

Análisis y simulación de elementos principales de la etapa de corte de implemento agrícola para cosecha de caña de azúcar.

Analysis and simulation of main elements of the stage cutting agricultural implement for cane harvest of sugar.

José Manuel Rasgado Bezares (1).
Docente del Tecnológico Nacional de México/I. T. de Tuxtla Gutiérrez.
jose.rb@tuxtla.tecnm.mx.

Saúl de Jesús Molina Domínguez* (2). TecNM/I. T. de Tuxtla Gutiérrez, saul.md@tuxtla.tecnm.mx.

Ignacio Arrijoa Cárdenas (3). TecNM/I. T. de Tuxtla Gutiérrez, ignacio.ac@tuxtla.tecnm.mx.

Julio César Llaven Gordillo (4). TecNM/I. T. de Tuxtla Gutiérrez, julio.lg@tuxtla.tecnm.mx.

Vitta Marlene Castillo Sánchez (5). TecNM/I. T. de Tuxtla Gutiérrez, vitta.cs@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en diciembre 18, 2023; aceptado en febrero 26, 2024.

Resumen.

El proyecto consiste Realizar el modelado y análisis de esfuerzos mediante la herramienta virtual ANSYS de los elementos principales de la etapa de corte del proyecto “diseño de implementos agrícolas para la optimización de la cosecha en verde de la caña de azúcar; Realizar prototipos físicos o pruebas de ensayo en materiales, suelen ser tardados y de altos costos, es por eso, que herramientas tecnológicas computacionales como Ansys y/o Solidworks, por mencionar algunas, para la simulación del elemento finito con distintos materiales, ya sean piezas individuales o ensambladas; ayudan a tener una amplia visualización y análisis de información de estos elementos sujetos de prueba.

Palabras claves: Ansys, elemento finito, solidworks.

Abstract.

The project consists of carrying out stress modeling and analysis using the ANSYS virtual tool of the main elements of the cutting stage of the project “design of agricultural implements for the optimization of the green harvest of sugar cane; Carrying out physical prototypes or test tests on materials are usually time-consuming and expensive, which is why computational technological tools such as Ansys and/or Solidworks, to name a few, are used to simulate the finite element with different materials, whether parts individual or assembled; They help to have a broad visualization and analysis of information of these test subject elements.

Keywords: Ansys, finite element, solidworks.

1. Introducción.

Durante lo que se podría denominar proceso típico de diseño, cualquier profesional se ve obligado a dar respuesta a una serie de preguntas, es decir: ¿Encajan las distintas partes del modelo? ¿Se mueven adecuadamente? ¿Se aprecia algún tipo de interferencia?; Si bien los programas de modelos 3D y CAD suelen responder a la mayoría de estas preguntas, no son adecuados para muchas otras. Por ejemplo, los diseñadores podrían desear conocer el ciclo temporal de la maquinaria. ¿Es el actuador lo bastante potente? ¿Es el vínculo lo suficientemente robusto? ¿Es posible reducir el peso? Sin embargo, solo se puede responder a estas preguntas construyendo uno o varios prototipos del producto, propiciando mayores dificultades a esta metodología como la cantidad de tiempo que demanda y su alto coste.

Una buena alternativa para abatir o minimizar la condición anterior consiste en generar un prototipo virtual completamente funcional, ya que, sus herramientas permiten al diseñador convertir restricciones de ensambles en uniones mecánicas, de forma automática. Asimismo, proporciona la capacidad de aplicar fuerzas exteriores, incluida la gravedad, y permiten además incluir efectos como rozamiento, amortiguamiento e inercia, y tomarlas en consideración, también contempla las fuerzas de reacción, velocidad, aceleración, etc.

La simulación por computadora se utiliza ampliamente hoy en día en las empresas e industrias para analizar y mejorar la calidad de los productos y proyectos. El análisis se efectúa mediante uso de herramientas tecnológicas que utilizan el Método de Elementos Finitos, la cual nos permite obtener respuestas a muchos problemas de ingeniería.

