Artículo **Revista de Ingeniería Biomédica y Biotecnología**
Septiembre, 2018 Vol.2 No.5 1-9

Diseño, simulación y control de trituradora de papel

Design, simulation and control of paper crusher

LINARES-ENRÍQUEZ, Alejandro*† & NAVA-ROSAS, Raymundo

Tecnologico de Estudios Superiores de Tianguistenco

ID 1er Autor: *Alejandro, Linares-Enríquez* / **ORC ID:** 0000-0002-2250-0730, **Researcher ID Thomson**: F-8123-21018, **CVU CONACYT ID:** 607628

ID 1er Coautor: *Raymundo, Nava-Rosas* / **ORC ID**: 0000-0001-7873-7756, **Researcher ID Thomson**: G-1933-2018

Recibido: 30 de Junio, 2018; Aceptado 02 de Septiembre, 2018

Resumen

Se desarrolla el diseño, simulación y control para la construcción de un prototipo de trituradora de papel que cumpla con estándares de rendimiento, calidad y seguridad. Con el fin de resolver los problemas de archivo muerto que existe en las dependencias gubernamentales e instituciones educativas. Debido a que estas no pueden tirar sus documentos a la basura por contener datos confidenciales y de acuerdo a las normas de la organización. Las ventajas del desarrollo de este prototipo sobre las del mercado son económicas y de funcionamiento, considera un sistema mecánico de engranajes, ya que las existentes con características similares son de mayor costo, además de que cumple con las necesidades de trituración con la calidad y eficiencia debido a que su análisis establece los materiales específicamente para realizar la trituración de papel; seguridad, ya que contiene elementos que restringen al operador durante la función y garantiza la confiabilidad para evitar accidentes. Se analizan los materiales, la mecánica de materiales, las condiciones de diseño con las simulaciones estructurales, dinamicas, además de obtener los parámetros de operación. El sistema de la trituradora de papel industrial está compuesto por cuchillas, rodamientos, mecanismos de trasmisión de potencia, acoplamientos, motor, banca, controladores, cableado y cubiertas.

Diseño, Simulación, Control, Trituradora

Abstract

The design, simulation and control for the construction of a paper crusher prototype that meets performance, quality and safety standards is developed. In order to solve the dead archive problems that exist in government agencies and educational institutions. Because they can not throw their documents in the trash for containing confidential data and according to the rules of the organization. The advantages of the development of this prototype over the market are economic and operational, considering a mechanical gear system, since existing ones with similar characteristics are more expensive, in addition to meeting the needs of crushing with quality and efficiency because his analysis establishes the materials specifically to perform paper crushing; security, since it contains elements that restrict the operator during the function and guarantees the reliability to avoid accidents. The materials, the mechanics of materials, the design conditions with the structural simulations, dynamics are analyzed, in addition to obtaining the operating parameters. The system of the industrial paper shredder is composed of blades, bearings, power transmission mechanisms, couplings, motor, banking, controllers, wiring and covers.

Design, Simulation, Control, Crusher

Citación: LINARES-ENRÍQUEZ, Alejandro & NAVA-ROSAS, Raymundo Diseño, Simulación y Control de Trituradora de Papel. Revista de Ingeniería Biomédica y Biotecnología. 2018. 2-5: 1-9

* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: alejandroing06@hotmail.com)
† Investigador contribuyendo como primer autor.

© ECORFAN-Taiwan

Introducción

La contaminación que generan las industrias papeleras al igual que cualquier otra industria atenta contra el orden ecológico y el medio ambiente.

La trituradora de papel es un dispositivo cuyo objetivo es destruir documentos confidenciales de forma segura y que estos no se puedan volver a reconstruir, y, poderlos manipular, estableciendo en una dependencia o inmueble la confidencialidad del contenido de sus documentos y así no verse afectada, además con la eliminación de documentos también podemos aplicar el reciclaje para la reutilización del papel, por lo que el triturar papel para su reutilización y reciclae justifica la generación del prototipo.

En la actualidad con los avances tecnológicos aún no se puede reemplazar el uso de papel al cien por ciento, debido a que documentos importantes tienen que ser firmados por los propios interesados para confirmar su originalidad, sin embargo una vez concluido el proceso sea cual sea los documentos se deben almacenar y después de un periodo de antigüedad se pueden desechar, pero las dependencias no se sienten seguras al desechar sus documentos completos en la basura, pues se pueden ocupar de forma indebida, por lo que el proyecto de trituradora tiene su importancia para el reciclado y renovación del papel de manera que no contenga la información legible por el tipo de trituración y nivel de seguridad al triturar.

