

Análisis y diseño de arado como una nueva alternativa para tractores agrícolas

Analysis and design of plow as a new alternative for agricultural tractors

VEGA-NEGRETE, Emmanuel, CÁRDENAS-MAGAÑA, Jorge, RUIZ-IBARRA, Guadalupe, JALOMO-CUEVAS, Jaime y GUDIÑO-LAU, Jorge

*Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez. Campus Tamazula
Instituto Tecnológico de Cd. Guzmán
Universidad de Colima*

ID 1^{er} Autor: *Emmanuel, Vega-Negrete* / **ORC ID:** 0000-0002-0073-5184, **CVU CONACYT ID:** 631161

ID 1^{er} Coautor: *Jorge, Cardenas-Magaña* / **ORC ID:** 0000-0001-9114-8550, **CVU CONACYT ID:** 200551

ID 2^{do} Coautor: *Guadalupe, Ruiz-Ibarra* / **ORC ID:** 0000-0001-8662-1892, **CVU CONACYT ID:** 903035

ID 3^{er} Coautor: *Jaime, Jalomo-Cuevas* / **ORC ID:** 0000-0003-0246-299X, **CVU CONACYT ID:** 36269

ID 4^{to} Coautor: *Jorge, Gudiño-Lau* / **ORC ID:** 0000-0002-0585-908X, **Researcher ID Thomson:** Q-6844-2018, **CVU CONACYT ID:** 122644

E. Vega, J. Cárdenas, G. Ruiz, J. Jalomo y J. Gudiño

emmanuel.vega@tamazula.tecmm.edu.mx

N. Zapata (Dr.). Ciencias agropecuarias y biotecnología. Proceedings-©ECORFAN-Mexico, 2019.

Resumen

En este artículo se muestra una problemática en la zona de Tamazula de Gordiano, en la que ha disminuido cultivo de caña para la elaboración de azúcar por motivo que los agricultores han emigrado a la siembra de otros cultivos en sus terrenos. Se pretende realizar un nuevo implemento para tractores agrícola con el fin de mejorar el proceso de producción de siembra de caña que nos permita elevar la materia prima para Ingenio Azucarero de Tamazula mediante la implementación de un nuevo tipo de surcado. Se propone el diseño y estudio de esfuerzo - deformación de la estructura mediante el software Autodesk Inventor, que nos permitirá realizar un prototipo para poder hacer la comparación con surcados existentes la viabilidad de esta propuesta.

Diseño, Esfuerzo - Deformación, Surcado, Implemento Agrícola, Autodesk Inventor

Abstract

This article shows a problem in the area of Tamazula de Gordiano, in which sugarcane cultivation has decreased due to the fact that workers have migrated to plant other crops on their land. It is intended to make a new agricultural implement for tractors in order to improve the production process of sowing cane that allows us to raise the raw material of the sugar mill of Tamazula through the implementation of a new type of furrow. The design and study of the software Autodesk Inventor, which allows us to make a prototype to be able to make the comparison with the current results.

Design, effort – deformation, Furrow, Agricultural Implement, Autodesk Inventor

Introducción

En los últimos años se ha anotada el cambio de cultivo por los agricultores en el área cañera de Tamazula de Gordiano Jalisco y alrededores, que comprende alrededor de 16 mil hectáreas de zona de abasto para la empresa, teniendo rendimientos promedios del orden de 135 a 140 toneladas por hectárea, lo que ha sido resultados de buenos incentivos para sus productores de esta zona de los municipios de Tamazula, Cd. Guzmán, Mazamitla, Sayula, Tecalitlán, Tuxpan, Gómez Farías y Zapotiltic.¹

Es por eso que se requieren métodos para el aumento de abasto de caña en la zona para obtener más beneficio en la industria aumentando la producción de azúcar y de los productores obteniendo más incentivos

En la actualidad existen dos tipos de surco para la plantación, el surco sencillo donde consiste en un solo hilo de planta en el surco, este ya está haciendo reemplazado por el sistema tipo piña o doble surco el cual ha dado mejores resultados para aumentar la población de plantas por metro lineal.

Para la elaboración de estos tipos de surcos de la siembra de caña se utilizan maquinaria de tractores agrícolas con implementos que cuentan con accesorios con una forma característica que durante el avance se va realizando el surcado.

La característica que tienen los surcados existentes son: para surco simple es un solo hilo de caña con una cintilla de riego al costado, para el surco piña o doble surco cuenta con dos hilos de caña con una cintilla de riego que pasa por el centro.

En este proyecto se busca la elaboración de un implemento para tractor agrícola que permita la realización de la forma de surcos en una parcela para la siembra de caña, de tal forma se pueda obtener una siembra de 4 hilos de caña que nos permita obtener una mayor población de plantas por metro lineal que los tipos de surcados que existen.

