

Diseño, simulación y análisis de un sembrador mecánico.

Design, simulation, and analysis of a mechanical planter.

Saúl de Jesús Molina Domínguez (1).

Docente del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

saul.md@tuxtla.tecnm.mx.

Juan Carlos Niños Torres (2). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,

juan.nt@tuxtla.tecnm.mx.

Ignacio Arrijoa Cárdenas (3). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,

ignacio.ac@tuxtla.tecnm.mx.

Fernando Alfonso May Arrijoa (4). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,

fernando.ma@tuxtla.tecnm.mx.

José Manuel Rasgado Bezares* (5). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,

jose.rb@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en noviembre 24, 2025; aceptado en diciembre 08, 2025.

En este proyecto se presenta el diseño de un sembrador mecánico enfocado a la agricultura chiapaneca que labora constantemente en el campo, siendo el cultivo y cuidado de este su actividad principal. El objetivo es desarrollar un sembrador mecánico apto para todo tipo de terrenos, pero en especial para suelo duro pedregoso y con pendientes, que en la región chiapaneca hay un gran número de terrenos con estas características, donde las sembradoras modernas no pueden entrar a sembrar, para el diseño virtual del prototipo se utiliza una adaptación de la metodología de diseño mecánico de compartimentos de semillas, tubo y resortes. El diseño propuesto es validado mediante simulaciones en SolidWorks y algunos otros programas de computadora, comprobando el rango de resistencia en las piezas presentadas. Además, se realiza el análisis de elemento finito para cuantificar esfuerzos y deformaciones en el ensamble completo, verificando la selección de materiales para su manufactura.

Palabras claves: Barreta, diseño virtual, elemento finito, luvisol, SolidWorks.

Abstract.

This project presents the design of a mechanical planter focused on Chiapaneca agriculture that works constantly in the field, with crop cultivation and care being its main activity. The objective is to develop a mechanical planter suitable for all types of terrain, especially for hard, rocky soil with slopes, as there are a large number of areas with these characteristics in the Chiapaneco region, where modern planters cannot enter to plant. For the virtual design of the prototype, an adaptation of the mechanical design methodology for seed compartments, tubes, and springs is used. The proposed design is validated through simulations in SolidWorks and some other computer programs, confirming the strength range of the presented components. Additionally, a finite element analysis is conducted to quantify stresses and deformations in the complete assembly, verifying the material selection.

Keywords: Bar for planting, finite element, luvisol, SolidWorks, virtual design.

1. Introducción.

La agricultura en México es considerada una de las actividades económicas más importantes ya que genera una gran cantidad de empleos en el país. El sector productivo más importante desde el punto de vista económico, social y ambiental ya que de él dependen millones de personas para su alimentación básica, una población activa creciente y se mantiene y cuida el medio ambiente.

La siembra y el cultivo en la actualidad cuentan con nuevos métodos de manera que se adaptan a diversos medios y condiciones ambientales. Por esta necesidad han surgido diferentes productos para ayudar en estos procesos incluidos las máquinas, existen máquinas que ayudan al llenado y sembrado de forma manual y semiautomática. El detalle de estas es el espacio que llegan a ocupar, así como el costo, mantenimiento y en ciertos casos hasta traslados nacionales e internacionales, como se puede observar en la figura 1.

Ante estos detalles negativos se llega a la necesidad de un nuevo diseño de sembrador con la finalidad de optimizar el tiempo de siembra, el costo y el tamaño de una máquina para sembrar haciendo un fácil uso práctico, también se reduciría la fatiga del campesino, aumentando su calidad de vida en el campo.

La siembra de forma manual al realizarse agujero por agujero es poco provechosa y requiere personas de gran experiencia en el ámbito de la siembra. Para esto se cuenta ya con diversas máquinas las cuales hacen el trabajo, pero la mayoría son de gran tamaño y significativo costo de adquisición y de mantenimiento, por lo cual se dio a la tarea de realizar el diseño y análisis de un sembrador mecánico con el cual se buscará disminuir el tiempo de sembrado al igual que el costo de producción, ya que el costo de mantenimiento será menor al de otras sembradoras grandes; también se mejoraría el rendimiento de las hectáreas cultivadas, obteniendo mayor rentabilidad.



Figura 1. El gran tamaño de maquinaria de siembra directa.

Tipos de agricultura.

En el neolítico se practicaba una agricultura itinerante (y que todavía hoy practican algunos pueblos primitivos), que consistía en abandonar las tierras una vez han sido agotados sus recursos y buscar nuevos suelos productivos. Actualmente la agricultura ha evolucionado hasta alcanzar carácter industrial, donde la ingeniería genética, química y tecnología mecánica juegan papeles fundamentales. Se tienen diversos tipos de agricultura a continuación, se mencionarán algunos, (Ortiz Cañavate), ver figura 2.

- Extensiva.
- Intensiva o industrial.
- Biológica.
- Parcelaria.



Figura 2. Tipos de Agricultura.

Sembradora.

La maquinaria para siembra o sembradoras es un grupo de máquinas empleadas para operaciones realizadas posteriormente a la preparación de tierras antes de que sean ejecutadas las operaciones de cosecha. La siembra consiste en la colocación en el terreno de cultivo de las semillas en las condiciones requeridas para su desarrollo, de acuerdo con estas condiciones tenemos diferentes tipos de siembra:

- Cultivo en toda la superficie: Se realiza cuando no es necesario dar labores durante toda o la mayor parte del tiempo de desarrollo de las plantas.
- Cultivo en líneas: Las plantas quedan colocadas en hileras, con el fin de dejar zonas libres para el paso de maquinaria.

Así también, la siembra tiene diferentes formas cómo realizarse: a voleo, en líneas o a chorrillo, a golpes y monograno, ver figura 3, (Ortiz Cañavate).