El desarrollo del prototipo de trituradora de papel que cumpla con los estándares de rendimiento, calidad y seguridad permitirá a las dependencias adquirir una trituradora de media capacidad con la cual ellos mismos podrán cortar y triturar sus documentos y, desecharlos con toda confianza para su reutilización y reciclaje.

Se presenta el desarrollo de una trituradora compacta de papel industrial, en la cual el equipo inicia el diseño, el modelado y la simulación de cada componente que la conformaran, para llevar a cabo la implementación del prototipo y sistema de control.

Se analiza la selección de materiales, la mecánica de materiales y los parámetros de operación.

Se desarrollan los estudios de ingeniería y elementos mecánicos y electricos. Se analiza desde la bancada hasta las cuchillas considerando la potencia que proporciona el motor.

Se establece la mecánica de materiales, con el torque y análisis de esfuerzos, potencia electrica y control de operación y seguridad.

Para el control se realiza la simulación y selección de componentes electricos y, pasar posteriormente a la construcción del sistema de control y seguridad de la trituradora.

Metodología a desarrollar

El sistema de la trituradora de papel industrial está compuesto por cuchillas de acero 1020, rodamientos, mecanismos de trasmisión de potencia, para los cuales se seleccionaron engranes helicoidales para la transmisión de potencia y contar con un mejor torque al momento de la trituración del papel y no tengan fallas de esfuerzos y deformaciones en los engranes.

Se analizan los elementos mecánicos que son la bancada, acoplamientos, ejes, flechas, chumaceras, aspas, cubierta metálica, además de los elementos eléctricos que son el motor, arrancador, sistema de protección, cableado y sistema eléctrico de seguridad, como se muestra en la simulación que permite predecir el comportamiento de sistema como se muestra en la figura 1, donde por medio del movimiento rotacional que ofrece el motor, lo trasmite a través de un acoplamiento del motor a una flecha del sistema de trituración, posteriormente por medio de un mecanismo de engranes helicoidales transmite el movimiento rotacional a la otra flecha, las chumaceras ofrecen una oposición a la rotación mínima.

Por medio de la velocidad que genera el motor se transmite a las cuchillas para triturar el papel que es introducido en la tolva.

ISSN: 2523-6857
ECORFAN® Todos los derechos reservados

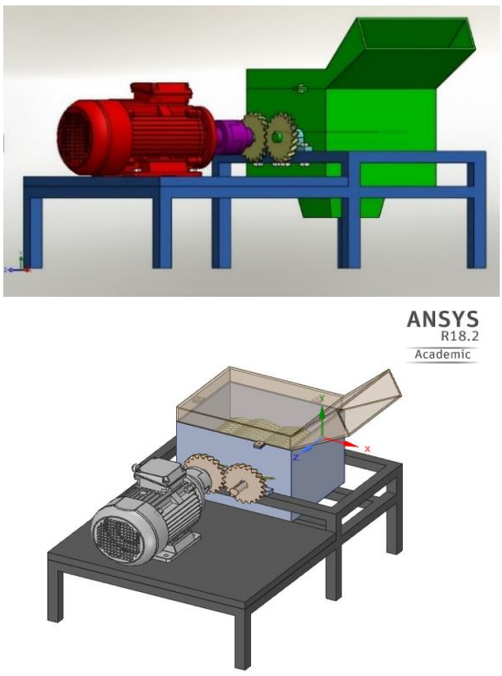

Figura 1 Simulación Prototipo de Trituradora

Diseño de Elementos de la Trituradora

La carga producida en las flechas por el propio peso de las cuchillas más el papel pueden provocar que falle alguna, por medio de análisis matemático para elementos bajo cargas que viene dado por:

$$\circlearrowleft (+) \sum M_{b,a,c,\ldots +} \quad (1)$$

$$\rightarrow (+) \sum F_x = 0 \quad (2)$$

$$\uparrow (+) \sum F_y = 0 \quad (3)$$

El análisis permite asegurar la forma, diámetro y material que son correctos y que no fallaran bajo las cargas a la que se sometan. (Hibbeler, R. C. 2004).