El funcionamiento de estos implementos es la formación del surco y la loma de tierra en un terreno con accesorios de un surcador con aletas. Este accesorio con el avance va abriendo el surco y las aletas desplazan la tierra a ambos lados

En la cultivación de caña para la elaboración de azúcar se siembran o plantan entre los surcos y una elevación continua de tierra bien triturada, que contribuye a facilitar el drenaje del riego. Su construcción puede ser manual con azadón, con arados o surcadores de tracción animal o con un implemento con surcadores conectado a un tractor.

Estado del arte

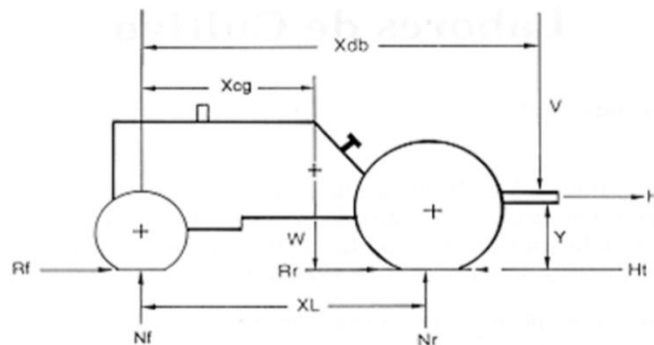
El ser humano interviene en el desarrollo natural del crecimiento vegetal y animal, entre otras cosas con máquinas e implementos agrícolas. Estos medios auxiliares mecánicos pueden diferenciarse, según las formas de accionamiento (fuentes de energía) en:

- Implementos manuales.
- Implementos tirados por animales.
- Implementos y equipos motorizados (motores de combustión interna y más raramente, eléctricos).

Por ello, el concepto de mecanización en su acepción más amplia, consiste en la utilización regular de máquinas y equipos en las actividades agrícolas, incluyendo las agroindustrias. (Revista CES 2009)

En la siguiente imagen se describen las características y dimensiones y fuerzas de un tractor. (CENICAÑA, 1985).

Figura 3.1 Metodología para diseño de prototipo



Donde:

- N_r Fuerza de reacción del suelo debido a la carga de las llantas traseras.
- N_f Fuerza de reacción del suelo debido a la carga de las llantas delanteras.
- R_f, R_r Fuerzas de resistencia al rodamiento debidas al suelo y a la deformación de las llantas.
- W Peso de la maquina sin incluir el peso del implemento de trabajo.
- H_t Fuerzas de tracción de las llantas sobre el suelo.
- H Fuerza de trabajo necesaria para mover el implemento del trabajo.
- V Fuerza vertical transferida por el implemento al tractor
- X_L Distancia entre llantas delanteras y traseras.
- X_{cg} Distancia entre el centro de gravedad y el eje delantero.
- X_{db} Distancia entre el eje delantero y el punto de acople del implemento.
- Y Altura efectiva del punto de acople del implemento.

Este proyecto se desarrolló en el software Autodesk Inventor Professional 2019 ya que nos permitió utilizar el método de análisis finito (FEA), que es un método computarizado para predecir cómo reaccionará un producto ante las fuerzas, vibración, el calor, el flujo de fluidos y otros efectos físicos del mundo real.

El método descompone un objeto real en un gran número (entre miles y ciento de miles) elementos finitos, como pequeños cubos, las ecuaciones matemáticas permiten predecir el comportamiento de cada elemento, y posteriormente una computadora suma todos los comportamientos individuales para predecir el comportamiento real del objeto. (Budynas & Nisbett, 2018).

El análisis de estrés por Von Mises nos permite determinar conocer los concentradores de tensiones, y se calcula de la siguiente manera:

$$K_s = \frac{\textit{Tensión máxima puntual}}{\textit{Tensión promedio puntual}} \quad (1)$$

Los factores concentradores de tensión, muy útiles para poder emplear metodologías de cálculo tradicionales sin incurrir en graves errores de representatividad del estado tensional. De manera que el estado tensional en un punto viene dado por la siguiente expresión:

$$\sigma_{Max} = K_C \sigma_{Nom} \quad (2)$$

Donde:

σ_{Max} Tensión normal tangencial que se pretende valorar en la zona concentradora.

K_C Coeficiente de concentración de tensiones.

σ_{Nom} Tensión nominal obtenida por el cálculo de resistencia de materiales.

Otro dato importante para la determinación de las características para el implemente fue estudiar el “coeficiente de seguridad” o “factor de seguridad” que es el valor resultante de la capacidad máxima de un sistema entre el valor de requerimiento esperado real al que se verá sometido.

Este facto es un índice de seguridad utilizado en la resistencia de los materiales y mecánica de estructuras, que indica la capacidad de exceso que tiene un sistema sobre sus requerimientos y que no debe ser mayor que 1. (Budynas & Nisbett, 2018).