- Siembra de voleo.
- Sembradora en línea.
- Sembradoras a golpe y monograno.
- Sembradora fertilizadora tradicional mecánica de tiro animal.
- Sembradora manual de granos COA.



Figura 3. Sembradoras (Maquinac).

Grupos principales de suelos en México.

De acuerdo con el INEGI 2007, en México existen 26 de los 32 grupos de suelo reconocidos por el Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS, 2007). Dominan los Leptosoles (28.3% del territorio), Regosoles (13.7%), Phaeozems (11.7%), Calcisoles (10.4%), Luvisoles (9%) y Vertisoles (8.6%) que, en conjunto, ocupan 81.7% de la superficie nacional (SEMARNAT), ver figura 4.

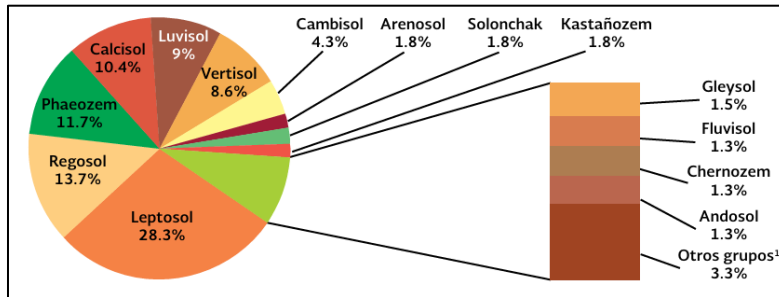


Figura 4. Superficie relativa de los principales grupos de suelo en México.

En México existe una gran diversidad edáfica representada por 26 grupos de suelo. Sin embargo, sólo seis de ellos, en conjunto ocupan el 81.7% del territorio. Algunas de las características de estos grupos principales se presentan a continuación: Los Leptosoles (del griego leptos, delgado), que se conocen en otras clasificaciones como Litosoles y Redzinas, son suelos muy delgados, pedregosos y poco desarrollados que pueden contener una gran cantidad de material calcáreo. Son los suelos de mayor distribución a nivel mundial (1 655 millones de hectáreas; IUSS, 2007) y están asociados a sitios de compleja orografía, lo que explica su amplia distribución en México. Estos suelos se encuentran en todos los tipos climáticos (secos, templados, húmedos), y son particularmente comunes en las zonas montañosas y en planicies calizas superficiales, como las de la Península de Yucatán. Su potencial agrícola está limitado por su poca profundidad y alta pedregosidad, lo que los hace difíciles de trabajar. Aunado a ello, el calcio que contienen puede inmovilizar los nutrientes minerales, por lo que su uso agrícola es limitado si no se utilizan técnicas apropiadas, por ello, es preferible mantenerlos con la vegetación original, (SEMARNAT).

Los Luvisoles (del latín luere, lavar) son suelos que se encuentran sobre una gran variedad de materiales no consolidados, tales como las terrazas aluviales o los depósitos glaciales, eólicos, aluviales y coluviales. Son muy comunes en climas templados y fríos o cálidos húmedos con estacionalidad de lluvia y sequía. Son comunes en bosques de coníferas y selvas caducifolias del Sur del país. Se encuentran dentro de los suelos más fértiles, por lo que su uso

agrícola es muy elevado y cubre, por lo general, la producción de granos pequeños, forrajes y caña de azúcar. Los Luvisoles se extienden por alrededor de 500 a 600 millones de hectáreas en el mundo (IUSS, 2007). En México, se encuentran en la Sierra Madre Occidental, Guerrero, Oaxaca, Campeche y la Península de Yucatán, entre otras regiones.

En México, sus colores más comunes son el negro o gris oscuro en las zonas centro y oriente del país y el café rojizo hacia el norte. Su uso agrícola particularmente de riego es muy extenso variado y productivo. Ocupan gran parte de los principales distritos de riego en Sinaloa, Sonora Guanajuato, Jalisco, Tamaulipas y Veracruz. Se utilizan para la producción de caña, cereales hortalizas y algodón. Tienen baja susceptibilidad a la erosión y alto riesgo de salinización. Para mayor comprensión véase la siguiente figura 5.

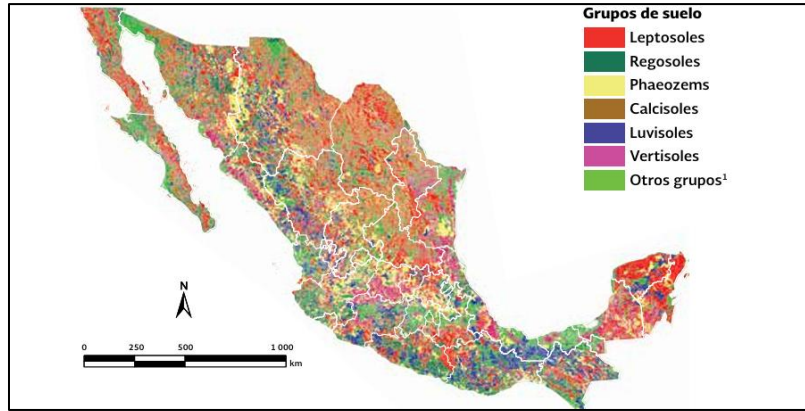


Figura 5. Principales grupos de suelo en México, 2007.

Principales tipos de suelos en Chiapas.

En la siguiente figura se puede observar la edafología del estado de Chiapas, en la cual se puede observar los diferentes suelos que predominan en cada parte de la antes mencionada, ver figura 6.

