha dispuesto de una lámina de tol de 1 mm de espesor sobre la cual descenderá la fibra desprendida del coco.

Sobre la estructura tubular se sueldan las estructuras soportantes de los rodillos dentados, las cuales consisten en ángulos de 1½ in x 3 mm y sobre esta se coloca una cubierta curva a manera de rejilla protectora para evitar lesiones de los operadores del equipo.

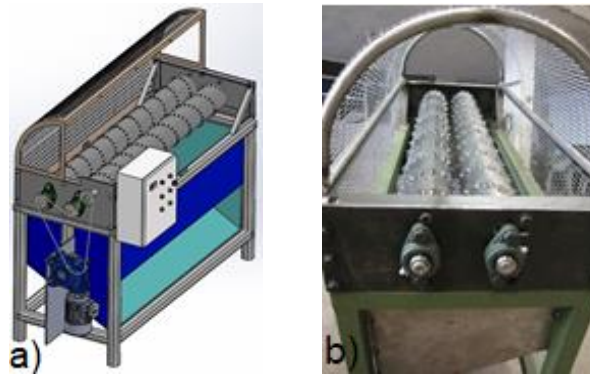
El sistema motriz consta de un motor reductor eléctrico de ¾ Hp, 220 V, 3 Ph y 1700 rpm, cuya caja de reducción tiene una relación $i=30$. Para el giro de los rodillos se estableció 3 piñones de 17 dientes de simple hilera y un piñón de 26 dientes de simple hilera, conectados al motor reductor por medio de una cadena de paso de ½ in.

El sistema de desfibrado está constituido de dos rodillos de igual geometría y dimensiones, 127 x 1200 x 4,76 mm, mientras que los dientes de los rodillos tienen un diseño helicoidal que permiten dar el empuje axial al coco.

El diseño de la máquina se lo realizó en el software SolidWorks y como guía para esto se consultó las investigaciones de *Peterson's Stress Concentration Factors* (Pilkey, 1997), *Fracture Mechanics* (Pérez, 2004), *Diseño en ingeniería mecánica* (Shigley & Mitchell, 1985), *Machine design databook* (Lingaihah, 2003), *SolidWorks Practico I Pieza, ensamblaje y dibujo* (Gómez, 2014a), *SolidWorks Practico II Complementos* (Gómez, 2014b). Tras la etapa de diseño se procedió a la construcción de la máquina que de forma general está compuesta del sistema estructural, sistema de control, sistema de transmisión de potencia y sistema de desfibrado. En la figura 1 se muestra el diseño y construcción de la máquina desfibradora de cáscara de coco donde se tiene a) diseño en el software SolidWorks y b) construcción de la máquina.

Figura 1

Diseño y construcción de la máquina desfibadora de cáscara de coco



Nota: a) diseño en el software SolidWorks y b) construcción de la máquina

La máquina fue diseñada con una capacidad de extracción de la fibra de 4 cocos por minuto y con una eficiencia de desprendimiento del mesocarpio del 82%. La desfibración no produce partiduras o daños considerables en la nuez de manera que el producto es apto para su posterior procesamiento. La máquina es de fácil operación y tiene todas las medidas de seguridad para la prevención de accidentes o lesiones en los operadores. En la tabla 1 se muestran las especificaciones técnicas de la máquina desfibadora de coco.

Tabla 1

Especificaciones técnicas de la máquina desfibadora de coco

Especificaciones	Valores
Capacidad	4 cocos por minuto
Número de operadores	1
Voltaje	220 V, 3Ph
Potencia del motor	0,75 Hp
Peso de la máquina	100 kg
Dimensiones	0,6 x 1,5 x 1,2 m

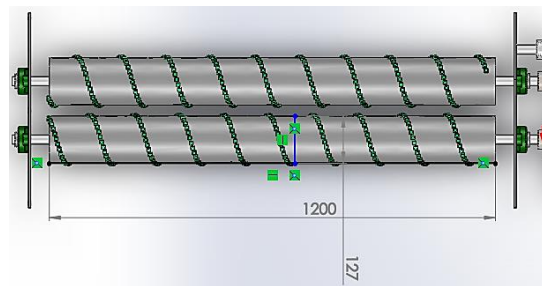
1.2. Diseño de los rodillos dentados de la máquina desfibadora de cáscara de coco

En el diseño de los rodillos, herramienta fundamental de la máquina, se toman en cuenta parámetros de forma y geometría de los cocos a ser extraído su fibra. El arreglo dentado de los rodillos es de tipo helicoidal con el fin de desprender la fibra y proveer el empuje axial a los cocos al momento del giro.

El sistema de desfibrado está constituido de dos rodillos simétricos los mismos que son tubos circulares ambos con dimensiones de 127 x 1200 x 4,76 mm. En cada tubo se soldó 160 dientes triangulares, obtenidos de los eslabones de una cadena de extrusora. Los ejes de los rodillos se soportan en 4 chumaceras tipo FL205 y la distancia entre rodillos se calibrada por medio de unos hoyos guías dispuestos en placas de 8 mm de espesor sobre las cuales se montan las chumaceras. En los extremos de los rodillos se montan los 2 piñones de 17 dientes, y en la placa se monta el piñón loco de 17 dientes el cual permite el giro opuesto de los rodillos. El piñón de 26 dientes conectado al motor reductor permite la transmisión de potencia a los piñones de los rodillos mediante una cadena de paso de 1/2 in. En la figura 2 se muestra el sistema de desfibrado de la cáscara de coco.