Si se considera que la carga que soportan las flechas también repercute en los engranes debido a que cargan con el peso cuando gira, entonces se analiza el diseño de los engranes y las cargas que se trasmiten en ellos, como se muestra en la figura 2, para engranes helicoidales son:

Paso circular, p_c: Es la distancia desde un punto en el diente hasta el punto correspondiente en el diente siguiente adyacente, medido en la línea de paso en el plano transverso, y es igual a:

$$p_c = \frac{\pi D}{N} \quad (4)$$

Paso diametral p_d: Es la relación del número de dientes en el engrane con el diámetro de paso.

$$p_d = \frac{N}{D} \quad (5)$$

Paso circular normal p_n: Es la distancia entre dos puntos correspondientes adyacentes medida en la superficie en el sentido normal se obtiene de la ecuación:

$$p_n = p_c * \cos(\varphi) \quad (6)$$

Paso diametral normal p_{nd}: Es el paso diametral equivalente en el plano normal respecto a los dientes.

$$p_{nd} = \frac{p_d}{\cos(\varphi)} \quad (7)$$

Paso axial p_x: Es la distancia entre puntos correspondientes en dientes adyacentes, medida en la superficie de paso sentido axial.

$$p_x = \frac{p}{\tan(\varphi)} \quad (8)$$

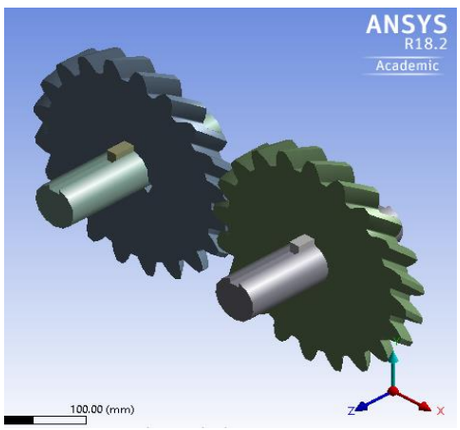

Figura 2 Simulación Sistema de Engranes
Fuente: Elaboración Propia

Angulo de presión normal θ_n.

$$\theta_n = \tan^{-1}\left((\tan\theta_t)(\cos\varphi)\right) \quad (9)$$

Relación entre paso axial y ancho de cara.

$$\frac{F}{p_x} \quad (10)$$

Distancia entre centros C.

$$C = \left(\frac{p_c}{2\pi}\right)\left(N_r * N_p\right) \quad (11)$$

ISSN: 2523-6857
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Relación de velocidades

$$\frac{N_p}{N_r} \tag{12}$$

Cargas presentes en los engranes

La fuerza que actúa tangencial a la superficie de paso del engrane se denomina la carga transmitida y es la fuerza que en realidad transmite torque y potencia desde el engrane impulsor hacia el engrane que es impulsado.

$$W_t = \frac{T}{\frac{D}{2}} \tag{13}$$

Es aquella que se dirige en forma paralela al eje de la flecha que soporta el engrane. Esta, que también se denomina carga de empuje, es la fuerza a la que deben resistir los cojinetes de flechas que tienen capacidad de empuje. Se determina a través de la expresión.

$$W_a = W_t * tan(\psi) \tag{14}$$

La fuerza que actúa hacia el centro del engrane, esto es, en sentido radial. El sentido de la fuerza es siempre tal que tiende a separar los engranes, (Jaén Tlazalo E,2011), (Mott, Robert L, 2006). Puede determinarse a través de la ecuación:

$$W_r = W_t * tan(\varphi_t) \tag{15}$$

Diseño de flecha

Para saber si la flecha soportara el torque producido por el motor se analiza por medio de la ley de Hooke como se muestra en la figura 3, (Gere J. M. and Timoshenko S. P. 1987), (Ansys Mechanical 2012, 2012), y esta dada por:

$$\tau = G\gamma = Gr\theta \tag{16}$$

De esta se deriva el esfuerzo cortante máximo τ_{max}, en una barra circular sometida a torsión puede determinarse al sustituir la expresión para $\theta = \frac{T}{GI_p}$, el ángulo de torsión por unidad de longitud en la expresión para la ley de Hooke así:

$$\tau_{max} = \frac{Tr}{I_p} \tag{17}$$

Esta ecuación se conoce como fórmula de la torsión, establece que el máximo esfuerzo cortante es proporcional al momento de torsión aplicado T y al radio r, e inversamente proporcional al momento polar de inercia de la sección trasversal. Al sustituir $r = \frac{d}{2}$ e $I_p = \frac{\pi d^4}{32}$ resulta: (Ferdinand P. A. Singer L. 1994), (Ferdinand P. B, Russell J, Jr. 2004), (Gere J. M. and Timoshenko S. P. 1987).