El método puede ser aplicado en la resolución y diagnóstico de problemas de análisis estructural para la obtención de desplazamientos, deformaciones y tensiones, también permite representar diferentes escenarios y evaluar el rendimiento de productos con aplicación de criterios de resistencia, rigidez o fatiga. También las variaciones del método de los elementos finitos permiten hacer análisis térmico, acústico, dinámico, electromagnético y de flujos de los casos más simples de comportamiento lineal al no lineal, como cuando se tienen grandes desplazamientos o contacto entre las partes de un conjunto. (ESSS 2016, Catalunya s.f.)

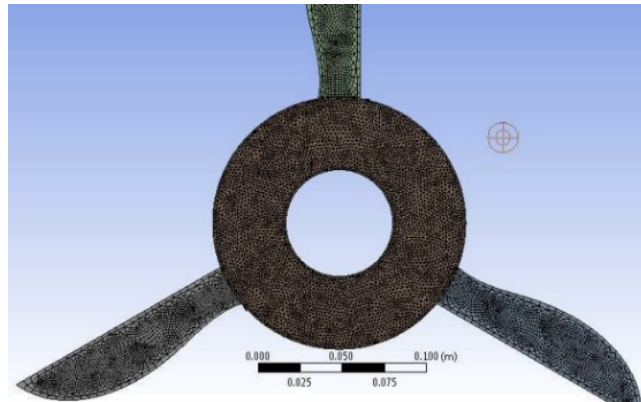


Figura 1. Diseño de cuchillas (Imagen propia).

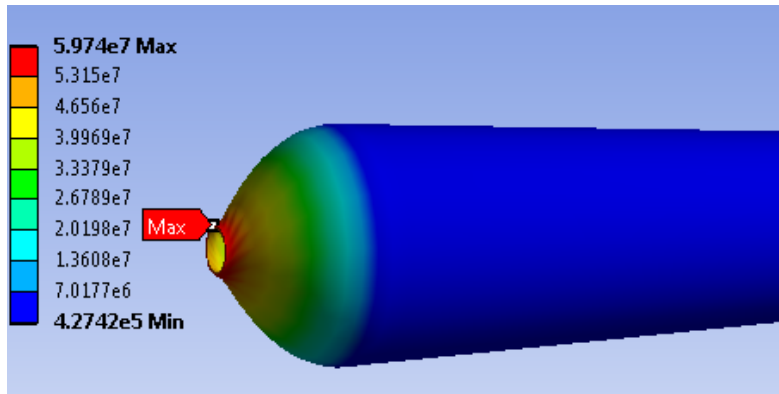


Figura 2. Mecanismo cortador (Imagen propia).

2. Métodos.

Análisis (engranes).

Para este análisis fue necesario realizar un nuevo diseño de engrane ya que los engranes sugeridos por parte de residentes anteriores, no cumplen con parámetros de diseño y no cumple con el trabajo para el cual serán requeridos, es por eso por lo que se procedió a realizar el rediseñar los engranes y realizar los cálculos pertinentes para sugerir los engranes con las siguientes características:

Para el engrane motriz (Piñón).

- $\phi = 20^\circ$ ángulo de presión.
- $D_p = 100\text{mm}$ diámetro de paso.
- $N_p = 17$ número de dientes del piñón.
- $h_k = 12\text{ mm}$ profundidad de trabajo.
- $t = 9.239\text{ mm}$ espesor del diente.
- $mf = 2.23$ relación de contacto.

$$\text{Paso circular } P_c = \frac{\pi \cdot D_p}{N_p} = \frac{\pi \cdot 100}{17} = 18.479 \frac{\text{mm}}{\text{diente}} \dots \dots \dots \text{Ecuación 1}$$

$$\text{Módulo } m = \frac{D_p}{N_p} = \frac{100}{17} = 5.88 \approx 6 \dots \dots \dots \text{Ecuación 2}$$

$$\text{Addendum } a = 1(m) = 1(6) = 6\text{ mm} \dots \dots \dots \text{Ecuación 3}$$

$$\text{Dedendum } b = 1.25(m) = 1.25(6) = 7.5\text{ mm} \dots \dots \dots \text{Ecuación 4}$$