Software Autodesk Inventor

Es un software para creación de piezas y conjuntos mecánicos, entre otros, así como la realización de los planos de despiece y de conjunto, además de la simulación de movimiento y montaje de los mismos.

Una vez diseñadas estas piezas el programa te permite realizar conjunto de todo tipo, pudiendo acceder a bibliotecas de piezas normalizadas, por ejemplo: rodamientos, tornillería de todo tipo, perfiles de acero estructural, etc.,

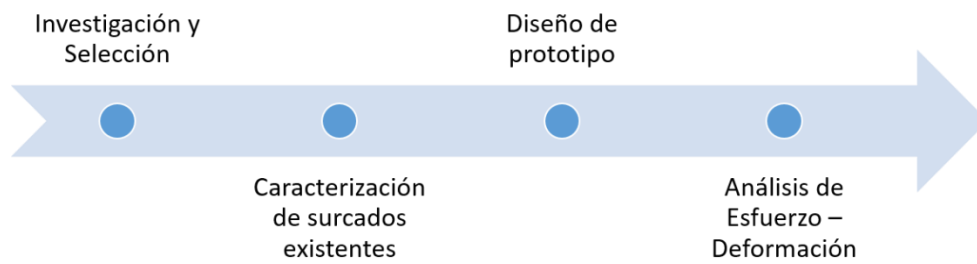
Una de las cosas importante que se eligió este software fue las herramientas que tiene para realizar el análisis de fuerzas en las diferentes partes de nuestro ensamble, pudiendo determinar el coeficiente de seguridad y diferentes parámetros de las piezas analizadas, que nos permite mostrar puntos débiles y de posible fractura.

Estas opciones nos permiten redimensionar las piezas y cambiar el material para que el ensamblaje y todos sus componentes tengan un coeficiente de seguridad suficiente. (Senabre & Valero, 2009).

Metodología

La metodología para esta investigación se ilustra en la Figura 3.2.

Figura 3.2 Metodología para diseño de prototipo



a. Conocimiento del área

Este proyecto tiene mucha relación con el área agrícola por lo que se requirió una investigación de documenta para ejecución del proyecto, que a continuación se ilustran:

- Investigación de tipos de surcados en cuanto dimensiones y tipo, que son, surco simple y doble.
- Los diferentes implementos de tractores para generar los surcados antes mencionados.
- Dimensionamiento de maquinaria de labranza para cultivo de caña.

El acero implementado en el software para el análisis de esfuerzo se utilizó el material **ASTM A588** por los requerimientos que son sometidos, que cuenta con características de alta resistencia y baja aleación para construcción electrosoldada, remachados o atornillados, que es una parte fundamental para la realización de un prototipo.

En los tipos de surcado nos encontramos para el surco simple las dimensiones de 1.40 mts de ancho y cuenta con un solo hilo de planta, que nos permite que la cosecha se realice mecánicamente sin dañar la plantación por el paso de la maquinaria. (Ambriz & Campos, 2006).

Figura 3.3 Cultivo de caña en surco simple



El surcado doble o como se le conoce surco piña, consiste en hacer dos hileras de plantas espaciadas entre ellas a 70 cm, por lo tanto, cada surco tendrá un ancho de 2.10 mts. Este tipo de surcado es de reciente incorporación a la zona cañera por la facilidad de manejo y beneficio.

Una de las principales ventajas es que los rendimientos de este surcado se elevan un 20% en comparación con el surcado tradicional (surdado simple).

Figura 3.4 Surcado tipo piña o doble

b. Parámetros de surcados

Los parámetros investigados para poder observar el comportamiento de los surcos tradicionales antes mencionados, se acudió a Ingenio Azucarero para realizar la consulta al inspector de campo Ing. Octavio Mata Cárdenas, donde nos dio conocer la cantidad aproximada de caña producida en un metro lineal del de los tipos de surcado.

Cabe mencionar que estas cantidades varían con respecto a factores externos, tales como: Daño de maquinaria cosechadoras, nutrición implementada, entre otros. A continuación, se ilustran los datos obtenidos:

Tabla 3.1 Parámetros de surcados tradicionales

Tipo de Surcado	Cantidad de caña/metro lineal	Toneladas por hectárea
Surcado Simple	12 – 15	100 – 130
Surcado Doble o Piña	20 - 22	120 - 180

c. Características de implementos para surcado

Los implementos agrícolas son utilizados para realizar labores de labranza para cultivos, en este caso el implemento utilizado para elaborar los surcos, se tomó como referencia un “Arado Mayor” como anteriormente se le conocía, en la actualidad se les conoce como “Arado de Vertedera”. A continuación, se describe tomando como referencia la forma que lo caracteriza. (Barba, 1896)

