

Análisis del diseño, ruido y vibración de maquinaria desfibradora de Ixtle de Lechuguilla

Analysis of design, noise and vibration of shredding machinery of Lechuguilla Ixtle

Carlos Leal-Iga*

Nahielly Alejandra Marín-González

Oscar Alejandro González- González

Dante Alberto Jiménez-Domínguez

María Teresa Ledezma-Elizondo

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Arquitectura, Nuevo León, México.

*Autor para correspondencia: clealiga@hotmail.com

Resumen

El propósito de este estudio es, analizar los componentes principales de una maquina desfibradora de Ixtle de Lechuguilla típica, presente en la mayoría de los ejidos dedicados a esta actividad en la zona noreste de México, y determinar las oportunidades de rediseño en sus piezas principales, así como en los niveles sonoros y de vibraciones, para evaluar su magnitud y determinar la severidad e impacto. Para lograr este objetivo se aplica la metodología DFX a una maquina desfibradora de Ixtle de Lechuguilla, conociendo las principales piezas que son susceptibles de un rediseño, también se comparó esta máquina típica contra un banco de pruebas, realizado en taller con un motor de menor potencia, con el cual se hicieron pruebas de ruido y vibración, en ambos casos los análisis se practican con la misma intención de lograr una mejora en su eficiencia. Los resultados de la metodología DFX, como oportunidades de rediseño son: la seguridad de operación, los mecanismos de entrada y salida, velocidad de trabajo al desfibrar dos Cogollos, aligerar la estructura, capacidad del motor en función con el diseño de rodillo para desfibrar, y en la forma de mantenimiento e inspección. Por ultimo en el análisis de ruido y vibraciones, se tienen oportunidades de mejora en el diseño del tambor de la maquinaria, colocarle una guarda (tapa) que colabore en la disminución de niveles de ruido, y revisar la alineación de ejes de las máquinas para no generar vibraciones fuera del rango permisible.

Palabras clave: Fibra Ixtle Lechuguilla, Maquina desfibradora, Metodología DFX, Análisis de ruido y vibración.

Abstract

The purpose of this study is to analyze the main components of a typical Lechuguilla Ixtle shredder machine, present in most of the ejidos dedicated to this activity in the northeast of Mexico, and to determine the opportunities for redesign its main parts, also the sound and vibration levels for evaluate their magnitude and determine the severity and impact. To achieve this objective, the DFX methodology was applied to Lechuguilla Ixtle shredder machine knowing the main parts that are susceptible to redesign, this typical machine was also compared against a bench test, carried out in a workshop with a lower power motor, with which were made tests for noise and vibration, in both cases the analyzes are perform out with the same intention of achieving an improvement in its efficiency. The results of the DFX methodology, as opportunities for redesign are: the safety of operation, the input and output mechanisms, speed working when defibrating two Cogollos, lightening the structure, motor capacity depending on the design of the defibration roller, and the form of maintenance and inspection. Finally, in the analysis of noise and vibrations, there are opportunities for improvement in the design of the machinery drum, placing a guard (cover) that helps to reduce noise levels, and reviewing the alignment of the axes the machinery so as not generate vibration outside the allowable ranges.

Keywords: Lechuguilla Ixtle fiber, Shredder machine, DFX methodology, Noise and vibration analysis.

Introducción

Para empezar a conocer la problemática, presentamos un breve desarrollo de antecedentes de la utilización de maquinaria, enfrentado al uso de herramientas manuales. Según Castillo, Berlanga & Cano (2005) el método de mecanizado se empezó a usar más ya que requiere de menor esfuerzo, pero este método da una menor calidad a la fibra comparado contra el desfibrado a mano. Aunque la máquina haya desplazado el método manual de extracción, sigue siendo usado en lugares como Jaumave, Tamaulipas.

La forma y función de las máquinas para desfibrar que se usan hoy en día, no dista mucho de cómo eran antes. Estas consisten de un tambor con clavos que gira mediante un motor de gasolina o eléctrico (Mayorga *et al.*, 2018).

A continuación, se hace un listado con una breve descripción de las herramientas que existen para la extracción manual y su función:

- Cogollera; Esta herramienta consiste de un palo de madera largo que en un extremo tiene un aro de metal, el cual rodeará la penca y la extraerá del centro del agave.
- Huacal: Esta es una canasta donde se van colocando las pencas, hecha de la misma fibra de Ixtle y tiene una capacidad de carga de aproximadamente 50kg. (S.C.K K, 2009).
- Machete; Esta herramienta no tiene filo, es colocada sobre una base sobre la cual se va a recargar para poder facilitar el desfibrado (Castillo, Cano & Berlanga, 2012).

En cuanto a la extracción mecánica el concepto sigue siendo muy similar, el primer método consistía básicamente en golpear los cogollos contra espinas hasta que este se desfibrara, este proceso se transforma a la aplicación de clavos sobre una tabla por la cual se pasaría la penca (Mayorga *et al.* 2018).