$$\tau_{max} = \frac{16T}{\pi d^3} \tag{18}$$

Figura 3 Simulación Flechas del Sistema
Fuente: Elaboración Propia

Simulación y Diseño de los Componentes y Análisis

El método de elementos finitos (MEF) es un método numérico empleado en la resolución de ecuaciones diferenciales muy utilizado en diversos problemas de ingeniería como es el análisis de tensiones o análisis estático, (Ansys Mechanical 2012, (2012), (Ansys Theory Reference 2012, 2012). El método se basa en dividir el cuerpo o geometría a validar en múltiples partes de pequeño tamaño denominados "elementos". Los elementos comparten entre ellos puntos comunes de intersección denominados nodos.

En la figura 4, se muestra el mallado para el análisis del sistema de engranes y ejes de la trituradora de papel.

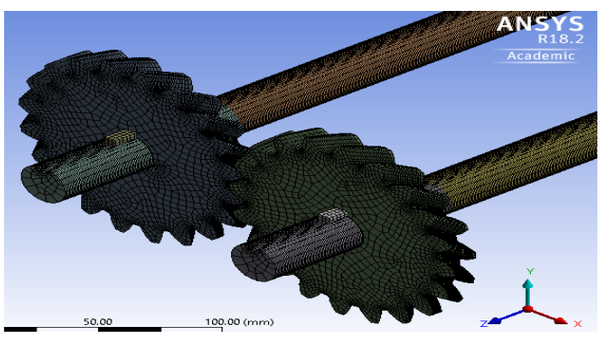

Figura 4 Análisis del Sistema de Engranes y Flechas
Fuente: Elaboración Propia

ECORFAN® Todos los derechos reservados

El esfuerzo es una magnitud física que determina la fuerza de la estructura. En ingeniería estructural se usa en el contexto de las teorías de falla como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles y linealmente elásticos. Por esto se realiza la simulación de los elementos de la trituradora en esfuerzos. (Gómez G. S, 2014).

Banca: los esfuerzos de Von Mises como mostramos en la figura 5 presenta el esfuerzo que se presenta como valor máximo de 207 kPa. Al centro y orillas de la banca sin embargo es imperceptible conocer el esfuerzo.

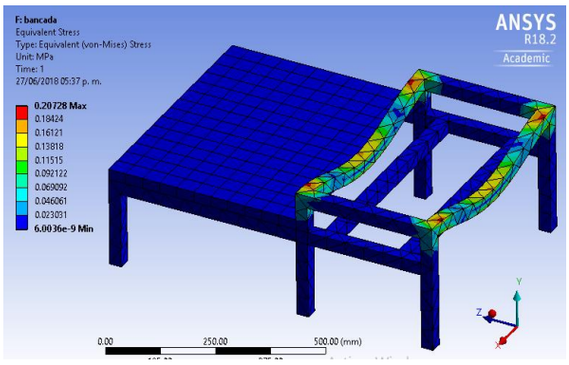

Figura 5 Análisis de la Bancada
Fuente: Elaboración Propia

Cuchilla: la cuchilla presenta dos tipos de cargas, cargas puntuales y por torsión, material acero 1020; en la figura 6, mostramos la simulacion de las cuchillas diseñadas para la trituradora de papel y el análisis de mallado en la figura 7.