Figura 2

Sistema de desfibrado de la cáscara de coco



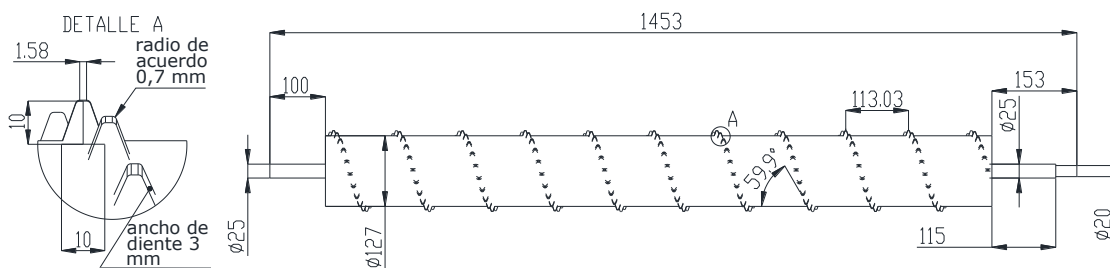
Fuente: basado en SolidWorks (2014)

1.3. Plano de los rodillos dentados de la máquina desfibradora de cáscara de coco

En la figura 3 se presenta el plano del rodillo dentado de la máquina desfibradora de cáscara de coco. En el detalle A se muestran las dimensiones, radio de acuerdo y ancho de diente del rodillo.

Figura 3

Plano del rodillo dentado de la máquina desfibradora de cáscara de coco



Fuente: basado en SolidWorks (2014)

2. Simulación de los rodillos dentados en el software ANSYS

La simulación mediante respuesta armónica y estado estructural transitorio de los rodillos se lo realizó en el software Ansys, para lo cual; se establecieron parámetros de carga, momento, frecuencia fundamental natural, constante de amortiguamiento, coeficiente de rigidez y tiempo de paso del sistema, además, se estableció para el mallado de los rodillos tamaños de malla de 4, 6 y 10 mm; con el propósito de obtener su frecuencia fundamental natural, respuesta de frecuencia, deformaciones y esfuerzos de von Mises.

2.1. Parámetros para la simulación en el software Ansys

Los parámetros y procedimientos para la simulación de los rodillos dentados mediante el software Ansys fueron consultados a partir de investigaciones de simulación con elementos finitos y análisis de vibraciones, siendo estas: *Finite Element Simulations with ANSYS Workbench 15* (Huei, 2014), *Finite Element Modeling and Simulation with ANSYS Workbench* (Chen & Liu, 2015), Criterio de falla mediante la simulación de la respuesta armónica de esfuerzo, vibración de un par de engranes cónicos-espinal de un sistema diferencial automotriz (Flores et al., 2019), Análisis vibrodinámico de motores eléctricos (Torres-Rodríguez & Batista-Rodríguez, 2010) y *Mechanical vibration Methodology for selecting appropriate machinery vibration standards* (ISO, 2013).

En la tabla 2 se presentan los parámetros de carga, momento, frecuencia, constante de amortiguamiento, coeficiente de rigidez y tiempo de paso, para el cálculo del esfuerzo de von Mises y la deformación total máxima de los rodillos dentados mediante la simulación de la respuesta armónica y transitoria en el software Ansys.

Tabla 2

Parámetros para el cálculo del esfuerzo de von Mises y la deformación total máxima

Parámetros	Valores
Carga tangencial sobre los dientes	634,8 N
Momento torsor en piñones	444,4 Nm
Carga debida a cadenas y peso de piñones	431,1 N
Frecuencia fundamental natural del motor	20 Hz
Frecuencia del sistema (engrane del rodillo)	1,41Hz
Constante de amortiguamiento	0,02
Coficiente de rigidez estático / dinámico	0,09/0,009
Tiempo de paso	$1/20f = 1/(20 \times 1,41) = 0,035$

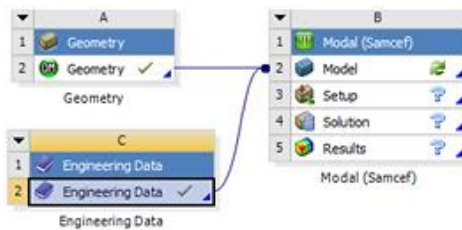
2.2. Simulación mediante respuesta armónica de los rodillos dentados en el software Ansys

En el toolbox de la ventana de Ansys Workbench se selecciona las herramientas *engineering data* y *geometry* para enlazarlos a un análisis modal y comenzar con el análisis de frecuencias naturales de los rodillos dentados. También, se selecciona el

material y se carga la geometría de los rodillos dibujados en 3D. En la figura 4 se muestra la selección inicial de herramientas con la conexión a un análisis modal.