Le sigue el uso de las máquinas de tambor, estas son semi-estacionarias y consisten de una caja con un rodillo cubierto de clavos en el interior de esta, el cual girará mediante la ayuda de un motor y así peinará el cogollo (Rössel, Hipólito, & Mayorga, 2003).

Existe maquinaria que realiza una función en el proceso del ixtle, pero no necesariamente como desfibradora, estas son hechas especialmente por

las empresas y funcionan para los procesos de creación de productos de ixtle (Ixtlera Fibers, 2018).

Dentro de los similares existentes, hay varias máquinas desfibradoras que, aunque no se usan en México para el ixtle cumplen con funciones muy similares. Una de ellas es la máquina manual desfibradora de abacá, esta imita el tallado manual del cuchillo mediante una perilla que ajusta la fuerza aplicada a los cogollos (Espín & Tello, 2015).

Según el informe de S.C.K K. (2009) se conocen dos métodos en que los talladores obtienen las máquinas, este puede ser mediante convenios con las empresas que compran fibras y mediante ayuda del gobierno.

Para Mayorga *et al.* (2004), la actividad de tallado manual de fibra o ixtle de lechuguilla es poco remunerada porque los productores llegan a obtener 1.87kg de fibra seca por hora. Pero el tallado mecánico llega a proporcionar 15 a 18 kg de fibra seca por hora. Según Castillo *et al.* (2005), la producción en base al tallado manual y finalmente después de extender la fibra en capas delgadas dejando secar al Sol por un período de 2 a 3 horas aporta solo 6 kg, siendo el fin de los estudios de maquinaria la mejor y mayor calidad de la producción, para la rentabilidad del trabajo con el equipo micro industrial, que mejore el incremento del precio por ambos factores (tiempo y costo).

Existen diferentes estudios sobre propuestas de diseño de equipos para desfibrar agave de lechuguilla, como el titulado; “Teoría Funcional de una Máquina Desfibradora de Lechuguilla (Agave lechuguilla Torr) de Tipo Tambor”, de Rössel *et al.* (2003). En él se muestra el diseño y cálculo de las piezas principales de una maquina desfibradora existente sencilla, la relevancia de este estudio es la revisión del equipo común que se utiliza, y en donde se muestra el cálculo con las fórmulas para la simulación del rodillo desfibrador, los resultados comprueban una ineficiencia en la cantidad de desperdicio de la hoja que se queda en el rodillo, recomendando hacer más estudios para mejorar los equipos.

En otro estudio titulado; “Diseño y fabricación de prototipo de maquinaria desfibradora de agave-lechuguilla”, apoyado por CONACYT con número

de proyecto 181526, este fue vinculado con una empresa de fabricación de maquinaria denominada Talleres industriales Braña, S. de R.L. El prototipo al que se llegó consta de las siguientes partes; Un banco alimentador y la máquina que consta de dos cuerpos, el primero raspa el tronco de la hoja, luego la segunda cadena la pasa a la siguiente raspadora para la segunda mitad, la fibra limpia se expone al Sol, y 24 horas después queda terminada para empacar. En este proyecto se menciona que los mismos recolectores que desfibran manualmente las hojas tiene una capacidad para desfibrar y vender 3 kilos diarios (Anónimo, 2012). Este equipo es más complejo y de mayor dimensión que el anterior, requiere más energía eléctrica. En el primer ejemplo de Rössel et al. (2003), se requiere motor eléctrico monofásico marca Siemens de 0.746 kW de potencia (1 HP), y en el segundo requiere un motor de 40 HP (29.828 kW), como se observa el consumo de energía y potencia es muy diferente.

En el proyecto “Diseño y construcción de una desfibradora de hojas de *Agave angustifolia Haw*” (Pérez del Río et al, 2013), se observa también el diseño de una maquina desfibradora de hojas verdes de *Agave angustifolia Haw*, aunque no es para *Agave* de lechuguilla el equipo es muy similar y también se puede usar para este producto, demostró la relación que existe entre la holgura de desfibrado y la calidad del desfibrado, además, la relación entre las velocidades de entrada y salida de la hoja respecto al consumo de energía del proceso, lo cual da pauta para proponer adecuaciones que sean flexibles en el control de las variables que condicionan el sistema de desfibrado. Para el estudio mencionado, como fuente energética se seleccionó un motor eléctrico de 7.5 hp (5.6 kW) que gira a 1,765 rpm. Además, en este estudio se presentan en las conclusiones parámetros medidos sobre eficiencia de limpieza, de calidad de la fibra obtenida, cantidad de fibras rotas y energía consumida, parámetros necesarios para un rediseño.

Los cambios que se le han hecho a las máquinas desfibradoras desde la década de 1970, no han sido muy grandes, el concepto sigue siendo básicamente el mismo pero el mercado que compra la fibra de ixtle se ha vuelto más exigente con la calidad de la fibra, y el uso de las máquinas no se los da (Rössel,

Hipólito, & Mayorga, 2003).