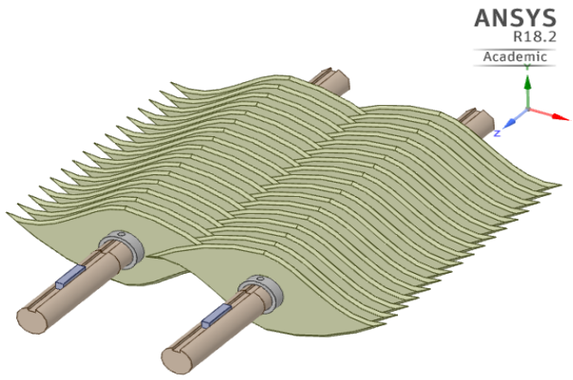

Figura 6 Diseño de Cuchillas
Fuente: Elaboración Propia

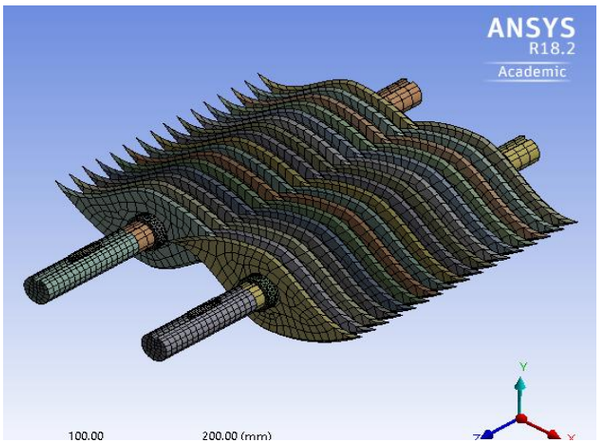

Figura 7 Análisis de Cuchillas
Fuente: Elaboración Propia

Los esfuerzos se generan por la carga del papel, que se establecen en la figura 8, mostramos los esfuerzos presentes debido a que el papel se opone a que sigan girando las cuchillas, con un esfuerzo de 189 MPa.

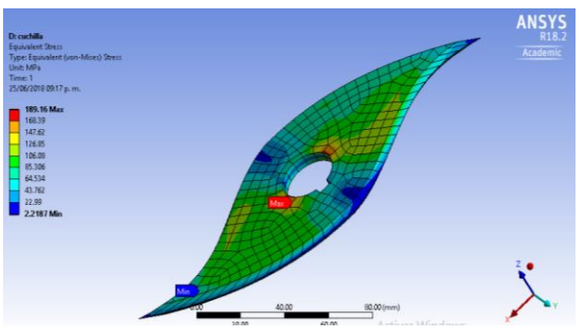

Figura 8 Analisis de Esfuerzos
Fuente: Elaboración Propia

Al igual que las cuchillas las flechas también se ven sometidas a esfuerzos y deformaciones como se muestra en la figura 9 y en la figura 10, mostrando un esfuerzo de 173 MPa y una deformación de $0.8677x10^{-3}$ mm/mm por la oposición al cortase el papel y por el motor.

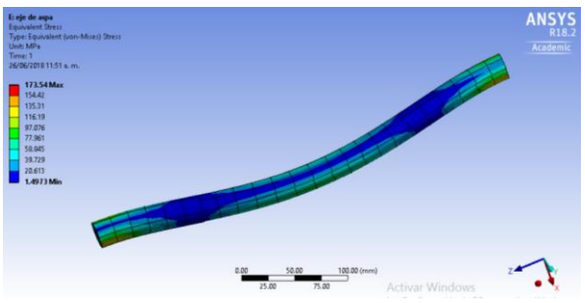

Figura 9 Análisis de Esfuerzos en el Eje.
Fuente: Elaboración Propia

ECORFAN® Todos los derechos reservados

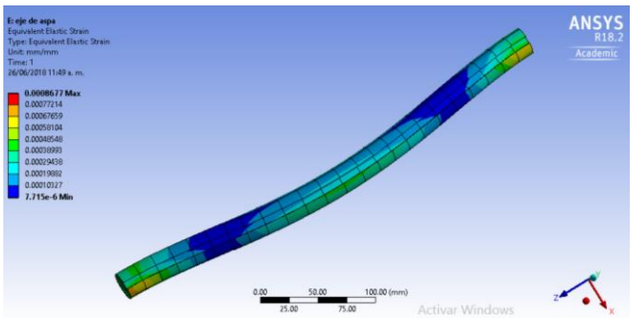

Figura 10 Análisis de Deformacion en el Eje
Fuente: Elaboración Propia

Un elemento muy importante de diseño y de simular es la cuña debido a que este elemento soporta las cargas de torsion del motor y del papel y si no es bien analizado puede fallar con carga muy baja o nunca falla, aunque falle algun otro componente material acero 1020. Su funcion principal es la de fallar bajo una carga fuera de los parametros de operación por esfuerzo cortante como mostramos en la figura 11. (Vasconez Ortiz A. P. 2013), (Solid Works, 2005).

