

UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN
"Oscar Lucero Moya"
Facultad de Ingeniería
Centro de Estudios CAD/CAM

Trabajo de Diploma

*Estudio de la estructura portante
de la sembradora de granos del
municipio de Calixto García.*

Autor:

Guillermo Raciél González Ponce de León.

Tutores:

Dr. C. Ing. Remberto Julián Sánchez Alonso, Prof. Titular

MSc. Ing. Pavel Michel Almaguer Zaldivar, Prof. Auxiliar

Curso Regular Diurno

Holguín, 2015.

AGRADECIMIENTOS

A mi abuelo Guillermo Ponce de León una persona muy especial que está en el cielo y que siempre me inculcó los valores de un hombre, ya estoy cumpliendo tus sueños.

A mi papá Raciél González y mi mamá Sara Ponce de León que me lo han dado todo en la vida y han sido el motor impulsor para llegar aquí.

A mis abuelos Ideliso e Idelisa que me han criado con todo el cariño y lo mejor de este mundo.

A mi abuelita Emelina Escobar por su apoyo y su eterno cariño.

A mi dos tutores el MSc. Ing. Pavel Michel Almaguer Zaldivar y al Dr. C. Ing. Remberto Julián Sánchez Alonso, por la ayuda incondicional brindada ya que sin ellos nada de esto hubiera sido posible.

A mi novia Elena, la persona más especial de mi vida, que ha estado en cada momento de ella, sin importar cuál, aconsejándome y dándome las fuerzas para llegar aquí.

A mis amigos, que me han ayudado siempre sin mirar atrás, tendiéndome la mano cada vez que me hizo falta.

A mi hermanito, que es lo que más quiero en el mundo.

En fin a toda aquella persona que de una forma u otra me ayudó, compartió, o estuvo a mi lado en cierto momento.

PENSAMIENTO



“La Magnitud de lo que logramos, no depende de lo que tengamos para hacerlo, sino de la intención y de lo que sepamos hacer con lo que tenemos”.

Ernesto Che Guevara.

RESUMEN

La presente investigación refleja los resultados obtenidos de los análisis realizados a la estructura portante de la sembradora de granos ubicada en el municipio Calixto García en Holguín, con el objetivo de determinar el estado tensional-deformacional de la misma. Estos estudios fueron obtenidos mediante el método de los Elementos Finitos, utilizando el software SolidWorks 2014, y el complemento Simulation contenido en ese software. De esta forma se obtuvieron las tensiones de Von Mises y los desplazamientos para determinar las zonas peligrosas de la estructura estudiada.

ABSTRACT

The present investigation shows the results obtained from the analyses accomplished to the ambling structure of the sower of grains located in the Calixto Garcia municipality, in Holguín, with the objective to finding the stress-strain state of the same. These studies were obtained by means of the method Finite Elements. The complement Simulation, present in the software SolidWorks 2014 was used. In this way it permits to visualize the results of the stress and displacement distributions, being able to know where the maximum and minimum values are reached in the dangerous areas of the structure object of study.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE.	6
1.1 Introducción al capítulo.....	6
1.2 Mecanización de la agricultura.....	6
1.2.1 La mecanización en la etapa revolucionaria.....	7
1.3 Análisis funcional de la maquinaria agrícola.....	8
1.4 Estudio de operaciones agrícolas.....	9
1.5 Sembradoras de granos.....	11
1.5.1 Tipos de sembradoras de granos.....	11
1.5.2 Componentes de una sembradora de granos.....	15
1.5.3 Características y principio de funcionamiento de la sembradora de granos del municipio de Calixto García.....	17
1.6 Método de los Elementos Finitos.....	18
1.6.1 Software para la obtención del modelo (SolidWorks).....	23
1.6.2 Análisis con el empleo del software SolidWorks/Simulation.....	26
1.6.3 Análisis de diseño.....	27
CAPÍTULO II. MODELACIÓN Y ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA PORTANTE DE LA SEMBRADORA DE GRANOS.	33
2.1 Introducción al capítulo.....	33
2.2 Definición del modelo geométrico.....	33
2.3 Características de los materiales.....	34
2.4 Cálculo de las cargas que actúan en la estructura.....	35
2.5 Restricciones del modelo.....	38
2.6 Mallado del modelo (convergencia del modelo).....	39
2.7 Resultados.....	42
2.8 Valoración económica.....	44
2.9 Valoración ambiental.....	45
CONCLUSIONES	46
RECOMENDACIONES	47
BIBLIOGRAFÍA	48

INTRODUCCIÓN

Hace mucho tiempo, en los inicios del ser humano, una de las principales actividades que este realizó para su existencia y desarrollo fue la agricultura; la cual evolucionó a partir de la recolección, la caza y la pesca. Las razones que conllevaron al desarrollo de esta actividad pudieron ser: cambios climáticos, variaciones en las temperaturas, escasez de caza o alimentos de recolección, o desertización de amplias regiones [1].

Es considerada el arte del cultivo y explotación de la tierra con el objeto de obtener productos con fines humanos. Existen variadas disciplinas y toda una infraestructura agrícola, científica e industrial alrededor de estas actividades. Se incluyen en estas prácticas el estudio, acondicionamiento de las tierras, cultivo, desarrollo, recolección, transformación, distribución, etc. Entre las variadas producciones agrícolas, se distinguen algunos productos muy importantes para el consumo humano, tales como los cereales, trigo, maíz, frijoles, arroz, etc. [2].