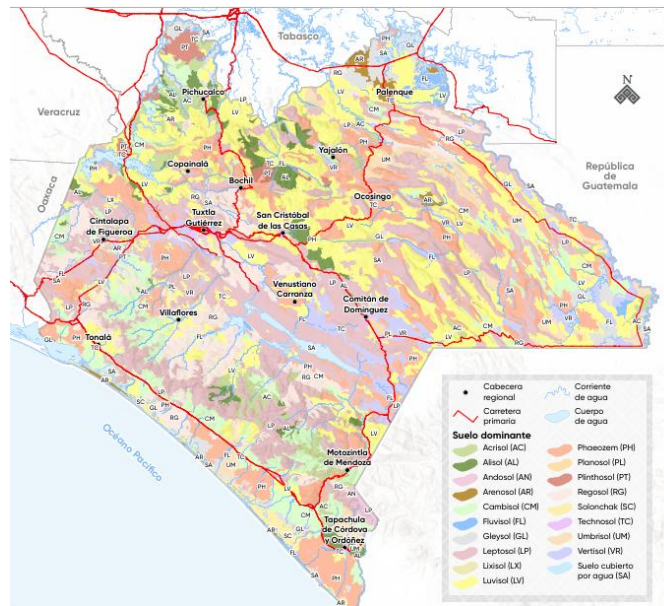


Figura 6. Principales grupos de suelo en el Estado de Chiapas.

- Leptosol Cálxico y Luvisol Gleyico. Suelo con acumulación de arcilla. Son suelos que se encuentran en zonas templadas o tropicales lluviosas como los altos de Chiapas y el extremo sur de la sierra Madre Occidental.
- Andosol y Acrisol Haplico. Ligeramente tierra negra. Suelos de origen volcánico constituidos por ceniza, la cual contiene alto contenido de alófono, que le confiere ligereza y untuosidad al suelo.
- Nitisol Haplico. Suelos de colores rojizos muy brillantes y enriquecidos de arcilla en todo su espesor, por lo menos hasta 150 cm de profundidad.
- Regosol Calcárico y Éutrico. Suelos con poco desarrollo y por ello no presentan capas diferenciadas entre sí. Son claros o pobres en materia orgánica, se parecen bastante a la roca que les da origen.
- Alisol Férrico. Son los Acrisoles que no son fuertemente húmicos, presentan propiedades férricas a menos de 125 cm de profundidad; no tienen plintita a menos de 125 cm de profundidad y no tienen propiedades gleyicas a menos de 100 cm de profundidad. Son conocidos por los agricultores como “tierras rojas” o “barros rojos”.
- Cambisol Vértico y Éutrico. Suelos jóvenes, poco desarrollados y se pueden encontrar en cualquier tipo de vegetación o clima excepto en las zonas áridas. Presentan una capa con terrones que presentan vestigios del tipo de roca subyacente y pequeñas acumulaciones de arcilla, hierro o manganeso y carbonato de calcio.
- Arenosol Cámbico. Se localizan principalmente en las zonas tropicales o templadas muy lluviosas del sureste de México. Vegetación variable. Textura gruesa, más del 65% de arena al menos en el primer metro de profundidad.
- Vertisol Éutrico. Tienen un porcentaje de saturación de bases determinada por acetato de amonio, de 50% o más, al menos entre 20 y 50% de profundidad; no presentan horizonte cálcico o gipsico. Reciben el nombre de “barriales” o “atascaderos” (CEIEG).

Como podemos observar hay muchos diseños de sembradoras para grandes y pequeños cultivos, pero en la realidad Chiapas cuenta con tierras donde no todo es planicie, son montañas rocosas, subidas y bajadas. Es por esto de la necesidad de diseñar el sembrador para terrenos donde no pueden entrar maquinas modernas.

2. Métodos.

Método de elementos finitos (MEF).

El Método de los Elementos Finitos es un método numérico de resolución de problemas de Mecánica de Sólidos que resulta de gran importancia por su utilidad práctica. Es una herramienta de cálculo muy potente que permite al ingeniero estructuralista resolver infinidad de problemas. Sin embargo, es un método que no proporciona la solución “exacta” a un problema dado, sino que, en realidad, posibilita obtener una solución aproximada que, con el juicio ingenieril que se le supone al calculista, puede ser más que suficiente para la resolución de un problema práctico.

El proceso de análisis de un problema físico mediante elementos finitos se muestra en la figura 7. La geometría puede ser definida por el analista o creada a partir de algún programa CAD. El segundo paso consiste en definir el modelo matemático a resolver. Este es el paso fundamental donde se especifica el tipo de ecuaciones a determinar, las condiciones de borde, propiedades materiales, y otros detalles acerca del método en sí mismo. Una vez efectuada dicha definición el programa resuelve automáticamente las ecuaciones pertinentes y provee los resultados en una forma apropiada para el analista, (De Castro P).

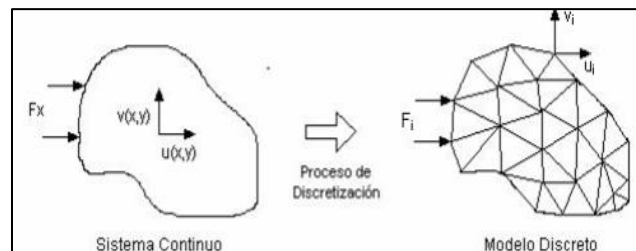


Figura 7. Modelación por elemento finito.

Su idea básica no puede ser más sencilla: dado un sólido, sometido a un sistema de cargas y coaccionado por unas ligaduras, el método consiste en subdividir el sólido en pequeñas partes (elementos) interconectadas entre sí a través de los nudos de los elementos, de manera que suponemos que, el campo de desplazamientos en el interior de cada elemento, puede expresarse en función de los desplazamientos que sufren los nudos del elemento (desplazamientos nodales); posteriormente, se podrá determinar la matriz de rigidez de cada elemento, las cuales una vez ensambladas (siguiendo los pasos del análisis matricial de estructuras), permitirán la obtención de los desplazamientos en los nudos de cada elemento. De esa manera, una vez conocidos dichos desplazamientos, podríamos determinar, de una forma aproximada como ya se dijo antes, las tensiones y las deformaciones en el interior del elemento.