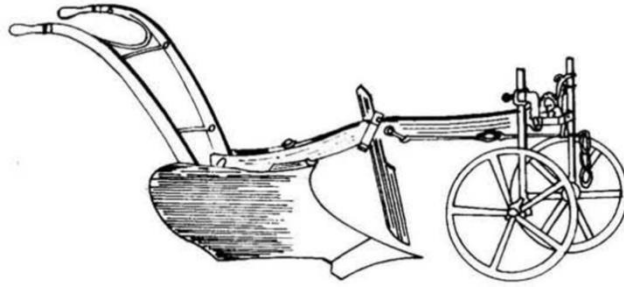
Están formados por una o más cuerpos, con la finalidad de realizar el corte y el volteo de una banda de suelo, cada cuerpo está constituido por:

- Una **reja**, que se encarga de realizar el corte horizontal,
- La **vertedera**, que realiza el volteo de la banda de suelo cortado.
- La **cuchilla**, que ayuda al corte vertical de la banda de suelo

Estos implementos utilizan en el área de trabajo una profundidad de intervención con el suelo y sobre todo una parte de las características que se deben tomar en cuenta seleccionar el tipo de vertedera, que son: helicoidal, universal y cilíndrica. Que determina el Angulo medio de la vertedera junto con la velocidad de avance, y esto dos parámetros nos dan el grado de pulverización del suelo (forma de surcado).

En la siguiente figura se muestra un tipo de arado con los que se inició a realizar este tipo de labranza.

Figura 3.5 Arado tipo vertedera



Experimentos y Resultados

a. Análisis de piezas del implemento

En esta sección se ilustra algunas de las piezas más importantes de toda la estructura que compone al implemento de surcado, donde se realizó el análisis de tensión Von Mises y el coeficiente de seguridad. En la siguiente figura se describe la pieza llamada “Mariposa” que es la que penetra el suelo a una distancia de 20 - 30 cm considerando una fuerza aproximada de 10 Toneladas - fuerza.

Figura 3.6 Parámetros para análisis de pieza mariposa

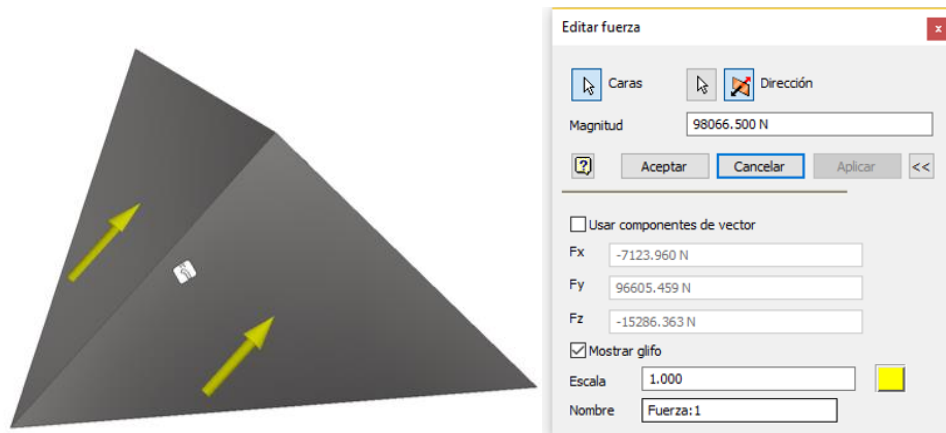
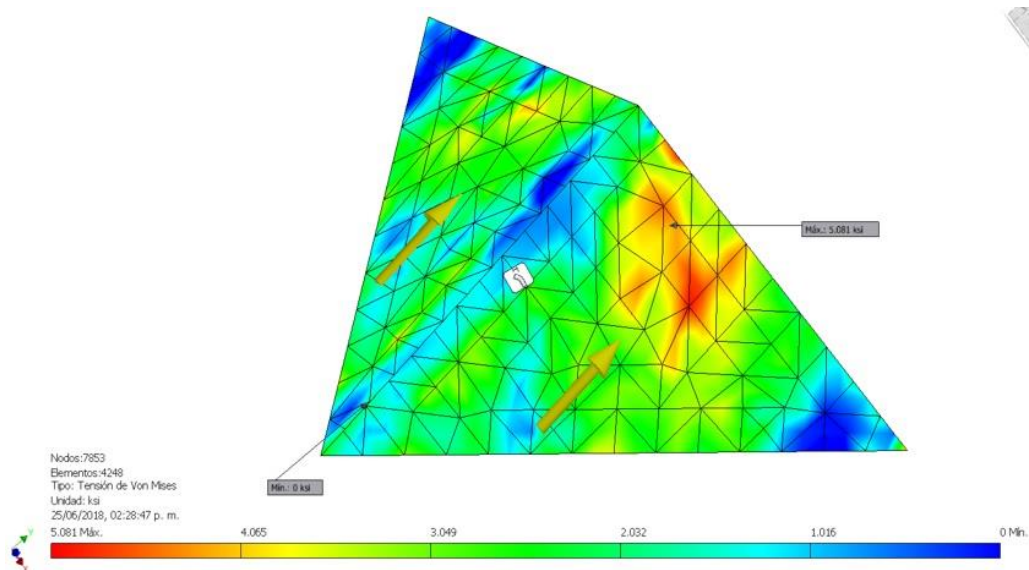