Debido a las necesidades del hombre encontradas en el trabajo de la agricultura, surgen las primeras herramientas para facilitar su desarrollo, donde se pueden destacar las hoces para recoger el grano, azadas para cavar la tierra, e incluso arados rudimentarios a base de ramas de árboles convenientemente modificadas para levantar y voltear la tierra a mano, con el objetivo de prepararlas para la siembra [2].

Hoy en día todo ese trabajo y preparación de la siembra es centralizado en la mecanización agrícola, que es el proceso de utilización de la maquinaria, permitiendo la multiplicación de la productividad del trabajo por 20, a veces por 70, y hasta por 100. En los tiempos modernos, la maquinaria motorizada ha reemplazado muchos trabajos antes realizados por hombres, o animales como vacas, caballos y mulas. La mecanización fue uno de los factores responsables de las economías industriales, debido a la mejora de la eficiencia de la producción y la producción a gran escala con una elevada calidad de los

productos agrícolas. Por otra parte, desplaza la mano de obra agrícola no calificada [3].

Actualmente el principal problema que tiene el agricultor para mecanizar su explotación es el factor económico, no menos preocupación supone el no realizar las inversiones necesarias y quedarse en inferioridad respecto del resto de los otros agricultores, incurriendo, a veces, en un efecto social de imagen, además de poder incurrir en una falta de competitividad. Sin embargo, tampoco se puede ignorar la repercusión medio-ambiental que ha tenido este proceso intensivo de mecanización en el suelo, provocando un deterioro paulatino de éste y de su estructura, así como un aumento progresivo de la erosión que inciden fuertemente en los rendimientos y por ello, en la rentabilidad del agricultor. Todo ello, y los profundos cambios agrarios que se están produciendo, hacen que la mecanización sea un elemento, dentro de la agricultura, de gran interés y justifiquen su estudio [4].

La mecanización en Cuba es una obra de la Revolución; en 1959 había más de 9000 tractores de muy baja potencia, por lo que la absoluta mayoría de las labores de campo se realizaban con bueyes o a mano, con implementos rudimentarios. Una de las primeras medidas tomadas fue el comienzo de suministro de tractores y otras máquinas agrícolas a los campesinos y las organizaciones de cooperativas para un mejor aprovechamiento de las tierras nacionalizadas a los latifundistas [6].

Desde los primeros años se contó para ello con la ayuda de la extinta Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas y de otros países del campo socialista en el suministro de maquinarias y otros insumos mediante relaciones equitativas y de mutuo beneficio. Fruto de esta colaboración se aprobaron e introdujeron en Cuba nuevas líneas de máquinas desconocidas, como son las cosechadoras de hortalizas, acanteradores y cultivadores múltiples, equipos para la cosecha, manipulación y trasportación de frutos en cajas, paletas, etc. [6].

En la actualidad, debido a la situación económica y del bloqueo, el sector particular no puede mecanizar su trabajo con máquinas de primera tecnología para mejorar su productividad y eficiencia, lo que ha provocado la oportunidad de la innovación, debido al trabajo y necesidades que se le presenta en su labor al agricultor.

Un ejemplo de los aportes del agricultor cubano, dada la situación planteada en el párrafo anterior, es la innovación de la sembradora fertilizadora-tapadora de diferentes tipos de granos del municipio de Calixto García en Holguín. La misma fue creada con los medios y recursos disponibles del campesino (materias primas desechadas), es decir no se tuvo en cuenta ningún cálculo de diseño o selección de materiales adecuados, lo que trae consigo a menudo problemas de rotura. Teniendo en cuenta todos estos factores se plantea la siguiente **situación problemática**: la sembradora fertilizadora-tapadora de diferentes tipos de granos se construyó a partir de materiales escogidos a priori, sin realizar ningún cálculo de diseño; lo cual significa que su construcción se ve afectada por la utilización de materiales inadecuados.

Problema de investigación: No se conoce el estado tensional y deformacional que surge en la sembradora de granos para juzgar sobre la utilización correcta del material.

Objeto de estudio: La estructura portante de la sembradora de granos.

Campo de acción: El estado tensional y deformacional de la estructura portante.

Hipótesis: Si se calcula la estructura portante de la sembradora de granos, utilizando el Método de los Elementos Finitos; será posible conocer el estado tensional y deformacional de la máquina.

Objetivo general: Determinar el estado tensional-deformacional de la estructura portante de la sembradora de granos.

Objetivos Específicos:

1. Definir el modelo geométrico de la estructura.
2. Caracterizar los materiales presentes en la estructura.
3. Determinar las cargas específicas a la que es sometida dicha estructura.
4. Determinar las secciones peligrosas en la estructura.

Tareas de la investigación:

1. Búsqueda de bibliografía e información sobre el tema tratado.
2. Estudio de las características mecánicas de los materiales utilizados.
3. Simular el comportamiento de la estructura ante las cargas aplicadas.
4. Elaborar el informe del trabajo de diploma.

Métodos de Investigación.

1.- Empíricos:

- **Consulta con expertos:** Se programaran entrevistas a profesores y especialistas en la materia con el objetivo de obtener información sobre el tema para una correcta proyección de la investigación.

- **Método de observación:** Visualización y evaluación de las características de los materiales utilizados en la propia máquina.

- **Método de modelación:** Método numérico o de análisis por Elementos Finitos.