El objetivo de este trabajo es, analizar los componentes principales de una maquina desfibradora de Ixtle de Lechuguilla típica, y determinar las oportunidades de rediseño en sus piezas principales, así como los niveles sonoros y de vibraciones, evaluando su magnitud y determinar la severidad e impacto en una maquinaria de uso actual.

Materiales y Métodos

Características generales de las máquinas

El producto resultante en forma de fibras de las plantas como la lechuguilla, es utilizado para la elaboración de productos de cerdas naturales para limpieza y trenzados para cuerdas y derivados. La maquinaria para desfibrar está formada por un motor de C.A. que transmite movimiento a un eje donde se encuentra un tambor que hace la función de desfibrar. Se realizaron mediciones en dos máquinas: la de referencia que fue adquirida con un proveedor en el municipio de Ramos Arizpe en Coahuila, y el banco de pruebas que fue construido con una estructura simplificada para reducir el ruido y vibración de la maquina original, en la Figura 1 se muestran fotos en donde se realizaron las mediciones de ruido y vibraciones. En la Cuadro 1 se muestran las características generales de las maquinas analizadas.



Máquina de referencia



Máquina banco de pruebas

Figura 1. Ilustraciones de las máquinas en las que se realizaron mediciones de ruido y vibraciones.

Cuadro 1. Características de máquinas analizadas.

Característica	Máquina de referencia	Máquina banco de pruebas
Motor	Monofásico 2 HP Marca Weg 127 V – 60 Hz	Monofásico 1 HP Marca Weg 127 V – 60 Hz
Transmisión	Doble polea V	Una polea V
Desfibrador	Doble chumacera en tambor Tambor con clavos	Doble chumacera en tambor Diseño protegido
Velocidad de motor	1745 RPM	1745 RPM
Velocidad de tambor desfibrador	1 0 0 0 RPM aproximadamente	1 2 0 0 RPM aproximadamente
Paro de emergencia	No	Si

Metodología diseño DFX

Se realizó el modelado de la máquina de referencia (Figura 2), y posteriormente se aplicó la metodología DFX (Desing for X por sus siglas en ingles). Los usos de la metodología DFX pueden ser diversos según el interés del diseñador, entre los enfoques más comunes existen: diseño esbelto, optimizar el producto, aumentar la calidad del producto, mejorar la funcionalidad, diseño de ensamble para manufactura y automatización. La técnica seleccionada DFX se usó en este estudio como una herramienta de análisis comparativo, comúnmente utilizada para evaluar un nuevo producto o un producto ya existente, se centra en aquellos aspectos que son de especial relevancia para el diseñador.

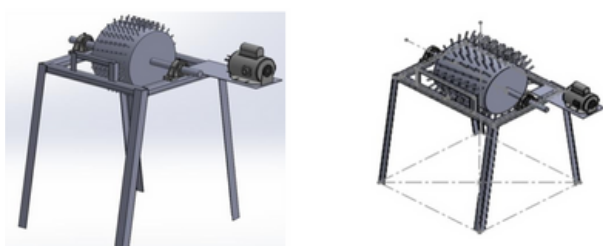


Figura 2. Ilustraciones del modelado de la máquina de referencia. Fuente: elaboración propia.

Para Rodríguez (1997), en el desarrollo de la técnica se deben de considerar algunos de los cuatro aspectos principales: funcionalidad, tecnología, aspectos comerciales y aspectos expresivos, cada uno de ellos constando a su vez de factores específicos que enseguida se enumeran.

Función: ligada a los aspectos del trabajo a realizar su eficacia y/o efectividad.

- Ergonomía
- Mecanismos

Tecnología: elementos que hacen posible la creación del producto.

- Materiales.
- Producción
- Costo

Expresivos: características que comunican el modo de uso.

- Perceptuales, color, textura, forma, proporción
- Culturales, connotativos de forma.

Comerciales: facilitan o posibilitan la venta de un producto.

- Distribución
- Expectativas del usuario

En base al autor Luis Rodríguez (1997), se define que para la aplicación de la técnica se deben establecer rangos de evaluación y factores a evaluar. Se propuso definir una rúbrica de evaluación, se establece la naturaleza del producto a evaluar en el caso de la máquina desfibradora de lechuguilla, se caracteriza como de naturaleza puramente funcional y práctica por ser un producto micro industrial y enfocado en la transformación de materia prima agrícola.

Establecido esto, se conservaron para la evaluación solamente tres de los aspectos principales a ser tomados en cuenta mediante la rúbrica: Ergonomía, función y tecnología. Dejando para un análisis más cualitativo los rubros de factores expresivos y comerciales.