$$\text{Claro } c = 0.25(m) = 0.25(6) = 1.5\text{ mm} \dots \dots \dots \text{Ecuación 5}$$

$$\text{Diámetro exterior } D_0 = D + 2a = 100 + 2(6) = 112\text{ mm} \dots \text{Ecuación 6}$$

$$\text{Diámetro de raíz } D_R = D - 2b = 100 - 2(7.5) = 85\text{ mm} \dots \text{Ecuación 7}$$

$$\text{Altura total } h_t = a + b = 6 + 7.5 = 13.5\text{ mm} \dots \dots \dots \text{Ecuación 8}$$

$$\text{Profundidad de trabajo } h_k = a + a = 2a = 2(6) = 12\text{ mm} \dots \text{Ecuación 9}$$

$$\text{Espesor del diente } t = \frac{p_c}{2} = \frac{18.47}{2} = 9.239 \text{ mm} \dots \dots \dots \text{Ecuación 10}$$

$$\text{Relación de contacto } m_f = \frac{\sqrt{R_{op}^2 - R_{bp}^2} + \sqrt{R_{og}^2 - R_{bg}^2 - C \sin \theta}}{p \cos \theta} \dots \dots \dots \text{Ecuación 11}$$

$$m_f = \frac{\sqrt{56^2 - 42.5^2} + \sqrt{56^2 - 42.5^2 - 100 \sin 20}}{18.479 \cos 20} = 2.23 \dots \dots \dots \text{Ecuación 12}$$

Estos cálculos se realizaron con base al libro Diseño de elementos de máquinas, cuarta edición, de Robert L. Mott, este libro sugiere que para engranes mayores de 30 dientes es recomendable usar piñones de 15 a 17 dientes para evitar una interferencia en el acoplamiento y trabajo de estos mismos. (Mott, 2006).

Diseño de la base cortadora y cuchillas.

El segundo diseño realizado fue para la base de la cortadora de caña de azúcar junto con las cuchillas, los parámetros y datos de entrada fueron los siguientes:

1. El material de este elemento es del mismo A-36 que del eje conducido visto en el análisis 1 de densidad específica $\rho=7860 \text{ kg/m}^3$, propiedades mecánicas como una resistencia a la fluencia de $S_y=250 \text{ Mpa}$ así mismo una resistencia a la tensión del material de $S_{ut} = 400 \text{ a } 550 \text{ Mpa}$.
2. El elementó está constituido por dos platos restrictores de 5mm de espesor y un diámetro de 15 cm, ensamblado con las hojas de corte de 5mm de espesor y 17 cm de longitud, el peso total del elemento según el programa Solidworks es de 0.707 kilogramos.
3. Para el análisis solo utilizaremos una condición de soporte que ira localizada en el agujero central de la base de la cortadora que ira acoplada al eje, este soporte lo supondremos fijo ya que el elemento ira soldado al eje conducido restringiendo así el movimiento en todos los ejes cartesianos así misma rotación en cada una de ellas.
4. Las condiciones de carga se aplicaran en dos zonas la primera que será la mayor es una fuerza de torsión localizada en el agujero central de la base de la cortadora mismo que es acoplado con el eje conducido ya que este par torsional vine directamente del motor hidráulico y se transmite a través del eje , este par torsional es de 850.8 N.m, la segunda fuerza aplicada del elemento es localiza en una de las caras de las cuchillas de corte la cual realizara el trabajo de corte, esta fuerza es de 100 N.