Las posibilidades del método no sólo se limitan a casos bidimensionales, sino que también, permite analizar problemas tridimensionales: podemos analizar cualquier pieza de cualquier geometría, obteniendo el campo tenso-deformacional en su interior, y así luego poder comprobar que la pieza analizada cumple con los requisitos estructurales que esperábamos de ella. En general, en un problema a analizar por el Método de los Elementos Finitos, conoceremos las fuerzas exteriores aplicadas en algunos de sus nudos y los valores de los desplazamientos en otros (dependiendo de las ligaduras que posea el sólido, ver figura 8). La clave del método está en que, tras su aplicación, obtendremos una expresión del tipo, (De Castro P):

$$\{F\} = [K]\{u\} \dots\dots\dots \text{Ecuación 1.}$$

Donde:

- {F} = vector columna, conocido como vector de cargas, están todas las fuerzas exteriores (directamente aplicadas y reacciones producidas por ligaduras) que actúan sobre el sólido.
- {u} = denominado vector de desplazamientos nodales, que representa, de manera ordenada, todos los desplazamientos que experimentan los nudos del modelo.
- [K] = matriz de rigidez del sistema estructural, cuya formación constituye el “corazón” del método.
Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo.

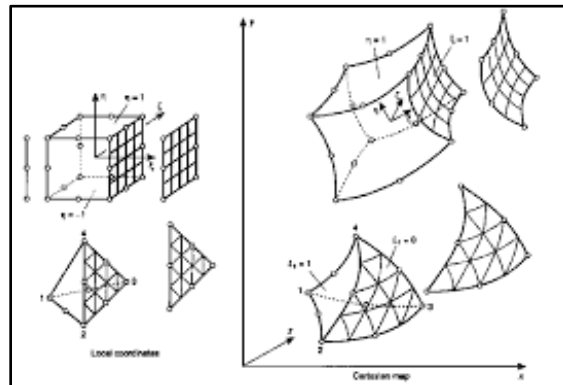


Figura 8. Casos tridimensionales con elementos finitos.

Como ya se ha comentado, se ha determinado que el criterio de tensiones que se utilizará será la teoría de la energía de distorsión o teoría de Von Mises, también se analizaron las teorías aplicadas sobre un elemento general de esfuerzo bidimensional, para determinar cuál será la más completa de forma global, y utilizarla para nuestro estudio. En la siguiente figura se muestra el estado tensional para un elemento de una pieza sobre un plano. A continuación, se mostrará los criterios considerados en la elección del análisis a fatiga. Como primera opción se ha escogido esta teoría por su interés histórico ya que sus predicciones no concuerdan con la experimentación y en algunas condiciones de esfuerzos, nos sitúa del lado de la inseguridad. Esta teoría establece que la falla se produce siempre que el esfuerzo principal mayor sea igual a la resistencia. También conocida como Teoría de Tresca (De Castro P). Establece que la fluencia del material se produce por el esfuerzo cortante, surgió de la observación de la estricción que se produce en una probeta cuando es sometida a un ensayo de tensión. La teoría dice: “La falla se producirá cuando el esfuerzo

cortante máximo absoluto en la pieza sea igual o mayor al esfuerzo cortante máximo absoluto de una probeta sometida a un ensayo de tensión en el momento que se produce la fluencia, ver figura 5”.

El esfuerzo cortante máximo absoluto es entonces:

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (1)$$

Por lo tanto, el esfuerzo cortante máximo absoluto es entonces para el ensayo de tensión al momento de la fluencia:

$$\tau_{max} = \frac{S_y}{2} \quad (2)$$

Según la teoría de Tresca, igualamos las ecuaciones 1 y 2 y tenemos:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{S_y}{2}$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = S_y \quad (3)$$

La ecuación 3 se utiliza cuando $\sigma_1 > \sigma_3$. En los otros casos:

$$\sigma_1 = S_y, \text{ cuando } \sigma_1 > \sigma_3 > 0$$

$$\sigma_3 = -S_y, \text{ cuando } 0 > \sigma_1 > \sigma_3 \quad (4)$$

En el plano $\sigma_1 - \sigma_3$, la teoría de Tresca se representa gráficamente como, ver figura 9:

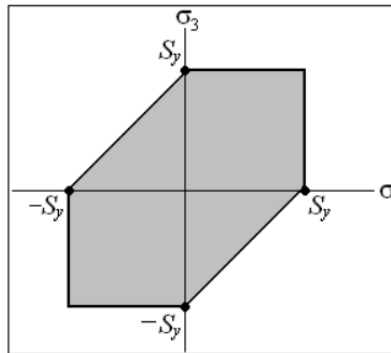


Figura 9. Representación gráfica de la Teoría de Tresca.

La falla se presentará cuando el punto determinado por los esfuerzos σ_1 y σ_3 , se encuentra fuera del área sombreada en la figura 3 (De Castro P.).

Teoría de la energía de distorsión o Von mises.

Esta teoría fácil surgió de la observación de que los materiales dúctiles sometidos a esfuerzos hidrostáticos (igual esfuerzos de tracción o compresión en todas las direcciones), tenían resistencias de fluencia muy superiores a los valores obtenidos por tracción simple. Se basa en suponer que la tensión a la que está sometido un elemento en estado de esfuerzo triaxial (a), en el que se produce cambio de volumen y distorsión, podemos descomponerlo en dos elementos distintos.

Elemento de estado de tensión hidrostática, en el que solo hay cambio de volumen (b). Elemento en el que se produce deformación angular sin cambio de volumen (c). Analizando la figura anterior, el trabajo efectuado en el cubo unitario de cada una de las direcciones principales es (Rivera Berri):

$$u_n = (\sigma_n * \epsilon_n)/2 \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

n=direcciones principales.

Así la energía total de deformación es:

$$u = u_1 + u_2 + u_3 = u_v + u_d = \left[\frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\mu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)}{2E} \right] \dots\dots (6)$$

Siendo:

E = módulo de elasticidad.