La utilización de paquetes CAD para el análisis tensional-deformacional de la estructura portante de la sembradora de granos en la presente investigación permitirán el estudio y su posterior análisis de los resultados expuestos en el informe final.

2.- Teóricos:

- **Histórico – lógico:** Se estudian los antecedentes en el tema teniendo en cuenta las investigaciones preliminares y sus respectivos resultados obtenidos reflejándolo en la bibliografía.

- **Análisis y Síntesis:** Se basa en el método de análisis ya que se estudiarán, revisarán y analizarán bibliografías correspondientes al tema, al igual que el software utilizado de lo que se realizará una síntesis para la elaboración del informe técnico correspondiente.

Resultados esperados:

Con la realización de este trabajo se determinará el estado tensional y deformacional de la estructura portante de la sembradora de granos, para conocer si es posible realizarle mejoras a la configuración dada por los constructores.

CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE.

1.1 Introducción al capítulo.

En este capítulo se presenta un análisis de la revisión bibliográfica realizada, donde se examinan los aspectos esenciales relacionados con la mecanización agrícola, en específico con las sembradoras de granos y el software utilizado para los estudios del estado tensional y deformacional que surgen en dichas estructuras portantes, con fin de obtener resultados concretos respecto a su diseño.

1.2 Mecanización de la agricultura.

La mecanización de la agricultura es una de las ramas de la Ingeniería Agrícola que tiene como objetivo diseñar, seleccionar, estudiar y recomendar máquinas y equipos de uso agroindustrial con el fin de acelerar la productividad y eficiencia de las actividades de la agricultura [8].

Muchos factores han contribuido a la mecanización de la agricultura. Los hechos más significativos son las necesidades de reducir las demandas laborales, reducir el trabajo fatigante hecho por el hombre e incrementar la productividad, entre otras. El trabajo agrícola es agotador físicamente y las condiciones de trabajo son adversas. En términos generales la mecanización reduce el trabajo físico humano; es menos extenuante conducir un tractor que cultivar el campo todo el día con un azadón o en caso de siembra de granos (maíz, frijol, etc.), hacer el trabajo manual que con una sembradora [5].

Una sembradora de granos puede sembrar un área más grande que un hombre con una herramienta manual en el mismo tiempo, con el consecuente incremento de la productividad y reducción en los tiempos de operación aumentando los rendimientos considerablemente. La demanda de mano de obra, varía durante la siembra. Es necesario mayor número de obreros durante la labranza y la cosecha, que durante otros períodos del crecimiento de las plantas. Esta fluctuación en la mano de obra crea problemas logísticos desde el punto de vista de la administración y programación del trabajo. Con la

mecanización es posible reducir la demanda en los picos de demanda laboral y mantener una fuerza laboral estable [5].

La definición y análisis de la secuencia de operaciones mecánicas para la producción de cultivos son pertinentes, para la optimización del recurso máquina, tiempo y costos. En función de las condiciones del clima, suelo y del cultivo, son diferentes las operaciones, su secuencia y las características de los equipos. Por ello, la selección y planificación de las máquinas dentro de un proceso de mecanización debe estar soportada por el análisis de operaciones (labores mecánicas) [5].

1.2.1 La mecanización en la etapa revolucionaria.

La mecanización agropecuaria en Cuba es una obra de la Revolución. En 1959 había en nuestro país no más de 9000 tractores de muy baja potencia, por lo que la absoluta mayoría de las labores de campo se realizaban con bueyes o a mano, con implementos rudimentarios. Una de las primeras medidas de la Revolución fue el comienzo de suministro de tractores y otras máquinas agrícolas a los campesinos y la organización de cooperativas para un mejor aprovechamiento de las tierras nacionalizadas a los latifundistas [10].

Se comenzó a considerar la mecanización de la agricultura en forma integral, y para ello se elaboraron los primeros Sistemas de Máquinas, o sea, los listados de medios técnicos a utilizar por cada uno de los cultivos y actividades, con sus características y variantes según las condiciones de producción, recomendados teniendo en cuenta los resultados de las pruebas e investigaciones, y definiendo aquellos equipos que aún no existían en el país pero que había que desarrollar o importar. Con ello también se definían los trabajos ulteriores de investigación y prueba. Se comenzó a trabajar también en las investigaciones sobre explotación técnica y organización de la maquinaria, la reparación, el mantenimiento, la recuperación de piezas, el ahorro de combustible, etc. [10].

Producto de los trabajos de investigación y prueba se introdujo la línea de máquinas para la cosecha mecanizada de la papa, procedente en gran parte de Canadá, las combinadas y otros equipos italianos para la cosecha de arroz,

la línea australiana de equipos de cultivo de caña. Además del desarrollo y construcción en Cuba de la línea de máquinas para los cítricos [10].

Una de las máquinas que resultaron de gran impacto fueron las cosechadoras de habichuelas, introducidas en la provincia de La Habana en el período 1976-1988. Para la cosecha de frijol se desarrollaron e introdujeron máquinas de corte y prehilerado de las plantas así como diversos modelos de trilladoras [10].

El desarrollo logrado en los años del período revolucionario permitió dotar a nuestra agricultura de una amplia infraestructura en máquinas, instalaciones para su reparación y mantenimiento, un personal capacitado en su explotación y en una estructura administrativa acorde con los cambios operados en la rama [10].

El período especial y la mecanización agrícola.