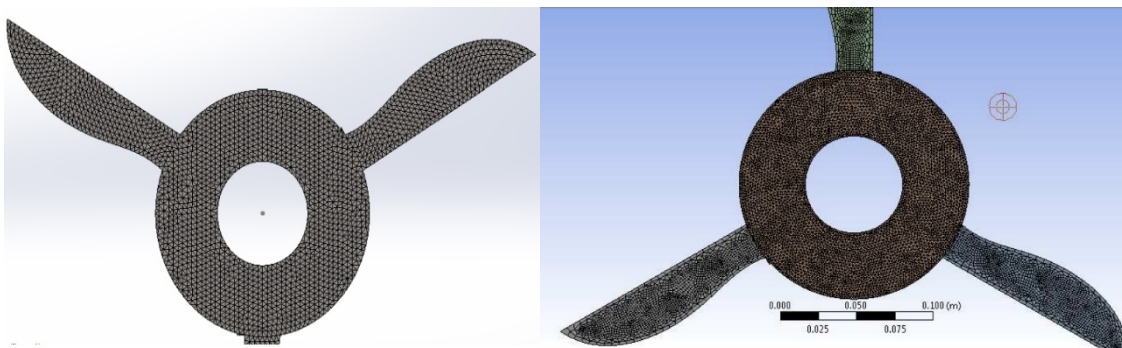


Figura 3. Mallado en Solidworks y Ansys respectivamente (Imagen propia).

3. Resultados.

Para estos parámetros y recomendaciones se procedió a realizar el diseño en el programa Solidworks y posteriormente se procedió a realizar los análisis pertinentes de esfuerzos de Von Misses, deformaciones y factores de seguridad en los programas de simulación de Solidworks y Ansys ver figura 4 y 5.

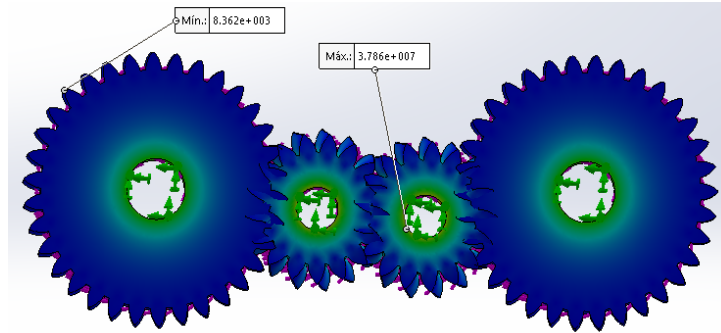


Figura 4. Esfuerzo de Von mises engranes con Solidworks (Imagen propia).

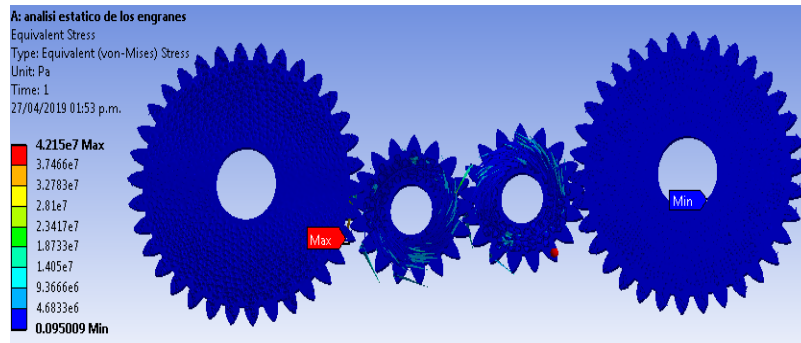


Figura 5. Esfuerzo de Von mises engranes con Ansys (Imagen propia).

Como se puede apreciar en las imágenes 4 y 5 los esfuerzos generales de von mises son parecidos en ambos programas, existe una variación del 10.17 % entre ambos resultados, esto sucede ya que Ansys tiene un refinado mayor de mayado el cual realiza los cálculos con mayor precisión.

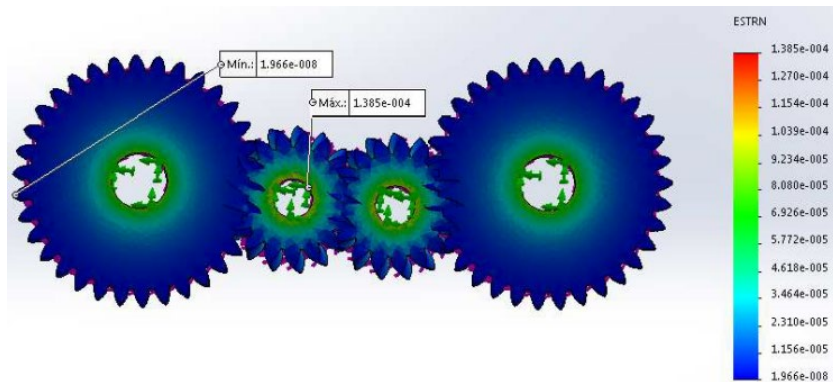


Figura 6. Deformación Unitaria con Solidworks (Imagen propia).