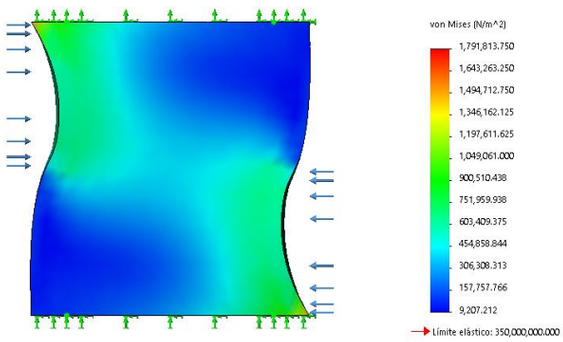

Figura 11 Análisis de Cuña
Fuente: Elaboración Propia

Control de la Trituradora de Papel

El control eléctrico industrial, en su más amplio sentido, comprende todos los métodos utilizados para controlar el desempeño de un sistema eléctrico. Cuando se aplica a maquinaria, implica arranque, aceleración, inversión de rotación, desaceleración, paro del motor y su carga. Por lo que es importante desarrollar el control eléctrico de la máquina trituradora de papel conformada por un motor trifásico. (Wildi, Theodore. 2007). El CADe SIMU. Es un programa de CAD electrotécnico, el programa en modo simulación visualiza el estado de cada componente eléctrico cuando está activado al igual que resalta los conductores eléctricos sometidos al paso de una corriente eléctrica. Por medio de interface CAD el usuario dibuja el esquema de forma fácil y rápida.

Una vez realizado el esquema por medio de la simulación se puede verificar el correcto funcionamiento y esquema eléctrico. (Villanueva Montoto J.L. 2004).

Debido a que el tipo de control implementado en la trituradora es tipo ON- OFF la mayoría de las variables que se deben controlar en la trituradora serán todo o nada, por ejemplo, en la trituradora solo existirá velocidad en "ON" a un 100% y en "OFF" 0%. Sin embargo, existe una variable que no se rige bajo este esquema de control y es la inversión de giro del motor.

En el control ON-OFF no existen posiciones intermedias, solo un todo o nada como mostramos en la figura 12, el sistema es idóneo para el control de la trituradora debido a que este sistema se emplea cuando se conoce la relacin entre la entrada y la salida. En la trituradora de papel la salida no mide el papel triturado solo su funcionamiento, control y papel.

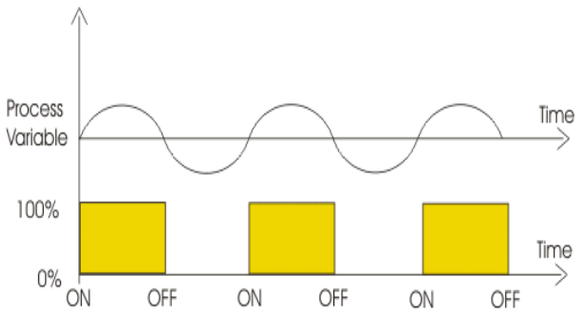

Figura 12 Control ON-OFF
Fuente: Wildi, Theodore, 2007

Simulación del control eléctrico de la trituradora

El control de la trituradora se realizó a través de un interruptor termo-magnético y un arrancador a tensión plena modelo 3RS el cual está compuesto por un contactor, un relé bimetálico, botón doble y contacto auxiliar como se muestra en la figura 13.

La función principal de cualquier arrancador es controlar un motor eléctrico en arranque y en parada del motor, así como su protección del mismo y del operador de la máquina.

ISSN: 2523-6857
ECORFAN® Todos los derechos reservados

La simulación del sistema eléctrico y de control se desarrolló al activar el interruptor termo-magnético el cual permite que el circuito se alimente de energía eléctrica.

Se hace accionar el pulsador "I" que permite el paso de la energía eléctrica a través de él y del relé térmico energizándose la bobina "K" del contactor, haciendo que se accionen los contactos del contactor al mismo tiempo se cambian los contactos auxiliares y se invierten permitiendo el enclavamiento de la bobina, y por consiguiente el accionamiento del motor como se muestra en la figura 14.