La rúbrica de análisis ha tomado los siguientes aspectos a evaluar:

Ergonomía

- Comprensión de uso
- Secuencia de uso
- Protectores de seguridad
- Dispositivos de seguridad

Función

- Mecanismos
- Automatización
- Construcción

Tecnología

- Materiales
- Producción

A continuación, se presenta la rúbrica utilizada para la evaluación de la máquina de referencia, con

la indicación de cada parámetro evaluado en base a una escala ordinal. La rúbrica de la comparativa se presenta en 3 secciones, la primera es referente a la ergonomía (Cuadro 2). En el Cuadro 2 se puede apreciar la calificación de los cuatro parámetros de la categoría ergonomía evaluados, comprensión de uso con 4 puntos, secuencia de uso 2 puntos, apego

a la norma de protectores de seguridad 4 puntos, apego a la norma sobre dispositivos de seguridad con 2 puntos, en general tiene un promedio de 3 de calificación lo cual correspondería en la escala ordinal tipo Likert de un cumplimiento medio con los parámetros evaluados.

Cuadro 2. Evaluación de la categoría ergonomía.

Categorías de evaluación	Parámetros de evaluación	Elementos /criterios	Tabla comparativa DFX					Notas	Calificación ordinal
			5	4	3	2	1		
			Cumplimiento de cada parámetro de valor						
			Ó p t i m o - numérico 100	Suficiente- numérico 75	Medio- numérico 50	Exceso- numérico 25	Nulo- numérico 0		
Ergonomía	1.-Comprensión de uso (Intuitiva de interfaz, Topología de interfaz, Composición de Interfaz)	1.-Facilidad para el usuario en su manipulación y competencia en el manejo 2.-Facil para el usuario en el desarrollo del objetivo 3.-Facil para el usuario en poder recordar el uso de la maquinaria 4.- La información es presentada de manera que el usuario pueda comprenderla fácilmente 5.-El orden de las tareas requeridas puede ser fácilmente anticipadas por el usuario 6.- Existen señales o indicadores fácilmente identificables por el usuario para seguir la secuencia de actividades sugeridas de manejo	La interfaz cumple con las 6 características indicadas	La interfaz cumple con 4-5 características indicadas	La interfaz cumple con 3-2 características indicadas	La interfaz cumple con 1 característica indicada	La interfaz no cumple con las características indicadas	No cumple con el punto 1 y 2	4
	2.-Secuencia de uso (Puntajes acorde a método Rula)	1.- Paso: Frecuencia y tipo de de actividad 2.-Paso: Cargas o fuerza ejercidas en cada posición de la actividad 3.-Paso: Desarrollo de esfuerzos a partes del cuerpo involucradas en el movimiento	0 puntos en el método RULA no e x i s t e n riesgos de operación	1 o 2 puntos en el método RULA riesgo aceptable	3 o 4 puntos en el método RULA requiere cambios en la tarea	5 o 6 puntos en el método RULA se requiere cambios en la tarea	7 puntos en el método RULA requiere cambios urgentes en la tarea	6 puntos método RULA	2
	3.-Protectores de seguridad (Niveles de riesgo. Cumplir con NOM-004-STPS-1999-5.3.1. Los protectores son elementos que cubren a la maquinaria y equipo para evitar el acceso al punto de operación y evitar un riesgo al trabajador, así como un mal funcionamiento accidental)	1.-Protección total al trabajador 2.-Permite los ajustes necesarios en el punto de operación 3.- Permite el movimiento libre del trabajador 4.- Impide el acceso a la zona de riesgo a los trabajadores no autorizados 5.- Evita interferencia con la operación de la maquinaria y equipo 6.-Permite la visibilidad necesaria para efectuar la operación 7.-Señala su funcionamiento cuando no es evidente 8.- De ser posible debe estar integrado a la máquina y equipo 9.-Debe ser fijo y ser resistente para hacer su función segura 10.-No obstaculiza el desalojo del material de desperdicio	Los protectores cumplen con las 10 características de la NOM-044-STPS-1999-5.3.1	Los protectores cumplen entre 9-7 características de la NOM-044-STPS-1999-5.3.1	Los protectores cumplen entre 6-4 características de la NOM-044-STPS-1999-5.3.1	Los protectores cumplen entre 3-1 características de la NOM-044-STPS-1999-5.3.1	No tiene protectores que cumplan con las características de la NOM-044-STPS-1999-5.3.1	No cumple con los criterios 1, 4, 10. pertenece a la categoría Suficiente en el límite bajo 7.	4
	4.-Dispositivos de seguridad (Niveles de riesgo. Cumplir con NOM-004-STPS-1999-5.3.2. Son elementos que se deben instalar para impedir el desarrollo de una fase peligrosa en cuanto se detecta dentro de la zona de riesgo de la maquinaria y equipo, la presencia de un trabajador o parte de su cuerpo. La maquinaria y el equipo deben estar provistos de dispositivos de seguridad para paro de urgencia de fácil activación)	1.-Es accesible al trabajador 2.-Señala su funcionamiento cuando no es evidente 3.-Proporciona una protección total al trabajador 4.-Esta integrado a la maquinaria y al equipo 5.-Es de fácil mantenimiento, conservación y limpieza general 6.-Se encuentra protegido por el contrario una operación involuntaria 7.-Se debe prever que una falla en el sistema no evite su propio funcionamiento y que a su vez evite la iniciación del ciclo hasta que la falla sea corregida 8.-Cuando el trabajador requiera alimentar o retirar materiales del punto de operación manualmente y esto represente un riesgo, debe usar un dispositivo de mando bimanual, un dispositivo asociado a un protector o un dispositivo sensitivo Resiste el desgaste por el uso Los materiales y acabados soportan la corrosión que pudiera presentar por el entorno y/o proceso	Los dispositivos cumplen con 8-7 características de la NOM-044-STPS-1999-5.3.2	Los dispositivos cumplen con 6-5 características de la NOM-044-STPS-1999-5.3.2	Los dispositivos cumplen con 4-3 características de la NOM-044-STPS-1999-5.3.2	Los dispositivos cumplen con 2-1 características de la NOM-044-STPS-1999-5.3.2	No tiene dispositivos que cumplan con las características de la NOM-044-STPS-1999-5.3.2	Solo cumple con el punto 1 y 4	2