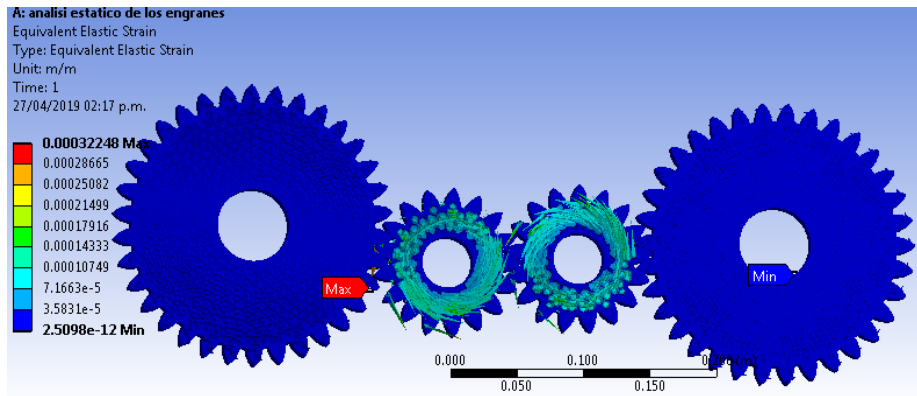


Figura 7. Deformación Unitaria con Ansys (Imagen propia).

La deformación unitaria que el programa Solid Works nos arroja es de 0.0001385 y el software Ansys nos da un valor de 0.0003248, al comparar los resultados podemos apreciar que existe una relación de más del doble, es decir el resultado de Ansys es más preciso.

El resultado del análisis y simulación en el software Ansys y Solidworks para los elementos mecánicos de la cosechadora de caña de azúcar fueron los siguiente; El primer análisis realizado fue para el eje conducido, los parámetros de entrada para este análisis fueron:

1. Material: acero comercial A-36 con densidad específica de $\rho=7860 \text{ kg/m}^3$, propiedades mecánicas como una resistencia a la fluencia de $S_y= 250 \text{ Mpa}$ así mismo una resistencia a la tensión del material de. $S_{ut} = 400 \text{ a } 550 \text{ Mpa}$.
2. Dimensiones del elemento: es un eje hueco con diámetro interno de $2\frac{1}{8}$ de pulgada, diámetro exterior de $2\frac{1}{2}$ pulgada, dejando un espesor de pared de $\frac{3}{16}$ de pulgada y una longitud de 9.8425 ft (3 metros), con un peso de 20.696 kg.
3. Condiciones de carga: El par de torsión de 850.8 N.m (newton-metros) efectuado por la potencia del motor hidráulico que hace girar al eje acoplado que se identificará como eje motor, una fuerza de 100 N (newton) que es aplicado en las navajas de corte debido al trabajo que estará realizando al cortar la caña de azúcar el cual producirá un momento torsor en el eje de 17.5 N.m según la distancia de esta fuerza de corte al eje que es de 17.5 cm, bajo estas condiciones de carga se realizó la simulación en los programas Ansys y Solidworks para comparar resultados y obtener mayor certeza de los resultados, cabe mencionar que el análisis realizado fue un análisis estático.