μ= coeficiente de Poisson.

u_v y u_d = energía de deformación que produce cambio de volumen y sólo deformación angular sin cambio de volumen respectivamente.

Podemos definir el esfuerzo medio hidrostático como:

$$\sigma_{med} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \dots\dots\dots (7)$$

Los esfuerzos restantes $\sigma_n - \sigma_{med}$ provocarán únicamente distorsión por lo que la cantidad de energía de deformación que sólo produce cambio de volumen es:

$$\mu_v = \left[\frac{1}{2E} \right] [3\sigma_{med}^2 - 2\mu(3\sigma_{med}^2)] \dots\dots\dots (8)$$

Por ello se obtiene que la energía de distorsión o deformación angular sin cambio de volumen sea:

$$u_d = u - u_v = \left(\frac{1+\mu}{3E} \right) \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right] \dots\dots\dots (9)$$

En el supuesto de un ensayo de tracción simple ($\sigma_1 = S_y$ y $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$) tendremos:

$$u_d = \left[\frac{1+\mu}{2E} \right] S_y^2 \dots\dots\dots (10)$$

Igualando, se define el punto de iniciación de fluencia que será:

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \dots\dots\dots (11)$$

Para un estado de esfuerzo biaxial tendremos:

$$S_{sy} = \sigma_1^2 - \sigma_2\sigma_1 + \sigma_2^2 \dots\dots\dots (12)$$

Para el caso de torsión pura:

$$S_{sy} = 0.577S_y \dots\dots\dots (13)$$

3. Desarrollo.

A continuación, se observa el primer prototipo realizado del sembrador mecánico cuyo objetivo es llevar a cabo sembrar de forma que se pueda ahorrar tiempo y esfuerzo humano al realizar dicha labor. El prototipo virtual fue realizado en un software comercial y se puede observar cada parte del mecanismo. ver figura 10.

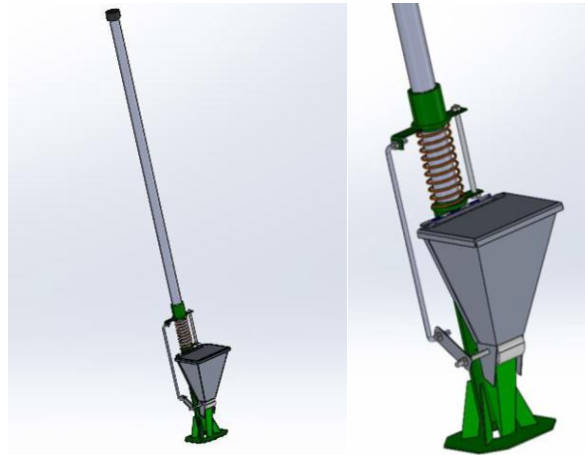


Figura 10. Vista detallada del mecanismo del primer prototipo diseñado.

El funcionamiento del primer prototipo es el siguiente: cómo se puede observar en la figura anterior a este sembrador se sujetaría de la parte superior, es decir del tubo o mango para después ejecutar la acción de sembrar lo cual significa golpearlo con el suelo para perforar la tierra y es aquí donde el mecanismo funciona para poder disipar las semillas de manera autónoma, el funcionamiento es el siguiente:

Al ejecutar la acción de sembrar lo primero que tiene contacto con el suelo es una pequeña base en la parte inferior del sembrador como se muestra a continuación en la figura 11.

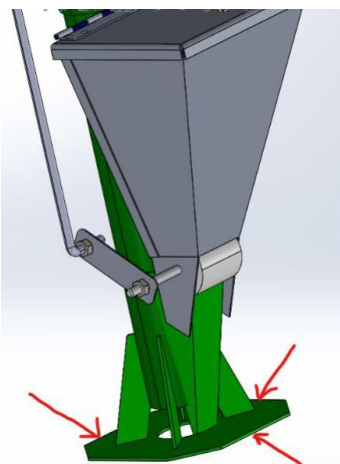


Figura 11. Parte del sembrador que golpea con el suelo.

Para después accionar el mecanismo el cual comienza por comprimir el resorte lo cual expone la punta de la barreta que perforara el suelo, por otra parte, la compresión del resorte accionara el mecanismo que dispensara las semillas que se desee sembrar ver figura 12.

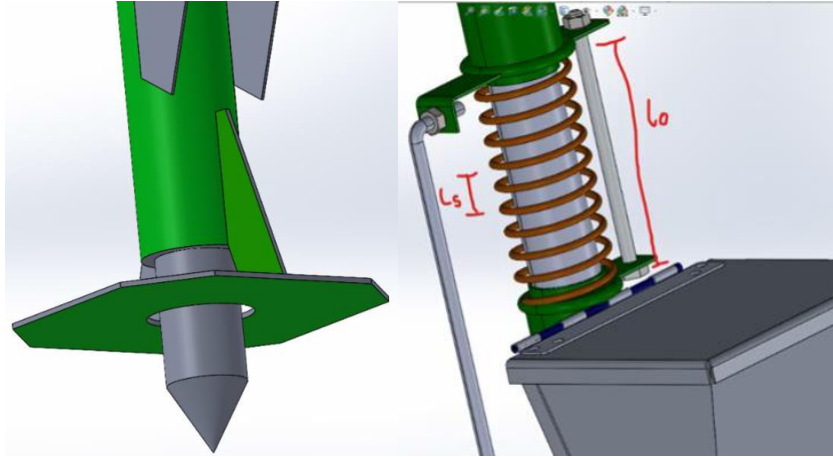


Figura 12. Punta de la barreta que entra al suelo y Posición inicial del resorte.

Posteriormente las semillas pasaran a una guía para finalmente caer al orificio provocado por la barreta y así ser guiada hasta la parte final, ver figura 13.