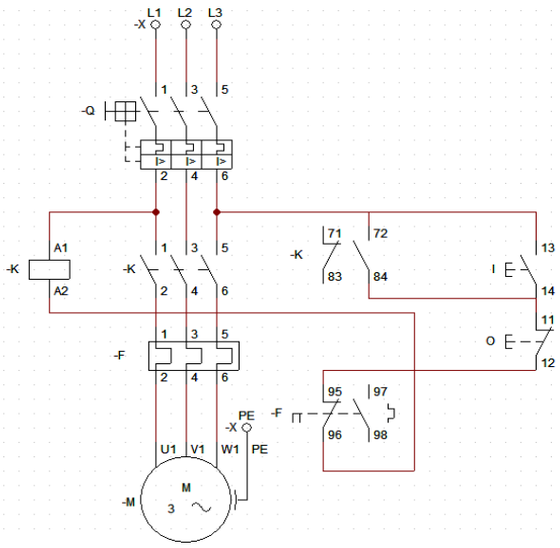

Figura 13 Control Eléctrico
Fuente: Elaboración Propia

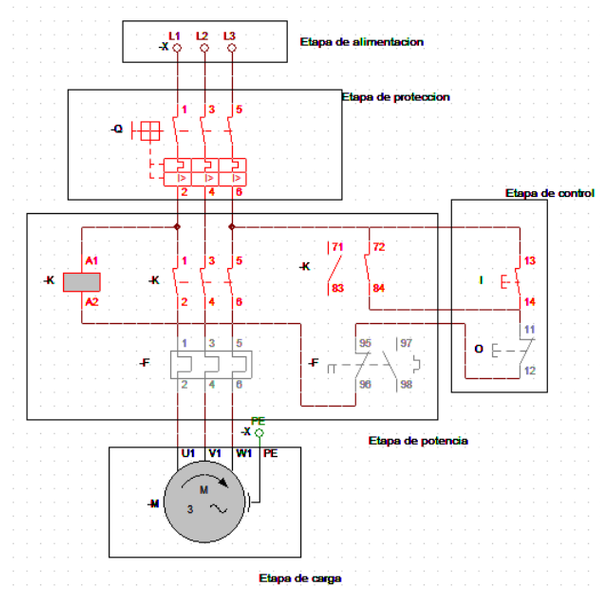

Figura 14 Control Eléctrico Arranque
Fuente: Elaboración Propia

Para deener el sistema se presiona el pulsador "O" el ual es un botón NC en serie de pulsador "I" que corta el suministro de energía al arrancador y principalmente la bobina, ocasionando que se desenclave, y por lo tanto se detenga el del motor, figura 15.

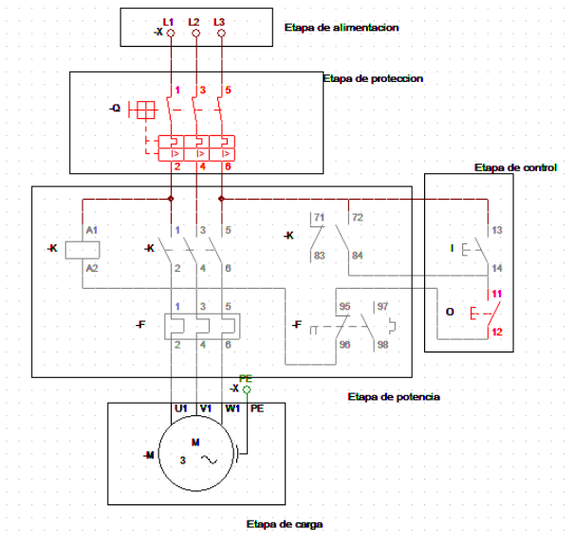

Figura 15 Control Eléctrico Paro
Fuente: Elaboración Propia

Resultados

Con el desarrollo de este proyecto se estructuro la ingeniería del diseño para determinar los elementos estructurales, mecánicos y electricos del equipo, la simulación y análisis estructurar para establecer esfuerzos y deformaciones y conocer que no existen fallas que hagan que el equipo falle y, el control para la trituradora de papel de acuerdo a las condiciones de seguridad que debe contar este equipo, ya que pone en un grado de riesgo a la persona que este operando el equipo, por lo ue se debe garantizar su operación y para llegar a su implementación y, puesta en marcha cumpliendo con las características para la destrucción de documentos y que el papel pueda renovarse y reciclarse para ser nuevamente utilizado. Una vez realizados estos estudios se procedió a la construcción de un prototipo y la puesta en marcha para observar el funcionamiento, comportamiento, operación, control y tamaño del papel triturado.

Con los estudios y la simulación desarrolladas se paso a iniciar con el maquinado de los ejes y de las cuchillas para la trituradora de papel como se muestra en la figura 16, (Bawa H.S. 2007), Serope (Kalpakjian, Steven R. Schmid, 2014).

ISSN: 2523-6857
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Figura 16 Maquinado de Ejes y Cuchillas
Fuente: Elaboración Propia

Continuamos con el ensamblado de las cuchillas, los ejes en la bancada, las chumaceras de la trituradora como se muestra en la figura 17, (Bawa H.S. 2007), Serope (Kalpakjian, Steven R. Schmid, 2014).