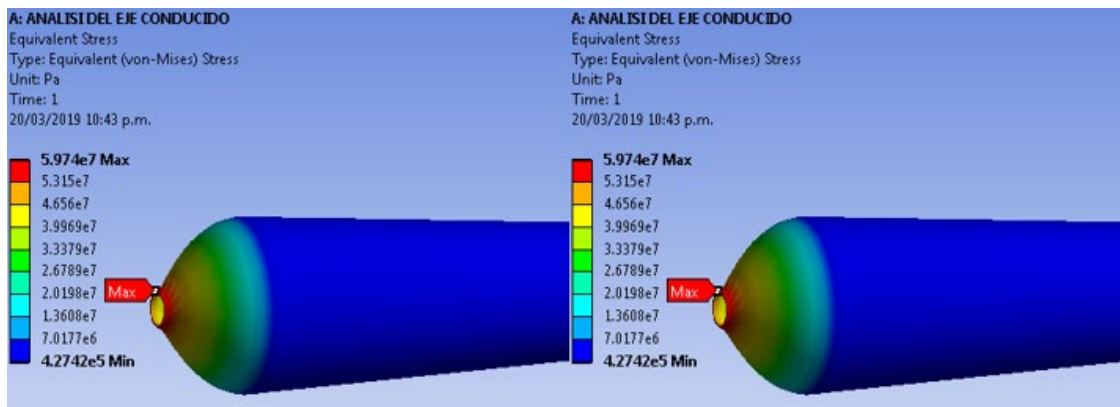


Figura 8. Esfuerzo de Von mises de Ansys y Solidworks respectivamente (Imagen propia).

Como se puede apreciar en las figuras 8 los esfuerzos de tensión de Von Mises están bastante cercanos con una diferencia del 1.109 % entre ambos valores de los dos softwares.

En este análisis se puede apreciar que el eje sufrirá mayor esfuerzo en la parte que ira acoplada con el motor hidráulico, el máximo esfuerzo que el eje presenta es de aproximadamente $\sigma = 5.97e^7$ para Ansys y $\sigma = 6.037e^7$ para Solidworks.

Con base a estos datos de esfuerzo a tensión (Von Misses) procederemos a verificar los factores de seguridad para ver la confiabilidad del material sometidos a las condiciones de cargas antes mencionadas, ver figura 9.

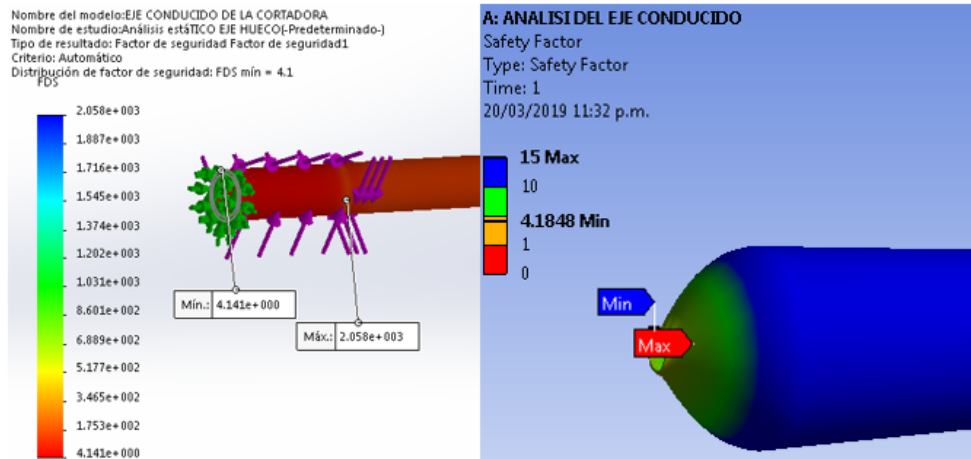


Figura 9. Factor de seguridad en Solidworks y Ansys respectivamente (Imagen propia).

Como se muestra en la figura 9 y 10 el factor de seguridad para ambos programas es de 4. Conociendo estos valores podemos darnos cuenta de que el material del eje si puede ser adecuado para el trabajo a realizar puesto que el factor de seguridad en el eje es de para Ansys.

$$n = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{250e^6}{5.97e^7} = 4.1848$$

Es importante mencionar que bajo algún método de tratamiento térmico podríamos aumentar las propiedades mecánicas del material para así obtener un mayor factor de seguridad en nuestros elementos, según el libro de Shigley en su 9na. Edición, estos tratamientos térmicos podrían ser: recocido (normalizado), templado, revenido y un endurecimiento superficial. (Shigley 2008).