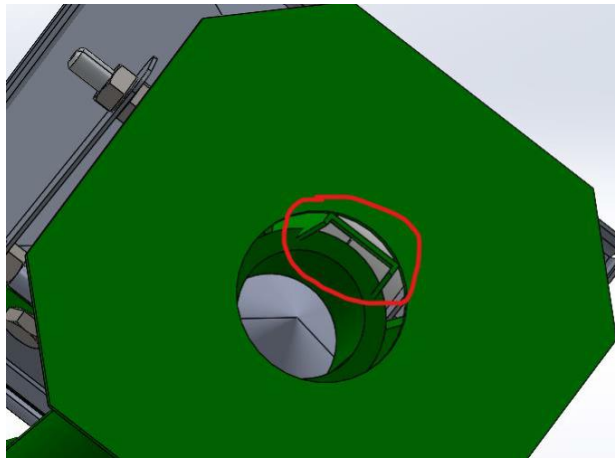


Figura 13. Guía para semilla.

Propuestas de mejora del sembrador mecánico.

Observando el sembrador mecánico ya ensamblado se pueden hacer ciertos análisis para que de alguna manera se pueda probar su funcionalidad en este caso al analizar dicho prototipo se detectaron algunas cosas que se pueden mejorar para que de alguna manera el sembrador pudiera ser más funcional.

Recomendaciones.

- En la primera propuesta se pretende cambiar la forma del depósito de semillas y reducir su tamaño ya que no se necesita que se lleve muchas semillas por lo que de manera externa habrá una machina abasteciendo se semillas cada vez que el depósito se valla vaciando, ver figura 14.
- Se observo que el Tamaño de los pernos no era suficiente así que cambiaron algunos diámetros y medidas.

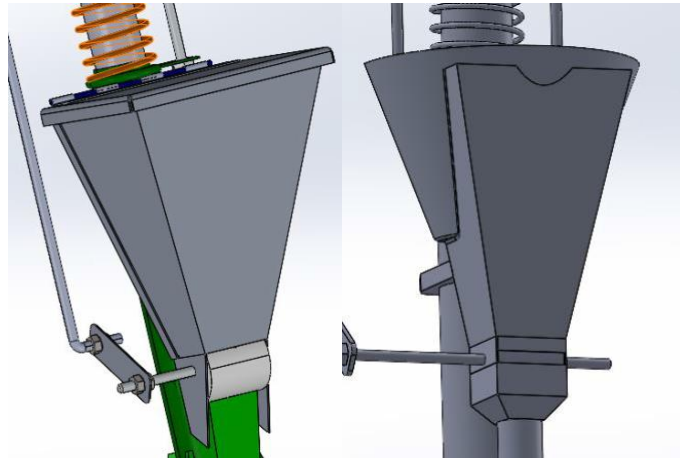


Figura 14. Depósito de semilla antes de remodelación y después de remodelación

- También se realizaron algunas modificaciones para las bases del resorte ya que también se le aumentó el diámetro a la barreta por lo tanto surgieron modificaciones en las bases.
- Consiste en cambiar la posición de la muesca en el tambor, este se encargará de rotar y dejar caer las semillas.
- Este cambio fue vital ya que se pretende cambiar el diámetro de la barreta que perforara el suelo y el diámetro anterior era muy pequeño así que se optó por hacer algunas modificaciones a las medidas de este.

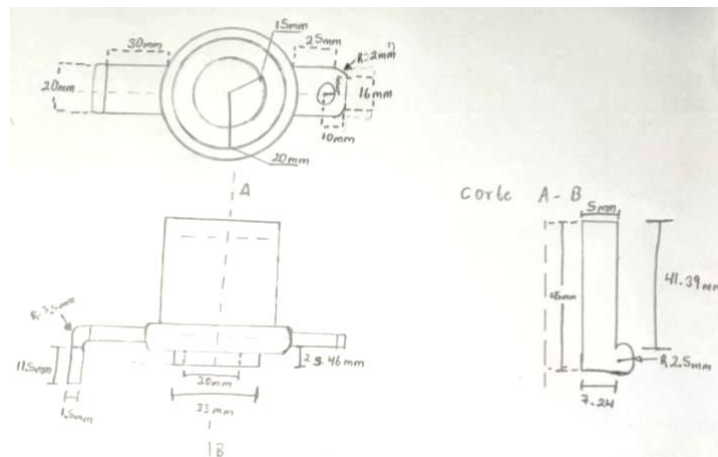


Figura 15. Cotas de la base.

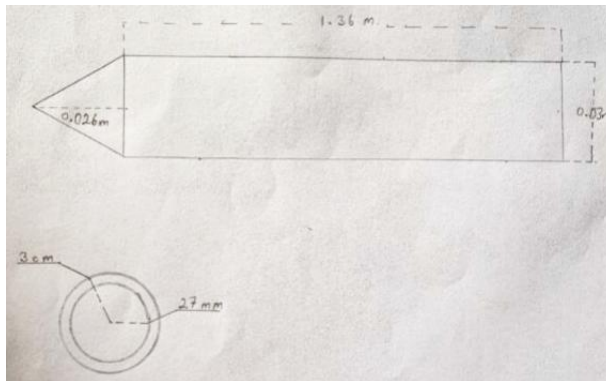


Figura 16. Medidas de barreta.

Propuestas de mejora del sembrador mecánico rediseñado.

Se optó por descartar la base que mantiene contacto con el suelo ya que consideraba un diseño deficiente y ahora se optó por una palanca que comprima el resorte y accione el mecanismo, ver figura 17.



Figura 17. Palanca para accionar el resorte.

También se pensó en subir o modificar la altura del depósito de semillas ya que anteriormente estaba hasta abajo, pero por condiciones de equilibrio se pensó en subir la altura de este, ver figura 18.