Con la desaparición del campo socialista se produjo una aguda escasez de combustibles, piezas de repuestos y otros insumos que antes se recibían a bajos precios de la desaparecida Unión Soviética [11]. El parque en casi su totalidad se encuentra envejecido y en muy mal estado técnico, y en esto tiene gran peso los años de explotación de estos equipos. El 79% de los tractores existentes tienen más de 15 años de explotación, lo cual influye sobre su baja disponibilidad. Semejante situación presentan las demás máquinas e implementos y otros medios técnicos agropecuarios. Entre las tareas para paliar esta situación el Instituto de Investigaciones de Mecanización Agrícola (IIMA) acometió la tarea de desarrollar una nueva línea de implementos y tecnologías conservacionistas con tracción mecanizada y animal, mientras se continúan las investigaciones para la evaluación de equipos modernos que permitan ir sustituyendo gradualmente los existentes, en dependencia de los recursos disponibles [10].

1.3 Análisis funcional de la maquinaria agrícola.

Una máquina agrícola tiene muchos componentes que trabajan juntos como un sistema, para que la máquina desarrolle una tarea. Una máquina puede ser

dividida en muchas subcomponentes. En orden para entender cómo trabaja la máquina es esencial considerarla como una colección de muchos subsistemas. Se puede dividir en dos subsistemas, los propios de proceso y los sistemas de apoyo. Los sistemas propios del proceso son aquellos componentes de la máquina que actualmente desarrollan las funciones para las cuales está diseñada la máquina cortar, separar, mezclar, etc. Los sistemas de apoyo son las partes que soportan o ayudan a los sistemas del proceso en realizar su función, los sistemas de apoyo pueden ser categorizados como sistemas de control y cubierta. Los de cubierta consisten de todas las partes estructurales de la máquina, su función principal es mantener todas las partes de la máquina juntas, para que ellas puedan actuar apropiadamente [5].

La energía para operar la máquina normalmente es suministrada por la unidad de potencia. Las máquinas autopropulsadas contienen la fuente de poder y un medio para transmitirlo, muchas otras dependen del tractor como fuente de potencia para transmitirla por cadenas, ruedas, etc.; juntos estos dispositivos forman el sistema de potencia y propulsión, el cual condiciona todo el proceso. La función del sistema de control es proveer la regulación sobre el todo el proceso; los controles pueden ser automáticos o manuales [5].

Como los sistemas de apoyo, los sistemas de procesos pueden ser divididos en tres tipos. Estos son reversibles, no reversibles y direccionales. Los procesos reversibles son aquellos que pueden ser revertidos como la separación, la compactación; los no reversibles son los que no pueden ser revertidos, por ejemplo, cortado, los no direccionales son los que no tienen dirección, un ejemplo es el almacenamiento de materiales [5].

1.4 Estudio de operaciones agrícolas.

Todos los trabajos de producción agrícola se caracterizan por [5]:

- Ser realizados por etapas.
- Las etapas se distinguen cronológicamente.

- Hechas en función de la periodicidad de las condiciones climáticas y fases de desarrollo del cultivo o de los animales.

De acuerdo con lo planteado por este mismo autor [Cortés, E. 1994] en el artículo previamente citado, el estudio de las operaciones involucra consideraciones sobre:

- Aspectos técnicos: dosis a ser empleada, tipo de aplicación, máquina a ser usada.
- Tiempo consumido: este dato, determinado por el inicio y final de la operación ejecutada.
- Capacidad y eficiencia de campo: de las máquinas utilizadas (ha/h, h/ha).
- Costos de operación: (\$/h, \$/ha, \$/kg, \$/m, \$/m³, etc.), costo de la máquina empleada y el costo de los productos o insumos utilizados.
- Rendimiento de los cultivos: (t/ha, kg/ha).

Ejecución del análisis de operaciones.

En la evaluación de operaciones se deben distinguir tres fases [5]:

- División del trabajo en etapas.
- Estudio individual de las etapas.
- Planeamiento de las actividades en cada etapa.

Igualmente, se deben considerar las condiciones iniciales y finales de la actividad [5]:

1. Condiciones iniciales:
 - Cultivo en el campo.
 - Máquinas en el galpón.
 - Productos o insumos empacados o envasados.
2. Condiciones finales:
 - Total de insumos (semillas, agroquímicos, combustibles, etc.) utilizados.

- Máquina limpia en el galpón.
- Registro de operaciones y control administrativo. Operación contabilizada.

1.5 Sembradoras de granos.

Las sembradoras son una herramienta vital a la hora de realizar las distintas labores de sembrado en el campo, sin ellas los agricultores no obtendrían una cantidad de ganancias como lo hacen actualmente. Si tenemos que brindar una definición técnica de lo que es una sembradora y para qué sirven, podemos decir que es una máquina que se utiliza para sembrar. Años atrás no contaba con motor ya que era muy precaria y se empleaban caballos para arrastrarla [13].

Las máquinas sembradoras de granos deben dosificar la semilla en una cantidad determinada y colocarla en el suelo de forma tal que cumpla con los requerimientos biológicos de la misma (profundidad, humedad, contacto suelo semilla y distribución sobre el terreno), otorgándole las mejores condiciones para su posterior germinación, con el objetivo de obtener una buena implantación. Esta máquina a su vez, realizan otras funciones como la aplicación de fertilizantes y plaguicidas [12].

1.5.1 Tipos de sembradoras de granos.

Según la forma de cultivos, en masa o de escarda, existen tres diseños de máquinas, que pueden clasificarse en [12]:

1. Sembradoras al voleo.
2. Sembradoras a chorrillo o en línea: de grano fino.
3. Sembradoras de precisión: de granos gruesos.