En el Cuadro 3 se observa la calificación de los tres parámetros de la categoría función evaluados, mecanismos con 5 puntos, automatización 2 puntos, construcción 5 puntos, en general tiene un promedio de 4 de calificación lo cual correspondería en la escala ordinal tipo Likert de un cumplimiento suficiente con los parámetros evaluados.

Cuadro 3. Evaluación de la categoría función.

Función	5-Mecanismos	Simplicidad en la cantidad de elementos que componen el mecanismo	6-10 piezas	11-15 piezas	16-20 piezas	21-25 piezas	26 o más	Pertenece a la categoría 5	5
	6-Automatización	Nivel de interacción humana	Automatización completa	Automatización solo para el operador	Automatización para el operador	Automatización para el operador	No tiene ningún proceso de automatización	La máquina pertenece a la categoría 2, nivel 3	2
	7- Construcción	Simplicidad en la cantidad de piezas de estructura	31-35 piezas	36-40 piezas	41-45 piezas	46-50 piezas	51 o más	Pertenece a la categoría 5, nivel 34	5

En el Cuadro 4 se observa la calificación de los dos parámetros de la categoría tecnología evaluados, materiales con 4 puntos, producción 4 puntos, en general tiene un promedio de 4 de calificación lo cual correspondería en la escala ordinal tipo Likert de un cumplimiento suficiente con los parámetros evaluados.

Cuadro. Evaluación de la categoría tecnología.

Tecnología	8-Materiales	Separa los esfuerzos generados durante la operación de la maquinaria	Cumple con las 3 características	Cumple con 2 de las características	Cumple con 1 de las características	Cumple parcialmente con una o varias de las características	No cumple con ninguna de las características	Pertenece a la categoría 4	4
	9-Producción	Los materiales y acabados soportan la corrosión que pudiera provenir por el entorno y/o proceso	Cumple con las 3 características	Cumple con 2 características	Cumple con 1 característica	Cumple parcialmente con una o varias de las características	No cumple con ninguna de las características	Pertenece a la categoría 4	4

Metodología medición de ruido y vibración

Las mediciones de ruido y vibraciones se realizaron en las instalaciones del Centro de Innovación y Diseño de la UANL. La evaluación de los niveles sonoros en dB(A), tercias de octavas y niveles de vibración, que están presentes en máquina de procesamiento de fibras.

Las mediciones de los niveles sonoros y de vibraciones se realizaron el día 13 de marzo del 2020, durante un horario de 13:55 a 14:50 horas. El equipo utilizado fue un sonómetro marca CESVA SC310, dotado de micrófono y acelerómetro. El sonómetro fue calibrado antes y después de las mediciones, no reportando variaciones. Las lecturas de nivel de ruido se hicieron en dB(A), en respuesta lenta y colocando el micrófono a la altura de la maquinaria a una distancia de 1 metro. Se midieron ubicaciones como el motor y tambor, así como condiciones sin y con carga.

Las lecturas de vibraciones fueron realizadas en dB y en m/s², colocando el acelerómetro en apoyos como chumaceras, rodamientos y algunas otras ubicaciones de la máquina. En la Figura 3 se muestran fotos de las mediciones y las máquinas.



Figura 3. Ilustraciones de toma de lecturas de vibraciones y ruido.

Resultados y discusión

Análisis de resultados metodología DFX

La metodología DFX se utilizó para la comprensión de los siguientes apartados solamente en la maquinaria de referencia analizada (Figura 4), no se realizó el análisis en el banco de pruebas, por la razón de no tener terminadas las innovaciones para evaluar. El resultado de cada parámetro se explica enseguida:

- Comprensión de uso, cumple lo necesario para interactuar con una interfaz de comunicación, composición y forma.
- Secuencia de uso, no cumple lo necesario para su fácil acceso, maniobrabilidad, usabilidad, etc., por tanto, se destaca como área de oportunidad de mejora, considerando lo siguiente en cuanto al sistema de análisis RULA, que aporta una serie de elementos que tienen que ver con su posición, peso, frecuencia, y otros.
- Protectores de seguridad, cumplimiento necesario de los protectores de seguridad en los