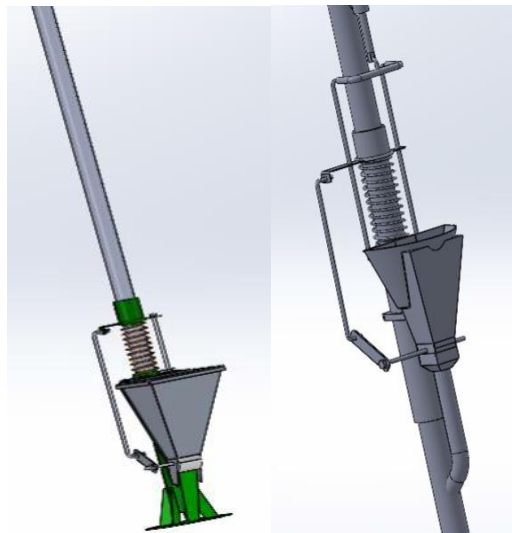


Figura 18. Depósito de semillas antes y después de la modificación.

Se le anexo un mecanismo para unir la parte de la palanca con la base inferior del resorte para efectuar el movimiento compresión de este. Se le agregó una ranura para que la guía de la semilla realice el recorrido provocado por la compresión del resorte, véase la figura 19.

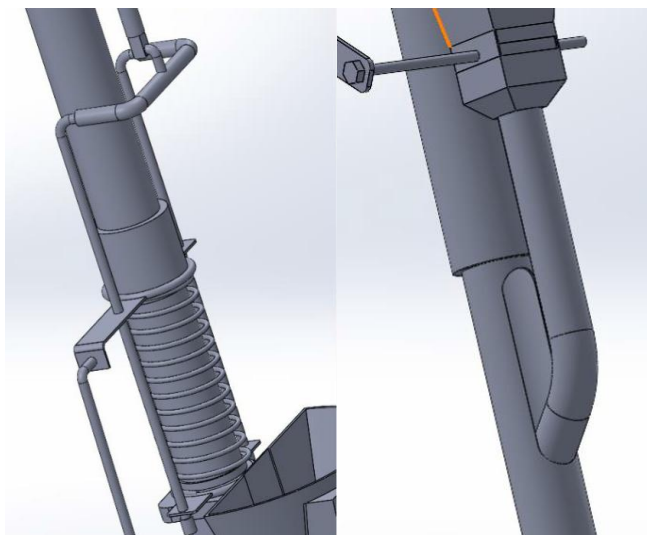


Figura 19. Mecanismo para realizar la compresión y ranura guía de semilla.

Modelado Final.

El ultimo diseño presentado del sembrador mecánico ha sido posible gracias a cada uno de los pasos seguidos durante la metodología ya que estos han sido claves para el desarrollo del prototipo que se rediseñó. Durante cada paso previsto, la construcción del prototipo mediante el software comercial SolidWorks, nos ha arrojado diversas características que son importantes para el análisis de la posible construcción del sembrador mecánico, ya que gracias a este software podemos darnos la idea del cómo se propagaran los esfuerzos en el mecanismo así como sus puntos críticos de máximo esfuerzo para que de esta manera se pueda diseñar de la mejor manera y elegir los materiales adecuados para que cumpla con su funcionamiento, ver figura 20.



Figura 20. Diseño final del sembrador mecánico.

A continuación, se presenta el prototipo final del sembrador mecánico sometido a un análisis estático para observar el comportamiento de los esfuerzos y deformaciones a los que se someterá, este análisis se hace con 3 fuerzas diferentes las cuales son 36 N, 64 N Y 125 N ya que se pretende que esto sea el rango de la fuerza a la que se someterá el sembrador en la práctica.

Modelado y análisis de sembrador mecánico, sometido a 36 N, 64 N Y 125 N.

Se observan las simulaciones de análisis estáticos del sembrador mecánico para una fuerza de 36 N de los cuales los resultados fueron:

1. Tensiones de Von Mises. (ver Figura 21)
2. Desplazamientos. (ver Figura 21)
3. Deformaciones unitarias. (ver Figura 22)
4. Desplazamientos (Y). (ver Figura 22)

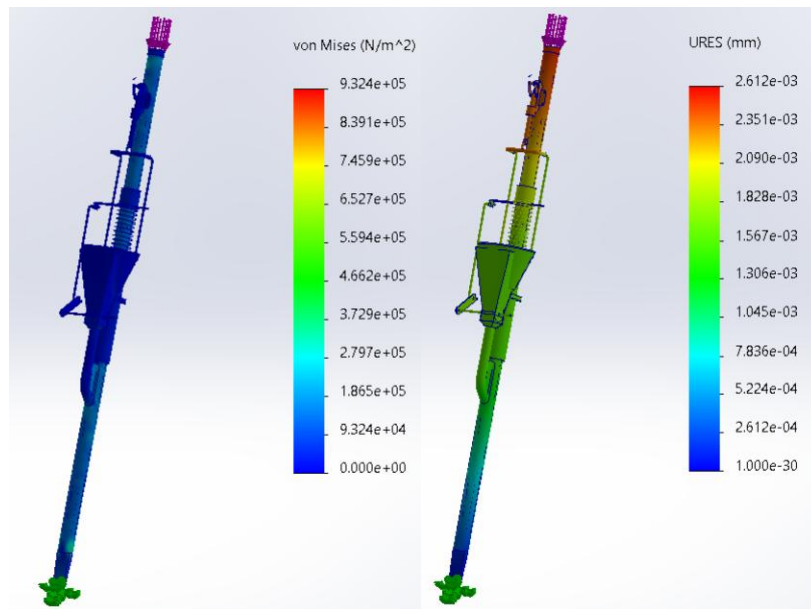


Figura 21. Tensiones de Von Mises y desplazamientos.