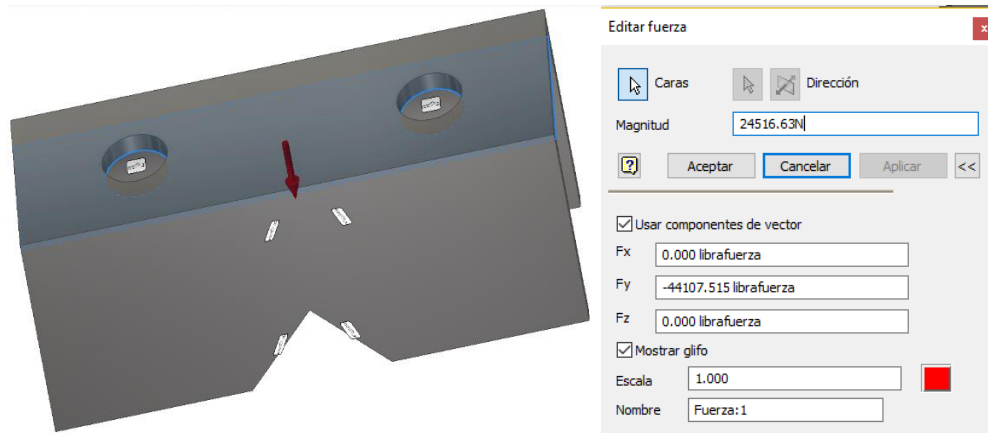
Figura 3.7 Análisis de Von Mises para mariposa



En la figura anterior se ilustra el comportamiento sobre el desgaste al que se estará sometida, teniendo como resultado con el análisis de Von Mises un punto mínimo de fluencia de hasta 50 ksi (345 MPa). Teniendo la zona naranja con más desgaste.

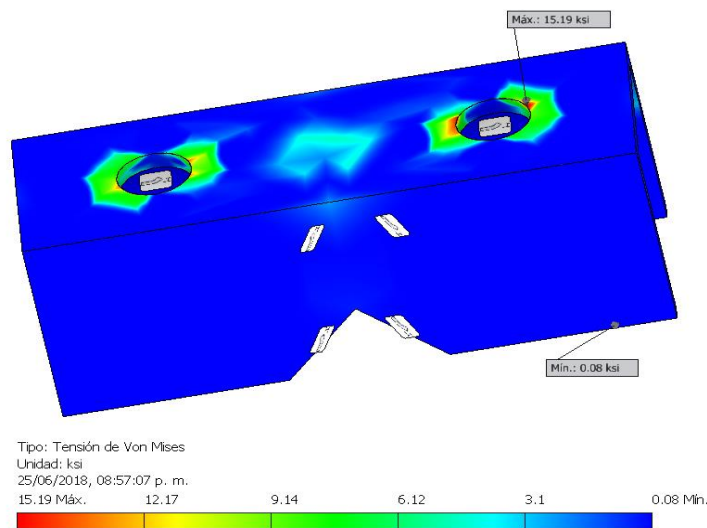
Para el análisis de la abrazadera se utilizaron los siguientes parámetros que se muestran en la siguiente figura:

Figura 3.8 Parámetros para abrazadera de sujeción



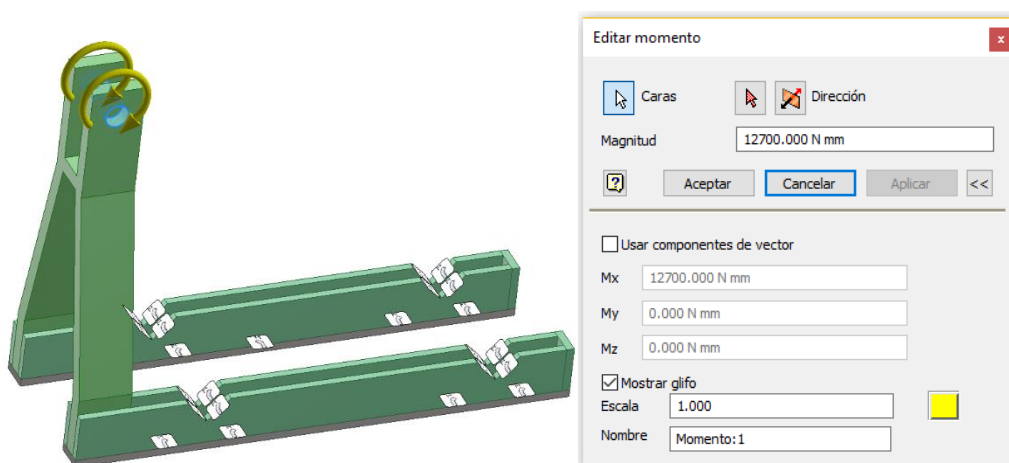
Para la figura 3.9, se muestra la zona de trabajo de la pieza “Abrazadera”, cuenta con dos orificios para dos tornillos de sujeción, teniendo una fuerza aplicada de 2.5 toneladas - fuerza. El análisis de Von Mises arrojó una tensión máxima de 15.19 ksi (104 MPa).