Es importante mencionar que Ansys cuenta con un mallado mucho más fino, la única problemática que existe es que la resolución que el software realiza exige una mayor capacidad computacional.

El siguiente paso de este análisis es comprobar la confiabilidad del material sujeto a estas condiciones de carga mediante el factor de seguridad.

Como se puede apreciar el factor de seguridad en ambos casos es muy confiable están en un promedio de $n=13.406$ (factor de seguridad). Este dato nos permitirá hacer ajustes posteriores para optimizar dicho elemento.

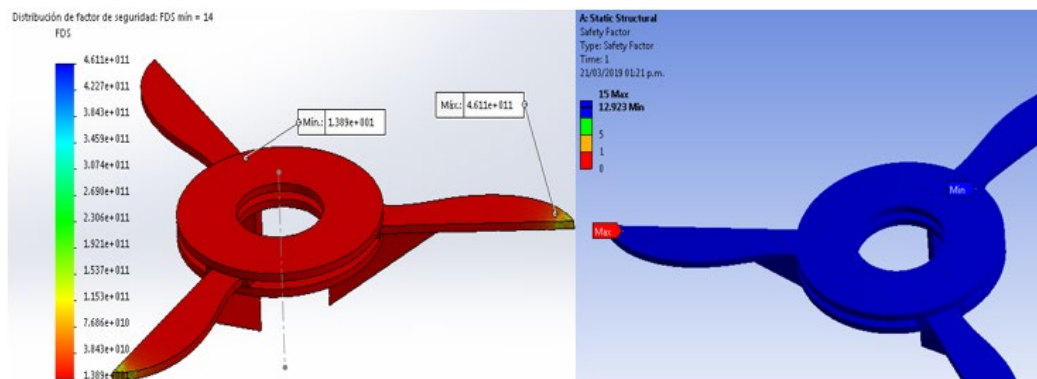


Figura 10. Factor de seguridad en Solidworks y Ansys respectivamente (Imagen propia).

Conclusiones.

En proyectos anteriores se sugirió un eje de las siguientes condiciones y características:

Un eje sólido con un material de acero aleado 20MnCr5 de densidad específica $\rho=7800\text{kg/m}^3$ con un tratamiento térmico de normalizado a 900°C (grados centígrados), con una dureza superficial HB207 (Dureza Brinell), con propiedades mecánicas de: resistencia a la fluencia de $S_y=400\text{ Mpa}$ y una resistencia última a la tensión de $S_{ut}=680\text{ MPa}$.

Las condiciones de cargas eran las mismas antes vistas, una carga torsional de 850.8 N.m producido por el motor el cual es conducido a través de los engranes acoplados a dicho eje y una fuerza de 100 N la cual es requerida para el corte de una caña de azúcar.

La optimización que planteo es un eje con un material y dimensiones distintas, basándome en los análisis antes descritos en los resultados, este eje deberá tener las siguientes características.

1. Un material de acero A-36 con propiedades físicas y mecánicas como densidad específica $\rho=7860\text{ kg/m}^3$, resistencia a la fluencia de $S_y=250\text{ Mpa}$ y resistencia a tensión de $S_{ut}=400\text{ a }550\text{ Mpa}$.
2. Se sugiere un eje hueco ya que dará una mejor rigidez estructural aminorando el momento polar de inercia del elemento, las dimensiones sugeridas son: Diámetros de $2\frac{1}{2}$ pulgadas y $2\frac{1}{8}$ pulgadas exterior e interior respectivamente, dejando un espesor de $\frac{3}{16}$ pulgadas, con estas condiciones tendremos un eje con un factor de seguridad de $n = 4.1$.

Ya que el material antes sugerido carece de datos, decidí sugerir el mismo acero A-36 que se manejó para la simulación en el eje, cabe mencionar que este material es muy común en nuestro país y a un costo accesible.