- niveles de riesgo en su operatividad, considerando incrementar los niveles de riesgo. Cumplir con NOM-004-STPS-1999 - 5.3.1 (Segob, 2001), entendiendo que los protectores son elementos que cubren a la maquinaria y equipo para evitar el acceso al punto de operación y evitar un riesgo al trabajador, así como evitar un funcionamiento accidental.
- Dispositivos de seguridad, no cumple lo necesario con los dispositivos de seguridad en los niveles de riesgo en su operatividad.
- Mecanismos, cumplimiento de la menor cantidad de elementos que componen el mecanismo.
- Automatización, no cumple con lo necesario para la automatización en nivel de interacción humana, por lo que se deberá considerar como área de oportunidad en cuanto a la posibilidad de tomar en cuenta la necesidad real de este aspecto en relación con su costo.
- Construcción, cumplimiento eficiente en la cantidad de piezas de la estructura para su construcción.
- Materiales, cumplimiento necesario de materiales adecuados para la operación y el entorno de la máquina.
- Producción, cumplimiento necesario de la facilidad de acceso a procesos de fabricación de la máquina.

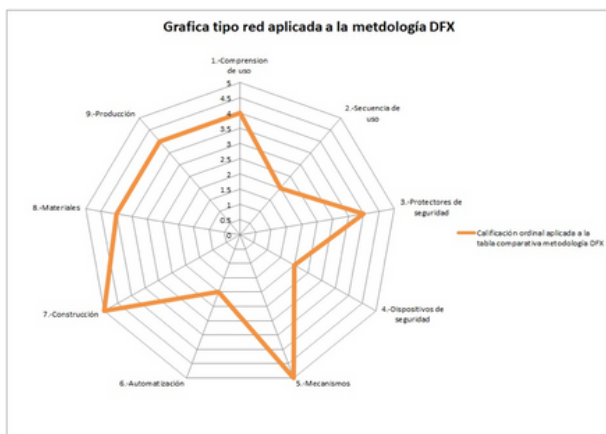


Figura 4. Gráfica tipo red aplicada a la metodología DFX a la máquina de referencia.

Análisis de niveles sonoros equivalentes

A continuación, se presentan en el Cuadro 5, los niveles sonoros equivalentes medidos en la máquina de referencia y la ubicación del micrófono

además de la condición en que se midió.

Cuadro 5. Resultados de las mediciones en la máquina de referencia.

Medición	Nivel sonoro equivalente Neq en dB(A)	Ubicación de micrófono	Condición
1	80.2	A 1 metro del área de proceso con la tapa puesta	Vacío
2	73.8	A 1 metro del área de proceso sin la tapa puesta	Vacío
3	82.4	A 30 cm del área de proceso con la tapa puesta	Vacío
4	82.3	A 30 cm del área de proceso sin la tapa puesta	Vacío
5	85.1	A 30 cm del área de proceso con la tapa puesta	Carga

A continuación, se presentan en el Cuadro 6, los niveles sonoros equivalentes medidos en la máquina del banco de pruebas y la ubicación del micrófono, además de la condición en que se midió.

Cuadro 6. Resultados de las mediciones en la máquina banco de pruebas.

Medición	Nivel sonoro equivalente Neq en dB(A)	Ubicación de micrófono	Condición
1	72.3	A 30 cm del área de proceso	Vacío
2	94.2	A 30 cm del área de proceso	Carga

*la máquina del banco de pruebas no cuenta con tapa por el momento

Análisis de niveles sonoros en tercias de octavas

En la Figura 5 se muestra espectro en tercias de octavas del ruido generado por el proceso de desfibrado en la máquina de referencia con carga.

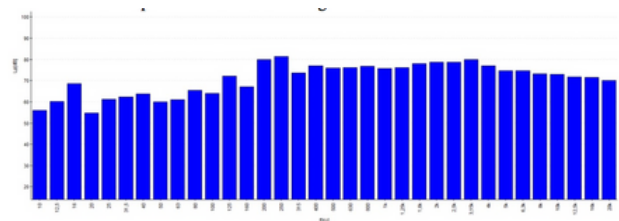


Figura 5. Espectro en tercias de octavas de ruido producido por proceso de desfibrado en máquina de referencia.

En la Figura 6 se muestra el espectro en tercias de octavas del ruido generado por el proceso de desfibrado en la máquina del banco de pruebas con carga.

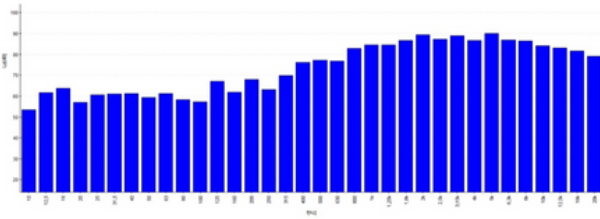


Figura 6. Espectro en tercias de octavas de ruido producido por proceso de desfibrado en máquina diseñada.