Figura 3.9 Análisis de Von Mises para abrazadera



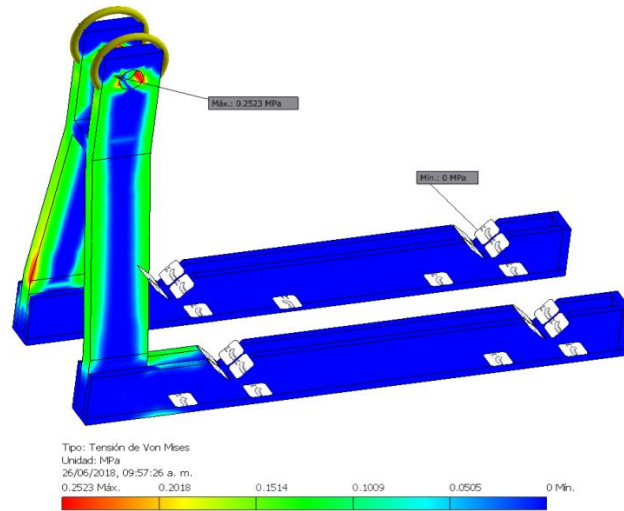
Para el análisis de la pieza Caballete, que una de las piezas fundamentales del sistema donde interactúan las fuerzas de tracción y de oposición de los componentes del arado, donde se utilizaron los siguientes parámetros que se muestran en la siguiente figura:

Figura 3.10 Caballete para soporte de estructura



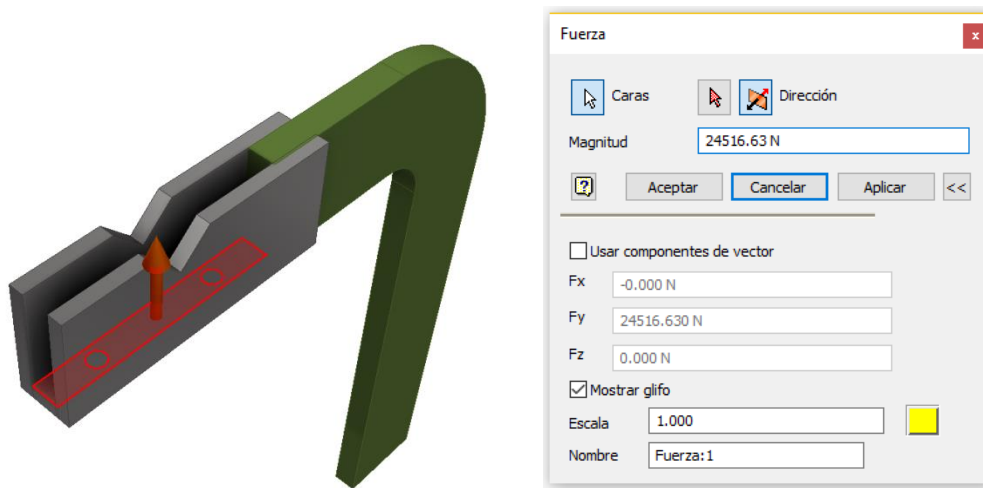
Considerando la figura 3.8, se muestra la pieza llamada “Caballete” que es una de las más importantes ya que es la que soporta la estructura y tiene un punto de unión por medio de un perno. La fuerza aplicada a este sistema individual fue aproximadamente de 2.5 toneladas – fuerza. Como resultado del análisis de Von Mises tenemos una tensión máxima de 252.3 KPa.