Figura 17 Maquinado de Bancada y Ensamble de Trituradora del Prototipo
Fuente: Elaboración Propia

Se termina con el ensamblado de la trituradora de papel en la parte mecánica y de control, como se muestra en la figura 18.

Figura 18 Ensamble de Trituradora del Prototipo
Fuente: Elaboración Propia

Con la terminación del prototipo se iniciaron las pruebas de funcionamiento para el corte de papel y que permita establecer la implementación del diseño, después de la simulación desarrollada, para la trituradora de papel como se muestra en la figura 19, obteniéndose que la trituración de papel se implementa.

Figura 19 Funcionamiento del Prototipo de Trituradora de Papel
Fuente: Elaboración Propia

Agradecimiento

Al Tecnologico de Estudios Superiores de Tianguistenco el poder desarrollar el diseño, la simulación del proyecto y la construcción del prototipo de la trituradora de papel para establecer que el proyecto es rentable, viable y funcional.

Conclusiones

El resultado de este trabajo muestra que el sistema de la trituradora, es una alternativa de comercialización o arrendamiento a otras instituciones gubernamentales que deseen triturar sus documentos y así eliminar el problema de archivo muerto, debido a que en la mayoría se presenta. Por esto es importante analizar las variables que intervienen en el sistema de trituración, así como los elementos para su correcto funcionamiento.

Realizar el análisis mecánico de la trituradora permitió establecer parámetros y variables a controlar, siendo importantes los elementos de diseño e ingeniería, para conocer las características que hacen funcionar a la máquina trituradora, además de conocer los materiales que conformarían la máquina para que no fallen estos elementos.

La simulación de la trituradora nos brinda una visión más amplia del comportamiento de los elementos de la trituradora bajo cargas estáticas y dinámicas. Además de analizar los elementos antes de que ocurra una falla. Con esto podemos observar el comportamiento de cada elemento para poder apreciar la seguridad de la operación del mecanismo.

ISSN: 2523-6857
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Con el proyecto del diseño, simulación y control, se establece, desarrolla y muestra la importancia de la ingeniería, con el análisis detallado de los elementos para su construcción en el prototipo, la predicción del comportamiento de estos en funcionamiento y la implantación del control que se adecue al equipo para que este opere correctamente.

Referencias

Vasconez Ortiz A. P. (2013). DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICOS DE 15 KG/H PARA EL LABORATORIO DE CONFORMADO DE LA FACULTA DE INGENIERÍA MECÁNICA, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica.

Ferdinand P. A. Singer L. (1994). RESISTENCIA DE MATERIALES (INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE MATERIALES), Ed. HARLA, Cuarta Edición.

Jaén Tlazalo E. (2011). CALCULO Y DISEÑO DE ENGRANES HELICOIDALES, Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

Ferdinand P. B, Russell J, Jr. (2004). MECÁNICA DE MATERIALES, Mc Grall Hill, Tercera edición.

Hibbeler, R. C. (2004). MECÁNICA VECTORIAL PARA INGENIEROS. Estática, Ed. Pearson Educación, Décima Edición.

Gere J. M. and Timoshenko S. P. (1987). MECÁNICA DE MATERIALES, Grupo Editorial Iberoamericana, Segunda Edición.

Villanueva Montoto J.L. (2004). CADe SIMU, blog calalplc, http:// canalplc.blogspot.mx/p /cadesimu.html

Mott, Robert L. (2006). DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS, Ed. Pearson Educación, Cuarta Edición.

Gómez González S. (2014). SOLIDWORKS OFFICE PROFESSIONAL, Ed. Alfaomega, trigésima tercera reimpresión.

Solid Works (2005). TECNICAS AVANZADAS DE MODELADO DE PIEZAS, Solid Works Corporation.

Wildi, Theodore. (2007). MAQUINAS ELÉCTRICAS Y SISTEMAS DE POTENCIA, Ed. Pearson Educación, Sexta Edición.

Ansys Mechanical 2012, (2012). Analisis Mecánico Estructural.

Ansys Theory Reference 2012, (2012). THEORY REFERENCE, Novena Edición.

Bawa H.S. (2007). PROCESOS DE MANUFACTURA, Mc Graw Hill, 1ra Edición.

Serope Kalpakjian, Steven R. Schmid, (2014). MANUFACTURA, INGENIERIA Y TECNOLOGIA, Pearso, Septima Edición.

ISSN: 2523-6857
ECORFAN® Todos los derechos reservados