Con las condiciones antes descritas en el apartado 7.2 (segundo análisis base de la cortadora y cuchillas) el resultado fue un factor de seguridad de un promedio $n=13.406$ entre ambos programas por lo cual se procedió a hacer modificaciones al ensamble, reduciendo el espesor de la cuchilla de 5 mm a 1.5 mm de espesor y el resultado fue el siguiente: Al realizar dichos ajustes a la navaja de corte y realizar la corrida de la simulación nos arroja un factor de seguridad de $n = 4.858$ y un peso de 332.54 gramos

Referencias bibliográficas.

Catalunya (s. f.). *Retro informática F. d. (s.f.)*. <https://www.fib.upc.edu/retro-informatica/avui/simulacio.html>.

ESSS (2016). *Método de los elementos finitos* <https://www.esss.co/es/blog/metodo-de-los-elementos-finitos-que-es/>

Robert L. Mott (2006). *Resistencia de Materiales, teoría de esfuerzos 5ed, Capitulo 3, 4 y 5*. Mott 5ed (2009). México, Prentice Hall, Pearson Educación de México, S.A. DE C.V.
<https://archive.org/details/ResistenciaDeMaterialesRobertL.Mott5taEdicion/page/n127/mode/2up>

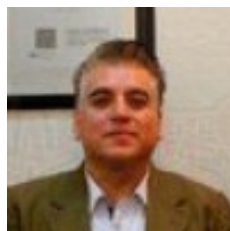
Shigley. En J. K. Richard G. Budynas (2008), *Diseño en ingeniería mecánica*. Shigley 9ed, pág. 16 y 46. (2008). México, D.F.: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. DE C.V.
<https://archive.org/details/disenoeningenieriamecanica-de-shigley-mc-graw-hill-9-edicion/page/16/mode/2up>



José Manuel Rasgado Bezares, es Ingeniero Mecánico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez; ha trabajado en proyectos de construcción y ampliación de Centrales Hidroeléctricas como supervisor de obra electromecánica de la Comisión Federal de Electricidad. Actualmente es jefe del Departamento de Metalmecánica y docente en activo del claustro en la H. Academia de Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico Tuxtla Gutiérrez/Tecnológico Nacional de México. Ha publicado dos libros.



Saúl de Jesús Molina Domínguez es Ingeniero mecánico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez de Chiapas, cuenta con una Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica por el Instituto tecnológico de Celaya Guanajuato, cuenta con Doctorado en Ingeniería Aplicada por el Colegio de Formación Educativa Tenam.

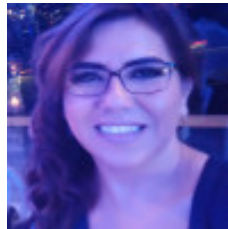


Ignacio Arrijo Cárdenas, es profesor de tiempo completo y jefe de proyectos de docencia en el departamento de Metalmecánica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez/Tecnológico Nacional de México. Doctor en Ingeniería aplicada por el Colegio de Formación Educativa Tenam, Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica por el Instituto Tecnológico de Veracruz, Maestro en Ciencias Físicas (Física Teórica) por Centro Mesoamericano de Física Teórica-Universidad Autónoma de Chiapas e Ingeniero

Mecánico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez; ha publicado diversos artículos en el área del diseño mecánico, mecánica de los fluidos y uno de teoría cuántica de campos; ha publicado cuatro libros en el área de ingeniería mecánica; ostenta el Perfil PRODEP (perfil deseable).



Julio Cesar Llaven Gordillo, es Doctor en Ingeniería aplicada por el Colegio de Formación Educativa Tenam, Maestro en Ciencias de la educación por el Instituto de Estudios Universitarios e Ingeniero Mecánico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Hoy día es profesor de medio tiempo en el departamento de Metal-Mecánica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez/ Tecnológico Nacional de México



Vitta Marlene Castillo Sánchez, es Maestra en Ciencias de la Educación por el Colegio de Formación Educativa Tenam, es Ingeniera Industrial en Eléctrica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, actualmente es profesora de medio tiempo en el departamento de Ciencias Básicas del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Ha publicado 2 libros.