Figura 3.11 Análisis de Von Mises para abrazadera



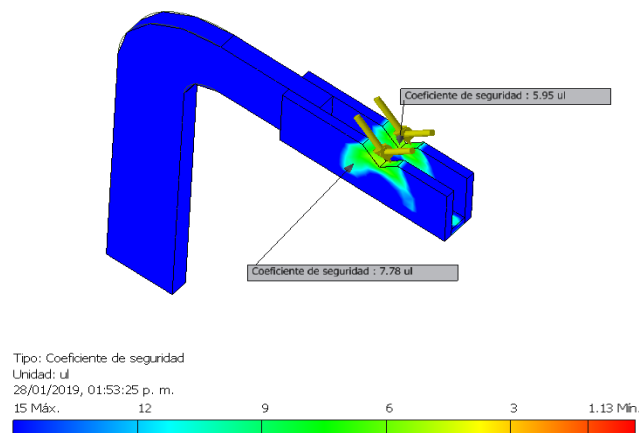
La siguiente pieza analizada fue el “Soporte para gancho”, teniendo una fuerza aplicada de 24.516 KN, en este gancho cuenta con la carga de las plumas, que es la que le da forma al surcado que se propone con este estudio.

Figura 3.12 Gancho para soporte de plumas



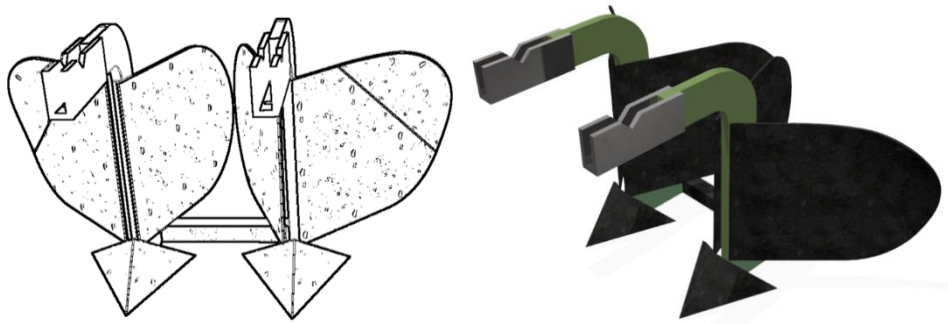
En el análisis y simulación del comportamiento de desgaste con el análisis de Von Mises tiene un valor máximo de 29.84 MPa, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 3.13 Análisis de Von Mises para soporte de plumas



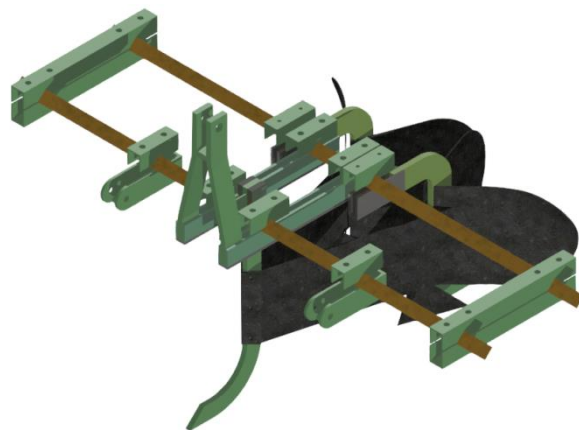
La principal investigación sobre el diseño, fue la realización de la pluma, que está, es la que da la forma del surcado requerido, que consta de placa con un medio círculo y que cuenta con la parte superior inclinada con un ángulo que nos permite dar la media sección del surcado.

Figura 3.14 Plumas para forma de surcado



La siguiente imagen muestra el conjunto de implemento con todas las piezas ensambladas.

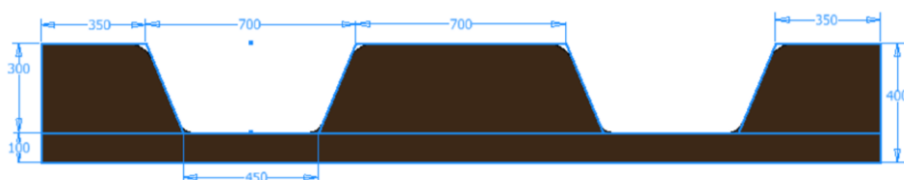
Figura 3.15 Implemento de surcado propuesto



b. Análisis de resultados

En la siguiente figura se puede observar la forma en una vista frontal del surco propuesto además de sus dimensiones en milímetros. Las referencias de estas medidas se consideraron en base al dimensionamiento de las maquinas que se utilizan para las labores agrícolas de la caña; sembradoras, cosechadoras y tractores.