Análisis de niveles de vibración

A continuación, se presentan en el Cuadro 7, los niveles de vibraciones medidos en la máquina de referencia además de la condición en que se midió. La ubicación del acelerómetro se muestra en la Figura 7.

Cuadro 7. Resultados de las mediciones en la máquina de referencia.

MEDICIÓN	NIVEL DE VIBRACIÓN EN DB	Condición
A	87.6	Vacío
B	92.6	Vacío
C	90.1	Vacío
D	90.1	Vacío
E	93.8	Vacío
F	90.5	Vacío
G	87.5	Vacío

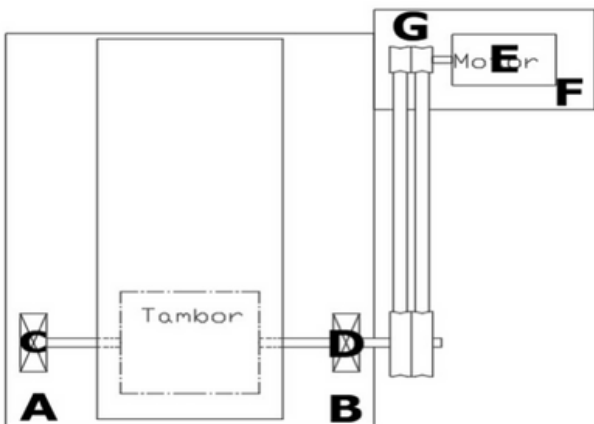


Figura 7. Resultados de las mediciones en la máquina de referencia.

En el Cuadro 8 se muestran los niveles de vibraciones medidos en la máquina del banco de pruebas, además de la condición en que se midió. La ubicación del acelerómetro se muestra en la Figura 8.

Cuadro 8. Resultados de las mediciones en la máquina del banco de pruebas.

MEDICIÓN	NIVEL DE VIBRACIÓN EN DB	Condición
H	103.2	Vacío
I	92.6	Vacío
J	96.8	Vacío
K	90.0	Vacío
L	96.4	Vacío
M	87.8	Vacío

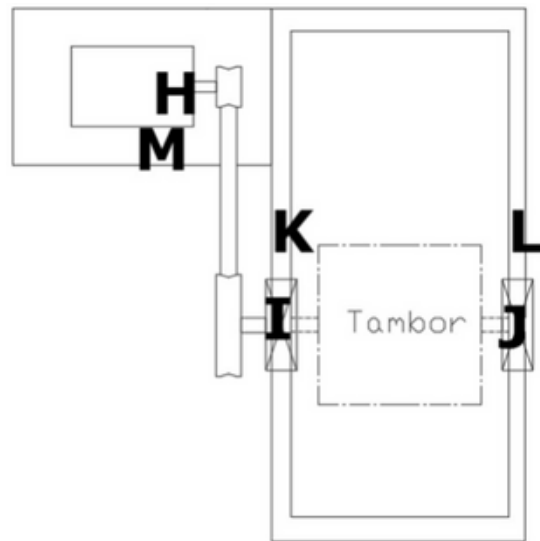


Figura 8. Ubicación de acelerómetro, vista superior de la máquina del banco de pruebas.

En el análisis de ruido:

- Se aprecia que la máquina de referencia produce mucho ruido en vacío (82.4 dB(A)), puesto que su estructura de lámina vibra generando ruido estructural, se notan deficiencia en las uniones soldadas y son sujetas a desprenderse por la vibración. La tapa es el elemento que más ruido genera.
- La máquina del banco de pruebas tiene valores más bajos en niveles sonoros operando en vacío (72.3 dB(A)), pero operando con carga sobrepasa los niveles generados por la máquina de referencia (94.2 dB(A)).
- Valores por encima de los 80 dB(A) son sujetos a evaluación por parte de la norma NOM-011-STPS-2001 (STPS,2002), “Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido.

- Secretaría del Trabajo y Previsión Social”
- Niveles de Exposición al Ruido superiores a los 90dB(A) disminuyen jornadas laborales de 8 horas por turno, procediendo a la evaluación del uso de tapones auditivos.

En el análisis de vibraciones:

- La vibración generada en la máquina de referencia y en la del banco de pruebas es similar, a diferencia que en el motor de la máquina del banco de pruebas se mostró un valor elevado (103 dB) por lo que se recomienda analizar el motor de dicha máquina (colocación, sujeción, alineación, etc).

Además, se hace una alusión de la diferencia marcada en la estructura y el tambor entre la máquina de referencia y la del banco de pruebas, por estar construidas con diferentes materiales y tener diferentes dimensiones, el primero consta de un molote de madera recubierta con lámina y clavos, y el segundo con una propuesta de rodillo de acero. El peso de ambos también es diferente, siendo más ligero el rodillo de metal en comparación con el de madera al incluir la flecha, y tener una estructura también más ligera para el soporte.