Figura 4

Selección inicial de herramientas con la conexión a un análisis modal



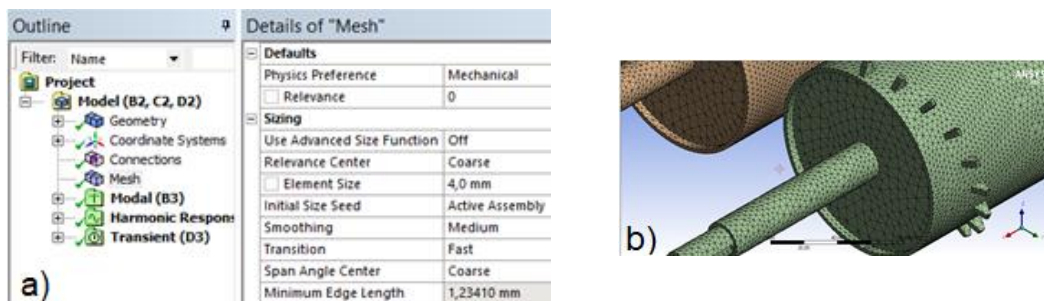
Fuente: basado en (Ansys, 2014)

El material seleccionado en el software Ansys para la simulación es acero ASTM A36 con valores de resistencia de fluencia a la tensión de $2,5e+08$ Pa, deformación de fluencia de 0,175 mm y resistencia última a la tensión de $4,6e+08$ Pa.

En el mallado de los rodillos se realiza tres tipos de malla. La primera, con elementos de 10 mm de tamaño; la segunda, con elementos de 6 mm de tamaño; y la tercera, con elementos de 4 mm de tamaño. La figura 5 muestra el mallado de los rodillos donde: a) se introducen los parámetros de la malla de 4 mm y b) elementos de malla en los rodillos dentados.

Figura 5

Mallado de los rodillos



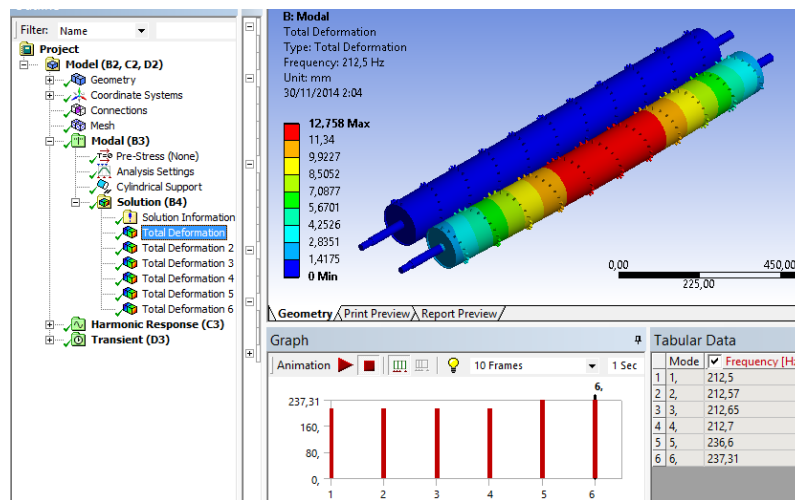
Nota: a) parámetros de la malla y b) elementos de malla en los rodillos. **Fuente:** basado en (Ansys, 2014)

Una vez realizado el mallado de los rodillos se procede a colocar, mediante la interfaz del software Ansys, la restricción de soporte cilíndrico en las superficies de los ejes del rodillo donde interactúa con la chumacera.

A través de la interfaz de *analysis setting* de la función modal se introduce el valor de 6 para obtener seis formas modales (6 frecuencias naturales). Seguidamente, se procede a simular y se obtiene la figura 6, la cual muestra las frecuencias naturales de los rodillos.

Figura 6

Frecuencias naturales de los rodillos

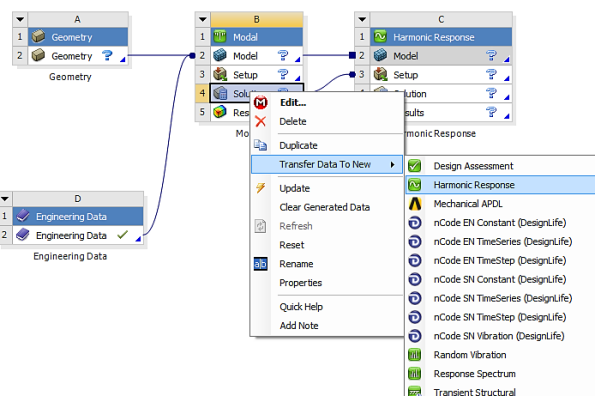


Fuente: basado en Ansys (2014)

Obtenidas las frecuencias naturales se conecta en el análisis modal un análisis de respuesta armónica (Harmonic Response). Con esto, se evalúa la respuesta armónica bajo las cargas que puedan originar resonancia en los rodillos. En la figura 7 se presenta la conexión del análisis armónico.