Sembradoras al voleo: Consiste en depositar uniformemente las semillas sobre toda la superficie a sembrar, y una vez depositada, enterrarla con gradas de púas, rulos, etc. Estas sembradoras suelen ser de construcción muy simple, distinguiéndose dos tipos: centrífugas y de descarga libre. Las primeras

coinciden con las abonadoras centrífugas, y aunque se puede conseguir una buena precisión en el reparto, ofrece problemas similares a la siembra manual: consumo excesivo de semilla e imposibilidad de la posterior mecanización de labores secundarias de cultivo. Las sembradoras de descarga libre son análogas a las sembradoras de chorrillo a las que se les suprimen los tubos de caída, dejando caer la semilla libremente a poca altura. Van provistas, en su parte posterior, de una grada de púas o de rodillos para enterrar ligeramente la semilla [14].

Sembradora en línea o de chorrillo: Se utiliza para siembra de cereales de invierno. Los dosificadores entregan las semillas en un flujo continuo, y están separados en forma equidistante. La separación entre líneas más usuales son: 15,8; 17,5; 20; 21 y 26 cm. En este método se puede controlar la distancia entre hileras, pero no se puede controlar la distancia de las plantas dentro de la misma [12].

Las operaciones que realizan estas máquinas son [14]:

1. Abrir el surco donde se va a depositar la semilla. Se realiza con cuchillas circulares (un solo disco cóncavo o dos discos planos) o con rejas asurcadoras, montadas sobre el bastidor, de forma que van siguiendo la superficie del terreno y pueden elevarse por encima de algún obstáculo que encuentre.
2. Dosificar y depositar la semilla en el surco realizado. Se realiza por medio de los órganos distribuidores y de los tubos de caída.

El órgano de distribución es un parte esencial, debe permitir una gran regularidad de siembra, y según su polivalencia podrá ser utilizada para distintas especies de semillas. Pueden ser de rodillos, centrífugas y neumáticas.

Las sembradoras con elemento dosificador de rodillos llevan uno en cada línea de siembra, montados sobre un mismo eje giratorio. Se trata de un rodillo acanalado, una rueda de dientes o cucharillas.

En las sembradoras con distribuidor centrífugo las semillas penetran, por gravedad, desde la tolva en un cono giratorio por una abertura regulable. Una vez en el interior, por unas aletas soldadas al cono, son sometidas a fuerzas que originan su ascensión hasta llegar a la tapa superior donde existen agujeros por los que penetran en los tubos de caída y son dirigidas hacia las botas de apertura del surco de siembra.

En las sembradoras con distribuidor neumático, la semilla es dosificada en un solo cilindro situado debajo de la tolva, a cuya salida es recogida por una corriente de aire y llevada a una cabeza distribuidora que los distribuye a los tubos de descarga.

3. Enterrar el grano. La propia reja puede realizar esta operación, aunque se pueden utilizar otras rejas, rastras, cadenas, etc.
4. Comprimir el suelo alrededor de la semilla, mediante rodillos y así favorecer el aumento de la humedad en torno a ella.

Sembradora de precisión (a golpes o monograno): Se utiliza para la siembra de cultivos de escarda principalmente. Poseen dosificadores que entregan semilla por semilla, lo que nos da la posibilidad de controlar las distancias entre semillas, aparte de la distancia entre las hileras. Las separaciones más comunes son 52,5 y 70 cm, aunque la tendencia es disminuir estas distancias, para permitir una siembra de hileras angostas con dosificadores de precisión [12].

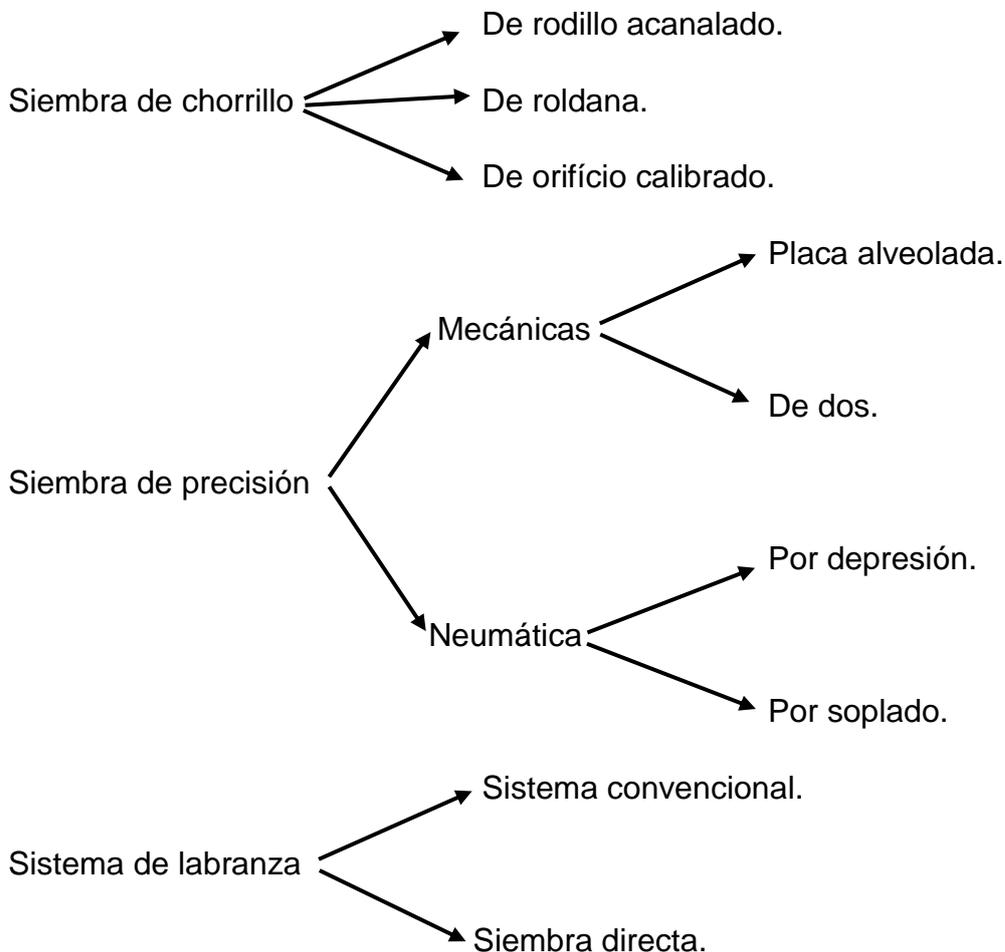
Según [14], una sembradora de precisión es aquella que deposita a profundidad uniforme y a distancias iguales el grano, consiguiendo además un paralelismo entre líneas. Esta siembra permite:

- Ahorro de semillas a aplicar.
- Exactitud en la superficie unitaria de las plantas para una productividad óptima.
- Mayor facilidad para realizar labores de cultivo mecanizadas.
- Disminución de las faenas de escarda y aclareo.

- Siembra a distancia definitiva.
- Óptimas condiciones para la recolección.

En este tipo de maquinaria, un elemento esencial es el mecanismo distribuidor, concebido para que suelte las semillas individualmente, una tras otra, con intervalos regulares. Existen distribuidores mecánicos (de plato vertical, plato oblicuo, plato horizontal y de correa) y neumáticos.

En esta guía, vamos a dividir las sembradoras según su sistema dosificador y sistema de labranza en [12]:



Las sembradoras se pueden clasificar en base los siguientes aspectos [14]:

1. Distancia entre líneas de siembra.
2. Tipo de siembra (precisión o chorrillo).

3. Elementos de corte del suelo y residuos (rejas o discos).
4. Sistema de distribución de semillas (mecánico o neumático).

1.5.2 Componentes de una sembradora de granos.

Chasis y mecanismos de enganche:

El chasis es la estructura de la máquina. Sobre él se montan todos los elementos que componen la sembradora. Cuando la máquina es de tiro (la mayoría), ésta se conecta al control remoto del tractor. A través del sistema hidráulico del tractor se levantan los abresurcos para el transporte, si es montada, el levante se hace por medio del trespunto [12].

Tolvas:

La función de las tolvas es contener las semillas y el fertilizante que luego serán distribuidas por la sembradora. Pueden ser tolvas individuales o colectivas. La capacidad de la tolva es importante porque determina la autonomía de la máquina. Actualmente las máquinas poseen 2 o 3 tolvas, una para semilla, otra para fertilizante y otra para semillas de pastura, este último caso en máquinas para siembra fina. La forma de la tolva es rectangular, de sección trapezoidal (con su cara menor como base), que puede estar dividida interiormente y abarca todo el ancho del bastidor. Algunas máquinas permiten dividir longitudinalmente la tolva, de manera tal que se duplique el espaciamiento entre hileras al quitar la división y utilizar los dosificadores de fertilizantes también para semillas. Generalmente tienen agitadores, accesorios que constan de un árbol que toma mando del tren cinemático de la máquina y paletas que mueven la semilla dentro de la tolva. [12]

Ruedas de mando:

Pueden las mismas ruedas de apoyo de la sembradora o ruedas cuya única función es accionar los dosificadores, sino puede tener una rueda adicional con la única función de darle mando al tren cinemático [12].

Tren cinemático:

Es el conjunto de elementos de transmisión que lleva el movimiento desde las ruedas de mando a los dosificadores. Dependiendo del tipo de sembradora, estos podrán ser variables mediante el cambio de engranajes, o piñones y cadenas, en la actualidad hay sembradoras que sustituyeron el tren cinemático por motores eléctricos de “punto”, que además le da la posibilidad de realizar siembra con dosificación variable [12].

Tubo o bajante:

Consiste generalmente en un tubo flexible de goma o segmentos cónicos de metal que reciben las semillas y las conduce al órgano que las coloca en el surco [15].

Distribuidor:

Es el mecanismo que se encarga de captar las semillas en la cantidad y con la frecuencia deseada y entregarlas al tubo conductor [15].

Tren de siembra:

Se llama tren de siembra al conjunto de elementos que están en contacto con el suelo: cuchillas, abresurcos, rueda aprieta semillas, tapa surcos, etc. [12].