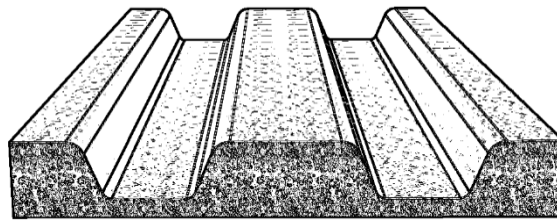
Figura 3.16 Dimensionamiento de surcado propuesto



Existen ciertas características que se diferencian con respecto a los surcados tradicionales, a continuación, se muestra una vista en perspectiva mostrando:

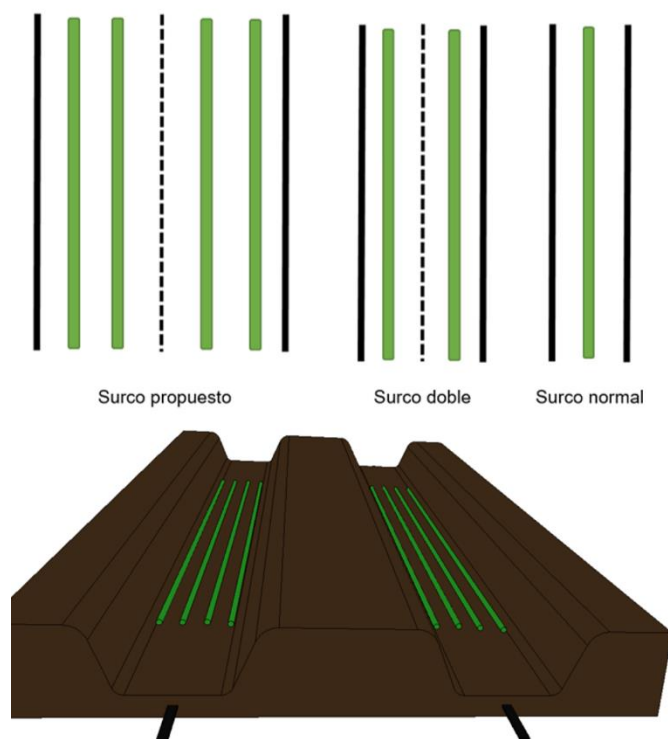
- La cama de la parte inferior, donde se debe colocar la siembra o los hilos de caña.
- La parte intermedia que se va formando por la trayectoria del tractor comúnmente llamada "loma", que se utiliza para tapan la siembra de caña.

Figura 3.17 Forma de surcado propuesto vista en perspectiva



Por último, se muestra la forma de siembra y posición de la semilla de caña, en la cama de los diferentes surcados, representando las líneas verdes como semillas, la línea punteada como cintilla de riego, las líneas paralelas color negro la dimensión de la cama, además se muestra en una vista en perspectiva del surcado propuesto.

Figura 3.18 Forma de siembra de surcado propuesto



Conclusiones y trabajos futuros

Este trabajo se realiza con la finalidad de proponer un sistema nuevo aplicado a la siembra de caña, se mostró el análisis de esfuerzo con el método de Von Mises y el análisis del coeficiente de seguridad, teniéndolo este mismo por debajo del índice permitido. El objetivo de este estudio es aumentar la población de planta en una siembra de caña.

El diseño de cada pieza y el análisis de esfuerzo con el software Autodesk Inventor nos permitió conocer el comportamiento del material, obteniendo las propiedades físicas de los materiales con la normalización requerida, que nos permitirán tener las bases para la construcción de un prototipo.

Como trabajo futuro se tiene la construcción de un prototipo, para realizar pruebas de funcionamiento y posibles ajustes. A continuación, se ilustran algunos trabajos relacionados:

- Construcción de prototipo.
- Implementación de forma de surcado y siembra de caña.
- Implementación de manejo agronómico de siembra propuesta y comparación con surcados existentes.

Con estos estudios relacionados nos permitirán tener la viabilidad del proyecto e implementación del implemento para la siembra de caña a nivel nacional.

Referencias

- Altos Hornos de Mexico (AHMSA). (2003). Manual de Diseño para la Construcción con Acero. Obtenido de ahmsa: www.ahmsa.com
- Ambriz C. Rafael; Campos H. Artemio. Agrícolas (2006). Tipos de Surcado para Caña de Azúcar en el Estado de Morelos. INIFAP. Zacatepec. Morelos. No. 9.
- B. J. Hamrock, B. Jacobson, & S. R. Schmid. (2000). Elementos de Maquinas. México, D.F.: McGraw-Hill.
- Budynas, R. G. & Nisbett, J. K. (2008). Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. México, D.F.: McGraw-Hill.
- Cortés M. Elkin; Álvarez M., Fernando; González S. Hugo. (2009). LA MECANIZACIÓN AGRÍCOLA: Selección y Administración de la Maquinaria para las Operaciones de Campo. Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia. Vol. 4, pp. 151-160. Medellín, Colombia.
- Porras Gutiérrez, V. J. Labores de Cultivo. En CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali, CENICAÑA, 1985. p. 179-189.
- Senabre B. Carolina; Valero V. Sergio; Velasco Emilio; Cuadrado Oscar. (2009) Diseño Mecánico con: Autodesk Inventor Paso a Paso. Editorial Club Universitario