Figura 7

Conexión del análisis armónico

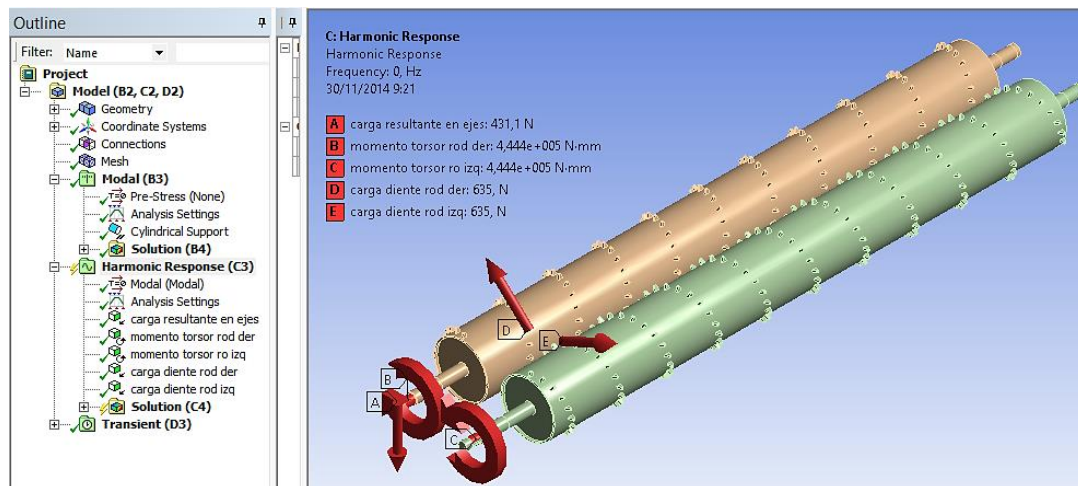


Fuente: basado en Ansys (2014)

En la interfaz *analysis setting de harmonic response* se introduce el rango de frecuencias con un valor mínimo de 0 Hz y un valor máximo de 350 Hz, rango establecido a partir de las seis frecuencias naturales obtenidas del análisis modal. También, se introducen los intervalos de soluciones al rango de frecuencias, a criterio se estableció 10 valores. Se continua con la introducción de la constante de amortiguamiento, el coeficiente de rigidez, la carga tangencial sobre los dientes, momento torsor en piñones y, carga debida a cadenas y peso de piñones. La figura 8 muestra la introducción de cargas y momentos en los rodillos.

Figura 8

Introducción de cargas y momentos en los rodillos

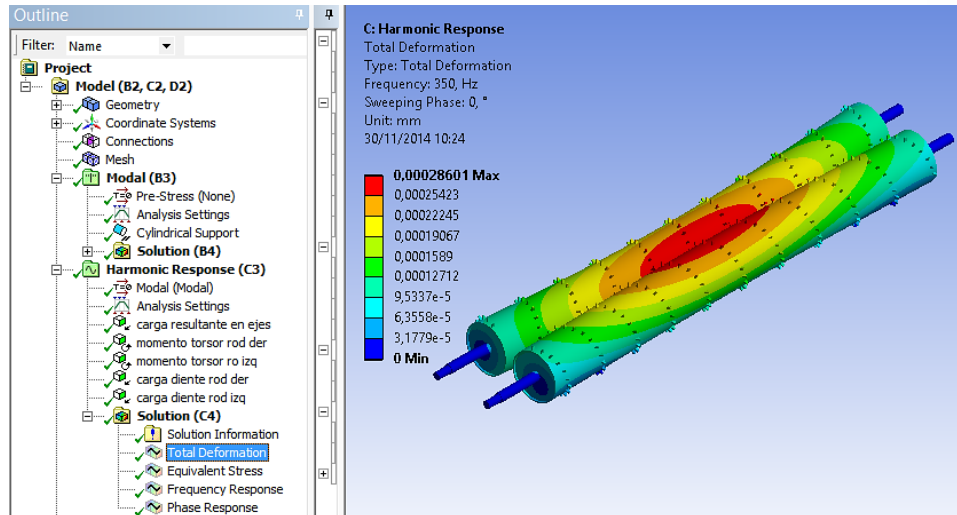


Fuente: basado en Ansys (2014)

Con los parámetros introducidos anteriormente se procede a simular y se obtiene la figura 9, la cual muestra las deformaciones en los rodillos dentados desfibradores a partir del análisis de respuesta armónica.

Figura 9

Deformaciones en los rodillos a partir del análisis de respuesta armónica

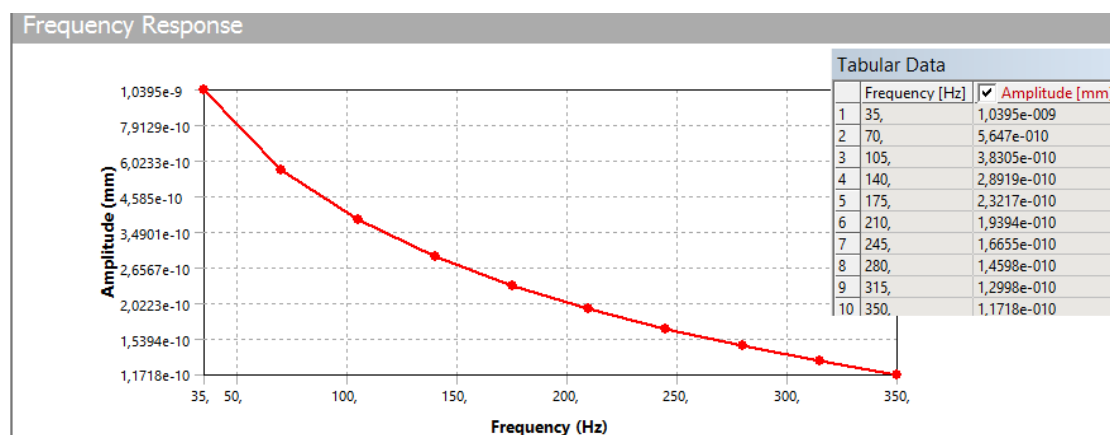


Fuente: basado en Ansys (2014)