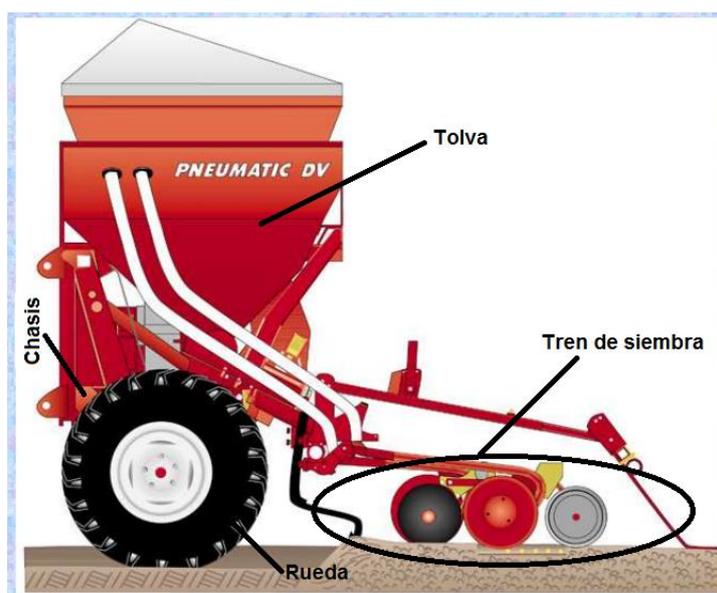


Figura 1.1. Sembradora de granos (Fuente: citado por [17]).

1.5.3 Características y principio de funcionamiento de la sembradora de granos del municipio de Calixto García.

Esta sembradora fertilizadora de granos, innovada por el campesino Carlos Rafael Heres Pérez, se puede definir como una sembradora - fertilizadora en línea de precisión, ya que es capaz de colocar los granos y el fertilizante en un surco con siembra a distancia uniforme, es decir, con la colocación de las semillas individuales a distancias exactas una de las otras. Además, no es una máquina de siembra directa, ya que para sembrar se necesita primeramente hacer una preparación del suelo. Esta sembradora - fertilizadora al ser construida con los materiales disponibles en dicho lugar, se puede decir que consta con un principio de funcionamiento bastante sencillo. El mismo se sustenta en una estructura rústica, acoplados todos sus componentes a esta.

A continuación se describe la función de sus principales componentes: en primer lugar se encuentra la reja surcadora, la misma se encarga de abrir el surco donde se depositan las semillas y el fertilizante, destacándose que debe mantenerse lo más uniforme posible la distancia entre surcos. Además posee una tolva cónica donde se depositan las semillas, y otra tolva con la misma forma para depositar el fertilizante. Seguido de las mismas tiene acoplado en el eje central el disco dosificador de semillas y una transmisión mecánica de cadena estrella, esta acciona los dosificadores del distribuidor vertical para captar la cantidad de semilla y determina la frecuencia (distancia entre plantas) necesaria para luego depositarla en el surco. Por último se encuentran palas tapadoras (o implementos) de las semillas y el fertilizante en el surco. A continuación, en la figura 1.2, se pueden constatar las características previamente mencionadas a partir de una fotografía tomada por el autor a la sembradora objeto de estudio.



Figura 1.2. Sembradora de grano del municipio de Calixto García.

1.6 Método de los Elementos Finitos.

La idea general del método de los Elementos Finitos es la división de un medio continuo en un conjunto de pequeños elementos interconectados por una serie de puntos llamados nodos. Las ecuaciones que rigen el comportamiento del medio continuo regirán también el del elemento. De esta forma se consigue pasar de un sistema continuo (infinitos grados de libertad), que es regido por una ecuación diferencial o un sistema de ecuaciones diferenciales, a un sistema con un número de grados de libertad finito cuyo comportamiento se modela por un sistema de ecuaciones algebraicas, lineales o no [18].

Cualquier ingeniero que haya trabajado con un programa de cálculo por elementos finitos para resolver algunos problemas de ingeniería, tiene una idea bastante exacta de lo que significa el planteamiento del párrafo anterior. Hasta puede ser capaz de crear su modelo de cálculo y ejecutar su variante obteniendo una posible solución del mismo. Uno de los problemas dónde radica el conocimiento en el cálculo por elementos finitos, es que muchos conocen como emplear algún programa de cálculo por elementos finitos, pero muy pocos conocen la teoría que sustenta los cálculos [18].

Esto enmarca dos aspectos importantes a criterio del autor que son: como primer gran problema está el hecho de que los programas de cálculo están a disposición de casi todos los profesionales que lo necesiten, los que, habiendo

entrenado un poco la forma operativa de preprocesamiento y ejecución obtendrán normalmente una respuesta del programa para la solución del modelo que se está ejecutando, siempre que no se hayan cometido errores en la esencia del problema al confeccionar el modelo o en las condiciones de frontera del mismo. El segundo gran problema es que el usuario normalmente da por buena la solución obtenida, pues como el cálculo por elementos finitos ha tenido en las últimas décadas un elevado auge en la solución de problemas de ingeniería, cómo puede estar mal una respuesta que se haya obtenido sobre la base de la corrida de un programa de esta categoría [18].

Esta es la clave del problema, ya que en esencia, la teoría del cálculo por elementos finitos tiene dos aspectos fundamentales, “la física del problema” y “la matemática necesaria para manipular y plantear en forma de modelos matemáticos el problema físico”. Hay que hacerle comprender a los que estudian el método una teoría desarrollada desde los años 40 sobre la base de la Mecánica del Medio Continuo, implementada sobre modelos matemáticos que manipulan una teoría que no es común para los ingenieros, como son los métodos variacionales, los residuos ponderados, los principios de energía mínima, entre otros [18].