Conclusiones

En la utilización de la metodología DFX para encontrar los puntos relevantes que pueden dar una pauta en el rediseño del equipo técnicamente, se encontró que el equipo de referencia es susceptible de mejora en cuanto a los siguientes puntos:

- En seguridad de operación, los mecanismos que lo componen como la entrada y salida de la materia prima y el producto final.
- En cuanto a la velocidad de trabajo si se logra desfibrar dos cogollos a la vez, lo cual aumentaría la productividad.
- En aligerar la estructura en cuanto al tamaño de la maquinaria y las modificaciones que se logren realizar al rodillo desfibrador.
- En la capacidad del motor en función con el diseño de rodillo para desfibrar.
- En la forma de mantenimiento e inspección del proceso de desfibrado de la maquinaria.

Por otro lado, para el presente estudio, las mediciones realizadas bajo las condiciones descritas de ruido y vibración demuestran que se pueden realizar mejoras en el equipo bajo los

siguientes criterios:

- Analizar el diseño del tambor de la máquina del banco de pruebas, en caso de un rediseño volver a medir y de preferencia colocarle una guarda (tapa) que colabore en la disminución de niveles de ruido.
- En el caso de la máquina de referencia, hacer un rediseño con la estructura para que no genere tanto ruido y vibración, y aplicarlo al diseño del banco de pruebas.
- Hacer alineación de ejes de las máquinas para no generar vibración que este fuera de los rangos permisibles.

Con esta información se podrá empezar a proponer soluciones de mejora en una innovación al equipo estudiado.

Literatura citada

- Anónimo. (2012). Diseño y fabricación de prototipo de máquina desfibadora de Agave-Lechuguilla . Reporte de proyecto. México: Conacyt; <https://docplayer.es/29454712-Ficha-publica-del-proyecto.html>
- Castillo Quiroz, D., Berlanga Reyes, C., & Cano Pineda , A. (2005). Recolección, extracción y uso de la fibra de lechuguilla (Agave lechuguilla Torr.) en el Estado de Coahuila. Saltillo, Coahuila. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Saltillo. Publicación especial N° 6, Mexico. 13 p.
- Castillo Quiroz, D., Cano Pineda, A., & Berlanga Reyes, C. (2012). Establecimiento y aprovechamiento de lechuguilla (Agave lechuguilla Torr.). México: Comisión Nacional Forestal-INIFAP. https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Establecimiento_y_aprovechamiento_de_la_lechuguilla_Agave%20lechuguilla_Torr.pdf
- Espín, L., & Tello, J. (2015). Diseño y construcción de una desfiradora de hojas y pseudotallos para obtener material lignocelulósico a utilizar como refuerzo de polimeros. Ecuador. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/9221>
- Ixtlera Fibers. (29 de Abril de 2018). IXTLERA Fibers Around the World. Obtenido de IXTLERA Fibers Around the World: <http://www.ixtlera.com/products/>
- Mayorga, E., Rössel, D., Ortíz, H., Quero, A., & Amante, A. (29 de Abril de 2018). Análisis comparativo en la calidad de fibra de agave lechuguilla torr., procesada manual y mecánicamente. Obtenido de Agrociencia [en línea]: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30238209>
- Mayorga-Hernández, E., Rössel-Kipping, D., Ortiz-Laurel, H., Quero-Carrillo , A., & Amante-Orozco, A. (2004). Análisis comparativo en la calidad de fibra de Agave lechuguilla Torr., Procesada manual y mecánicamente. Agrociencia, 219-225.
- Pérez del Río, R., Caballero Caballero, M., Hernández Gómez, L. H., & Montes Bernabé, J. L. (2013). Diseño y construcción de una desfibadora de hojas de Agave angustifolia Haw. Ciencias Técnicas Agropecuarias, ISSN -1010-2760, RNPS-0111, Vol. 22, No. 4 (octubre-noviembre-diciembre), 5-14.
- Rodríguez Morales, L. (1997). Técnica para el análisis comparativo de productos. Universidad Iberoamericana. Cd. México. ISBN 968-859-307-9
- Rössel Kipping, , D., Ortiz Laurel, H., & Mayorga Hernández, E. (2003). Teoría Funcional de una Máquina Desfibadora de Lechuguilla (Agave lechuguilla Torr) de Tipo Tambor. Naturaleza y desarrollo. Vol. 1 Núm. 2, Julio-Diciembre, 25-33.
- S.C., K. K. (2009). Estudio orientado a identificar los mercados y canales de comercialización internacional para la oferta de productos de ixtle con valor agregado. México: integradora de ixtleros de Zacatecas S.A. DE C.V.
- SEGOB. (02 de 08 de 2021). PROY-NOM-004-STPS-2020, Maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo. Sistemas de protección y dispositivos de seguridad. Recuperado el 04 de 05 de 2021. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5611061&fecha=08/02/2021
- STPS. (17 de 04 de 2002). NORMA Oficial Mexicana NOM-011-STPS-2001, Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido. Recuperado el 04 de 10 de 2021. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=734536&fecha=17/04/2002