En la simulación también se obtiene, como se muestra en la figura 10, la frecuencia vs amplitud a partir del análisis de respuesta armónica. Esta figura 10 permite ver en un rango de frecuencias la o los mayores picos de excitaciones causadas por fuerzas y velocidades de rotación en el tiempo, dichas excitaciones que varían son vibraciones que se representan en desplazamientos llamados amplitudes.

Figura 10

Respuesta de frecuencia de los rodillos

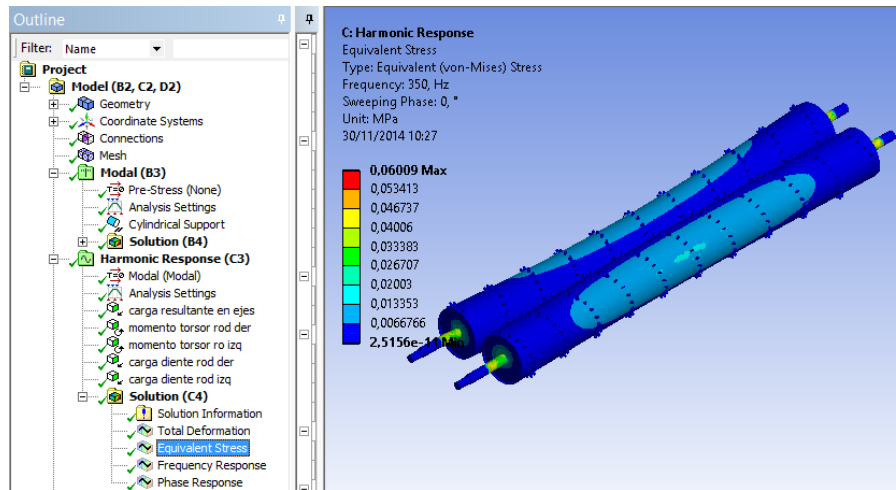


Fuente: basado en Ansys (2014)

La simulación también permite obtener, como se muestra en la figura 11, los esfuerzos de von Mises en los rodillos a partir del análisis de respuesta armónica.

Figura 11

Esfuerzos de Von Mises en los rodillos a partir del análisis de respuesta armónica



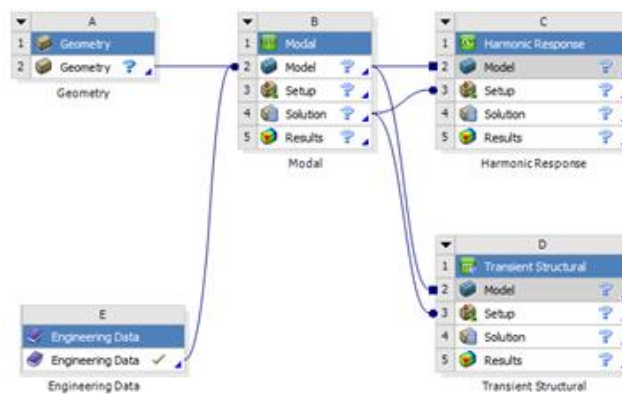
Fuente: basado en Ansys (2014)

2.3. Simulación mediante estado estructural transitorio de los rodillos dentados en el software Ansys

Se procede a conectar en el análisis modal un análisis de estado estructural transitorio (transient structural) con el propósito de evaluar la respuesta dinámica de los rodillos dentados diseñados cuando son sometidos a una carga en el tiempo. En la figura 12 se muestra la conexión del análisis modal con el análisis de estado estructural transitorio.

Figura 12

Conexión del análisis modal con el análisis de estado estructural transitorio



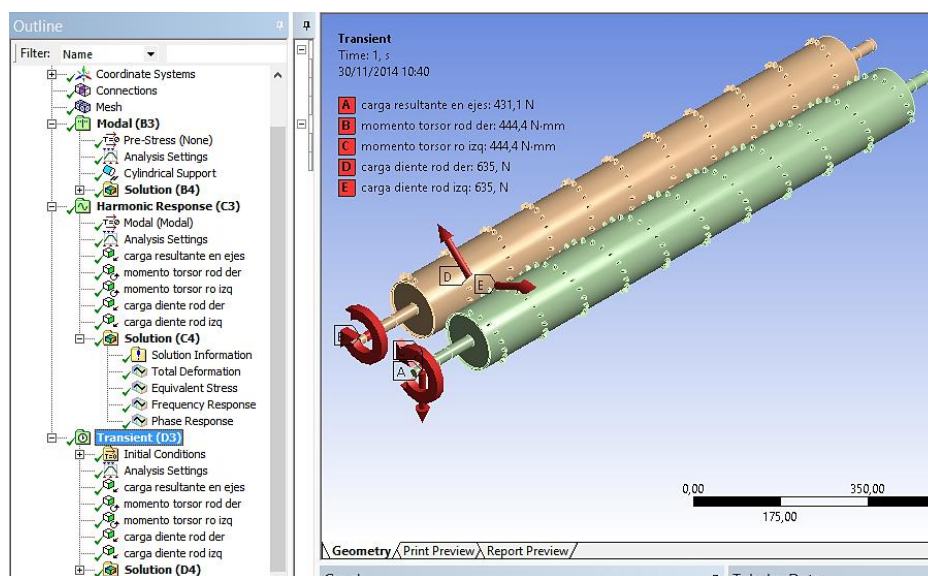
Fuente: basado en Ansys (2014)