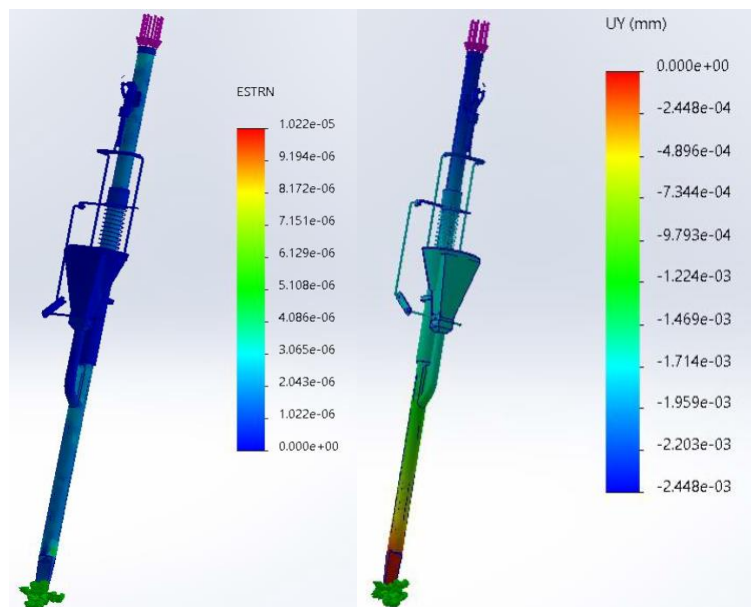


Figura 23. Deformaciones unitarias y desplazamientos en Y.

En los resultados obtenidos la barreta no sufre grandes deformaciones y esfuerzos, el material soporta las cargas asignadas a todo el ensamble.

Conclusiones.

Después de muchas propuestas de diseño finalmente pudimos optimizar uno de ellos y adecuarlo a las necesidades requeridas, este diseño fue posible gracias a una amplia investigación realizada sobre el tema de la agricultura ya que en este sembrador intervienen algunos mecanismos como la palanca y el mecanismo despachador de semillas que fue donde surgieron más detalles y se fueron mejorando cumplir con el objetivo del sembrador mecánico, otra problemática a la que nos pudimos enfrentar fue el tipo de suelo al que el sembrador debería tener aplicación ya que investigando sobre el tipo de suelos que existen en Chiapas nos dimos cuenta que este factor no es constante ya que existen suelos más suaves y a las ves también hay suelos más pedregosos por lo que para este último se debería aplicar más fuerza y eso fue un factor al elegir materiales ya que toda la estructura debe soportar los impactos requeridos para cumplir con la función que el sembrador fue diseñado. Después de todo esto podemos decir que se logró implementar con un diseño satisfactorio que cumple con nuestros objetivos antes propuestos.

Recomendaciones.

Si bien el diseño del sembrador mecánico ya es funcional, aún existen algunas posibles mejoras que pudieran facilitar aún más las tareas que conlleva la agricultura, a continuación, se presentan algunas de ellas.

- Palanca: de alguna manera se puede mejorar la ergonomía de la palanca que acciona el mecanismo disipador de semillas para que su uso sea más cómodo.
 - Materiales: aún podría mejorarse los materiales con los que está hecho con la intención de reducir más el peso del sembrador mecánico y su manipulación sea más cómoda.
- muy bien, complementando los conocimientos teóricos comprendidos en la escuela con los prácticos al diseñar el sembrador mecánico.

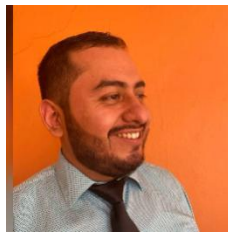
Referencias bibliográficas.

- CEIEG, Comités Estatales de Información Estadística y Geográfica, <https://www.ceieg.chiapas.gob.mx/storage/posts/productos/MAPESTEM/EDAFOLOGIA.pdf>
- De Castro P. Carlos A. *Teorías de falla bajo cargas estáticas.* <http://dim.usal.es/eps/im/roberto/cmm/Teorasdefallabajocargasestticas.pdf>.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103.* FAO. Roma. 2007. <https://www.fao.org/4/a0510s/a0510s00.htm>
- ORTIZ, J. (1989). *Las máquinas agrícolas y su aplicación.* España: Editorial Mundi Prensa. <https://es.scribd.com/document/528841172/322571994-Las-Maquinas-Agricolas-y-Su-Aplicacion-Escrito-Por-Jaime-Ortiz-Canavate-PDF>
- semarnat.gob.mx, https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_2008_ing/pdf/cap_3_suelos.pdf
- Rivera Berrí Juan G. *Resistencia de materiales, transformacio de esfuerzos y deformaciones,* Capitulo 2 y 6 (2023). Red educativa digital Descartes, Cordoba España. https://prometeo.matem.unam.mx/recursos/VariosNiveles/iCartesiLibri/recursos/Resistencia_de_Materiales/index.html.

Información de los autores.



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.



Juan Carlos Niños Torres, es Ingeniero Mecánico egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, cuenta con la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico de Celaya, así también con el Doctorado en Ingeniería Aplicada de la Universidad TENAM. Actualmente es Profesor Investigador del Departamento de Metal Mecánica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y jefe de la División de Estudios Profesionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Cuenta con el perfil PRODEP 2022-2025 como miembro del Cuerpo Académico Ingeniería Mecánica en la línea de investigación de Diseño Mecánico. Es miembro del comité de evaluadores del Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería (CACEI A.C.).



Ignacio Arrijoa Cárdenas, es profesor de tiempo completo y jefe de proyectos de docencia en el departamento de Metal-Mecánica 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 por Centro Mesoamericano de Física Teórica-Universidad Autónoma de Chiapas e Ingeniero Mecánico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.



Fernando Alfonso May Arrijoa, Licenciado en Ingeniería Mecánica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Maestro en Energías Renovables por la Universidad Politécnica de Chiapas y Doctorado en Ingeniería Aplicada en el Colegio de Formación Educativa Tenam. Profesor de Carrera Enseñanza Superior en el Departamento de Metal-Mecánica del TecNM/ITTG.



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.