En la interfaz *analysis setting de transient structural* se procede a introducir los parámetros de tiempo para el análisis dinámico de los rodillos. Se introduce: número de pasos igual a 1, número de paso actual con un valor de 1 y tiempo de fin de paso igual a 1; valores recomendados por la investigación de Huei (2014). Se introduce el tiempo de paso igual a 0,035, la constante de amortiguamiento con un valor de 0,02 y el coeficiente de rigidez igual a 0,009, valores expuestos en la tabla 2.

Se continua con la introducción de la carga tangencial sobre los dientes, momento torsor en piñones y, carga debida a cadenas y peso de piñones. La figura 13 muestra la introducción de cargas y momentos en los rodillos para la evaluación dinámica.

Figura 13

Introducción de cargas y momentos en los rodillos para la evaluación dinámica

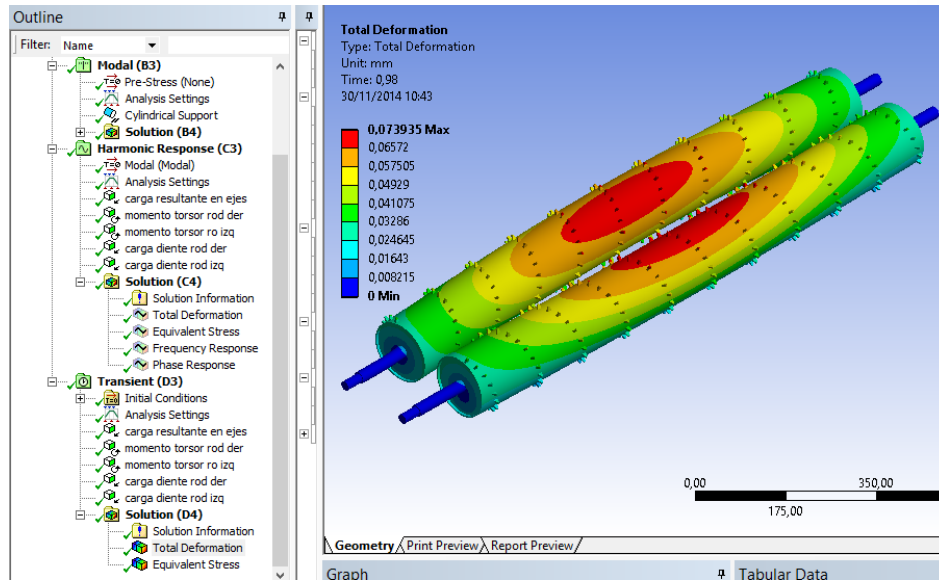


Fuente: basado en Ansys (2014)

Con los parámetros introducidos anteriormente se procede a simular el análisis de estado estructural transitorio en el software y se presentan en la figura 14 las deformaciones en los rodillos dentados desfibreadores.

Figura 14

Deformaciones en los rodillos a partir del análisis de estado estructural transitorio

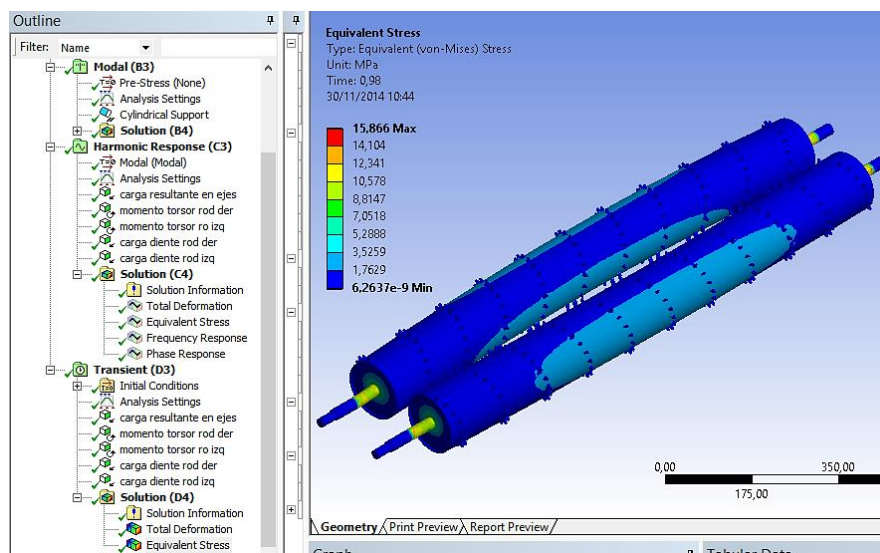


Fuente: basado en Ansys (2014)

En la simulación también se obtiene, como se muestra en la figura 15, los esfuerzos de von Mises en los rodillos dentados a partir del análisis de estado estructural transitorio.

Figura 15

Esfuerzos de von Mises en los rodillos a partir del análisis de estado estructural transitorio



Fuente: basado en Ansys (2014)

El procedimiento anterior se aplicó a los tamaños de malla de 6 y 10 mm. De la misma forma se encontró las deformaciones y los esfuerzos de von Mises en los rodillos dentados a partir de una simulación mediante respuesta armónica y una simulación mediante análisis de estado estructural transitorio en el software de ingeniería Ansys.

2. Resultados

A continuación, para el análisis de resultados se presenta la Tabla 3 que contiene la deformación total máxima y esfuerzo de von Mises máximo de los rodillos dentados, calculados a partir de la simulación de la respuesta armónica y la simulación de estado estructural transitorio mediante la aplicación del software Ansys para tamaños de malla de 4, 6 y 10 mm. La tabla 3 también contiene la deformación de fluencia y el esfuerzo de fluencia del acero con el que están diseñados los rodillos.

Tabla 3

Deformación total máxima y esfuerzo de von Mises máximo

Número de malla	Respuesta armónica		Estado estructural transitorio		Acero ASTM A36	
	Deformación total máxima mm	Esfuerzo de von Mises máximo MPa	Deformación total máxima mm	Esfuerzo de von Mises máximo MPa	Deformación de fluencia δ_y mm	Esfuerzo de fluencia S_y MPa
10	0,00024	0,0346	0,06905	10,72	0,175	250
6	0,000268	0,0467	0,07202	13,07		
4	0,000286	0,06	0,07393	15,866		

En el análisis de respuesta armónica y estado estructural transitorio, a medida que disminuye el tamaño de malla en los rodillos los valores de deformación total máxima y esfuerzo von Mises máximo van siendo cada vez más exactos, teniendo el valor más exacto para la malla de 4 mm con una deformación total máxima de 0,07393 mm y un esfuerzo von Mises máximo de 15,86 MPa.

En el análisis de estado estructural transitorio de los rodillos los valores de deformación total máxima y esfuerzo de Von Mises máximo, a través del tiempo, son menores en comparación con la deformación de fluencia de 0,175 mm y la resistencia de fluencia a la tensión de 250 MPa, por lo tanto, el diseño de los rodillos es óptimo y no presentaría fractura.

La simulación de estado estructural transitorio muestra que la deformación máxima de los rodillos ocurre en su centro el cual tiene un valor máximo de 0,0739 mm, este representa un valor que no originaría una fractura en el material de los rodillos.

La simulación estructural transitoria muestra que el esfuerzo de von Mises máximo de los rodillos ocurre en sus ejes, donde están acopladas las chumaceras, con un valor máximo

de 15,866 MPa. Este representa un valor que no originaría una fractura en el material de los rodillos.

3. Conclusiones

- El análisis modal de los rodillos muestra que su frecuencia fundamental es de 212,5 Hz lo que no origina resonancia en los mismos ya que la frecuencia fundamental del motor reductor que está conectado a los rodillos tiene un valor menor el cual es de 20 Hz.
- La simulación mediante la respuesta armónica de los rodillos muestra que en la frecuencia de 35 Hz se alcanza la máxima excitación con un valor de amplitud de $1,039e-10$ mm siendo un valor que no genera daños en los rodillos.
- En la simulación mediante el análisis de estado estructural transitorio de los rodillos se obtuvo un valor de deformación total máximo de 0,07393 mm y un esfuerzo de von Mises máximo de 15,86 MPa que comparado la deformación de fluencia de 0,175 mm y la resistencia de fluencia a la tensión de 250 MPa del acero ASTM A36 utilizado para el diseño de los rodillos no se produce falla por rotura.

4. Conflicto de intereses

No existe conflicto de intereses en relación con el artículo presentado

5. Declaración de contribución de los autores

Todos los autores contribuyeron significativamente en la elaboración del artículo.

6. Costos de financiamiento

La presente investigación fue financiada en su totalidad con fondos propios de los autores.

7. Referencias Bibliográficas

Ansys Inc., (2014). *Ansys*. USA: Copyright ANSYS. <https://www.ansys.com/>

Budynas, R., & Nisbett, J. K. (2018). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*.

México: McGraw-Hill

<https://dl.icdst.org/pdfs/files3/ad7608c18e740b0e402c025fa3187de8.pdf>

Chan, E., & Elevitch, C. R. (2006). Cocos nucifera (coconut). *Species profiles for Pacific Island agroforestry*, 2(1), 1-27.

<https://raskisimani.com/wp-content/uploads/2013/01/cocos-nucifera-coconut.pdf>

- Chen, X., & Liu, Yijun. (2015). *Finite Element Modeling and Simulation with ANSYS Workbench*. USA: Taylor & Francis Group.
<https://oss.jishulink.com/upload/202111/72907645fc6a476abaa5f4aea7fd16c2.pdf>
- Cruz, P. (2012). *Caracterización modal de sistemas giroscópicos empleando fuerzas de desbalance* (Tesis Doctoral, CENIDET. México).
<https://www.cenidet.edu.mx/subplan/biblio/seleccion/Tesis/DM%20Pedro%20Cruz%20Alc%E1ntar%202012.pdf>
- Delgado, V. M. R., Zambrano, G. V. R., Cossío, N. S., & Mera, L. B. (2020). Análisis de la cadena agroalimentaria del coco (cocos nucifera) en la provincia de Manabí, Ecuador. *La Técnica*, (24), 43-72.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8232827>
- Flores, J., Minquíz, G., Perez, R., Garcia, F., Vivaldo, I., & Ambrosio, R. (2019). Criterio de falla mediante la simulación de la respuesta armónica de esfuerzo y vibración de un par de engranes cónicos-espiral de un sistema diferencial automotriz. *Memorias del XXV Congreso Internacional Anual de la SOMIM*, 1-6.
https://somim.org.mx/memorias/memorias2019/articulos/A1_25.pdf
- Gómez, S. (2014a). *SolidWorks Practico I Pieza, ensamblaje y dibujo*. México: Alfaomega. <https://www.udocz.com/apuntes/635655/archivoipdf>
- Gómez, S. (2014b). *SolidWorks Practico II Complementos*. México: Alfaomega. <https://www.udocz.com/apuntes/635655/archivoipdf>
- Huei Huang, Lee. (2014). *Finite Element Simulations with ANSYS Workbench 15*. Taiwan: SDC Publications.
<http://lab.es.ncku.edu.tw/hhlee/Site/ANSYS15.html>
- ISO. (2013). *Mechanical vibration — Methodology for selecting appropriate machinery vibration standards*. Switzerland: ISO.
<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/61991/6f2d6d258e2a4b71a92efca792ff1218/ISO-TR-19201-2013.pdf>
- Lingaiyah, K. (2003). *Machine design databook*. McGraw-Hill Education.
<https://www.accessengineeringlibrary.com/binary/mheaeworks/565ce4163fbfdc86/8e55f16839c4b696889e68fd040044c9828b69b58658e71aec6a9d7660ad41a6/book-summary.pdf>
- Modor Intelligence. (2023). *Análisis del tamaño y la participación del mercado del coco tendencias y pronósticos de crecimiento (2023 - 2028)*.

<https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/coconut-products-market>.

Norton Robert, L. (2011). *Diseño de máquinas: Un enfoque integrado*. México: Prentice Hall.

<https://www.udocz.com/apuntes/96659/disen-de-maquinas-iv-edicion-robert-norton-2>

Pérez, N. (2004). *Fracture Mechanics*. USA: Kluwer Academic Publishers.

[http://nguyen.hong.hai.free.fr/EBOOKS/SCIENCE%20AND%20ENGINEERING/MECANIQUE/ENDOMMAGEMENT-RUPTURE/Fracture%20Mechanics_Perez%20\(Kluwer%202004\).pdf](http://nguyen.hong.hai.free.fr/EBOOKS/SCIENCE%20AND%20ENGINEERING/MECANIQUE/ENDOMMAGEMENT-RUPTURE/Fracture%20Mechanics_Perez%20(Kluwer%202004).pdf)

Pilkey, W. (1997). *Peterson's Stress Concentration Factors* Second Edition. USA: John Wiley & Sons, Inc.

https://www.researchgate.net/publication/238059137_Peterson's_Stress_Concentration_Factors_Second_Edition

Pressreader. (2021). *Pandemia golpeó las exportaciones y venta de coco en Ecuador*.

<https://www.pressreader.com/ecuador/el-universo/20210902/281629603374540>

Shigley, J., & Mitchell, L. (1985). *Diseño en ingeniería mecánica*. México: McGraw-Hill.

<https://pdfcoffee.com/diseo-de-la-ingenieria-mecanica-joseph-e-shigley-4-6-pdf-free.html>

SolidWorks Corp. (2014). *SolidWorks*: USA: Dassault Systèmes SolidWorks Corp.

<https://www.solidworks.com/es>

Tickoo, S. (2022). *ANSYS Workbench 2022 R1 A Tutorial Approach*. USA: CADCIM Technologies.

https://books.google.com.ec/books?id=CvOZEAAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Torres-Rodríguez, R. M., & Batista-Rodríguez, C. R. (2010). Análisis vibrodinámico de motores eléctricos. *Ingeniería Mecánica*, 13(1), 9-18.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442010000100002

Tropicsafe. (2020). *Sector del coco: análisis de mercado y aspectos socioeconómicos Marco general sobre el sector del coco en Jamaica, Ghana y México*.

<https://www.tropicsafe.eu/wp-content/uploads/2022/02/Sector-del-coco-an%C3%A1lisis-del-mercado.pdf>

Vanegas Useche, L. V. (2018). *Diseño de elementos de máquinas*. Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
<https://core.ac.uk/download/pdf/158348444.pdf>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.



Indexaciones