Al iniciar el proceso de cálculo de una estructura el ingeniero debe formular un esquema de cálculo para la misma, en otras palabras, un modelo de cálculo en el que la estructura es idealizada de manera que pueda ser analizada (Figura 1.3). Esto se debe en esencia a que el método de los elementos finitos supone, para solucionar el problema, el dominio discretizado en subdominios denominados elementos, de forma que el dominio total en estudio se aproxime mediante el conjunto de elementos en que se subdivide. Los elementos se definen por un número discreto de puntos, llamados nodos, que los conectan entre sí. Sobre estos nodos se materializan las variables de salida fundamentales del problema [18].

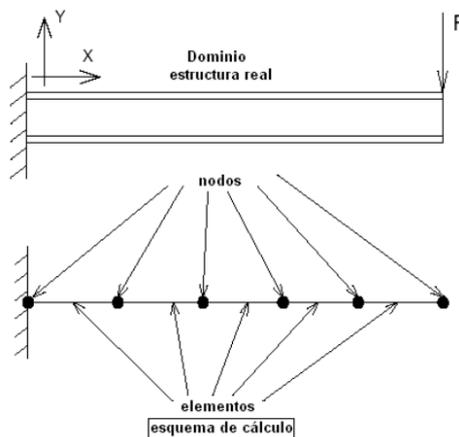


Figura 1.3. Estructura real y esquema de cálculo [18].

En el caso de elementos estructurales estas variables de salida fundamentales son los desplazamientos nodales, ya que a partir de éstos se pueden calcular el resto de las variables de salida que sean de interés. Estas variables de salida se definen en la dirección de los grados de libertad de cada nodo del modelo. Los grados de libertad de un nodo son las variables que determinan el estado del nodo [18].

El sistema, debido a las condiciones de contorno, en este caso (figura 1.3) empotramiento y fuerza concentrada en el otro extremo de la viga, evoluciona hasta un estado final. En este estado final, conocidos los valores de los grados de libertad de los nodos del sistema, se puede determinar cualquier otra variable de salida o incógnita deseada, como las fuerzas, tensiones, deformaciones, etc. [18].

Considere también que el análisis estructural probablemente es la aplicación más común del método de los elementos finitos. El término estructural (o estructura) no sólo aplica para las estructuras de la ingeniería civil, como los puentes y edificios, sino también en las estructuras navales, aeronáuticas, y mecánicas como el casco de una nave, estructuras de aviones, bastidor de las máquinas, así como componentes mecánicos tales como pistones, partes de máquinas y herramientas [18].

Según [18], los problemas de análisis estructurales están gobernados por:

- Ecuaciones de equilibrio.
- Relaciones de compatibilidad, o relaciones deformaciones-desplazamientos.
- Características del material o relaciones tensiones-deformaciones.

Las estructuras construidas por elementos cuyas conexiones son discretas debido a la geometría de la misma, tales como las armaduras cuyas conexiones son articuladas y los pórticos cuyas conexiones son rígidas, presentan menor dificultad en el proceso de ensamblaje de las ecuaciones que gobiernan el comportamiento del sistema, que aquellas en que la subdivisión de los elementos es artificial en relación con la estructura real, tales como elementos con planchas y sólidos [18].

El método de los Elementos Finitos ha demostrado las amplias posibilidades que posee como herramienta para la solución de problemas de ingeniería y para el análisis de problemas de investigación. Como resultado de ello su empleo tiene una gran difusión en la comunidad de ingenieros, tanto en centros de estudio como en centros de investigación y en empresas de producción [18].

Fundamentos del Método de los Elementos Finitos.

Se trata de un método general para la solución de problemas de contorno gobernados por ecuaciones diferenciales ordinarias o parciales. En esencia se trata de una técnica que sustituye el problema diferencial por otro algebraico, aproximadamente equivalente, para el cual se conocen técnicas generales de resolución. Para ello hace uso de la "discretización" o subdivisión de una región sobre la cual están definidas las ecuaciones en formas geométricas simples denominadas elementos finitos. Las propiedades, materiales y relaciones gobernantes en estos elementos se expresan en función de los valores desconocidos en las "esquinas" de los elementos o nodos (ver Figura 4). Una de las ventajas de este método es su facilidad de implementación en un programa computacional, que a su vez es una condición básica para su

utilización ya que para el tratamiento de un problema en particular debe efectuarse un número muy elevado de operaciones para resolver sistemas algebraicos del orden de cientos o miles de ecuaciones. No obstante, esta cantidad no es una limitación con las computadoras actuales. Las ideas básicas de este método se originaron en avances en el análisis estructural de la industria aeronáutica en la década del '50 del siglo XX. En la década del '60 del mismo siglo el método fue generalizado para la solución aproximada de problemas de análisis de tensión, flujo de fluidos y transferencia de calor [25].

El primer libro sobre elementos finitos fue publicado en 1967 por Zienkiewicz y Cheung. En la década del '70 del siglo pasado el método fue extendido al análisis de problemas no lineales de la mecánica del continuo. Hoy el método permite resolver prácticamente cualquier situación física que pueda formularse mediante un sistema de ecuaciones diferenciales. En sus principios el método de los elementos finitos no llegó masivamente a la práctica de la ingeniería debido a la no disponibilidad de computadoras en los estudios de ingeniería y por el otro al requisito de conocimientos profundos no solamente de la técnica y de los modelos matemáticos pertinentes sino también de programación computacional. Actualmente, la situación es completamente diferente, ya que las modernas computadoras personales soportan sin inconvenientes poderosos programas de propósito general de fácil utilización [25].

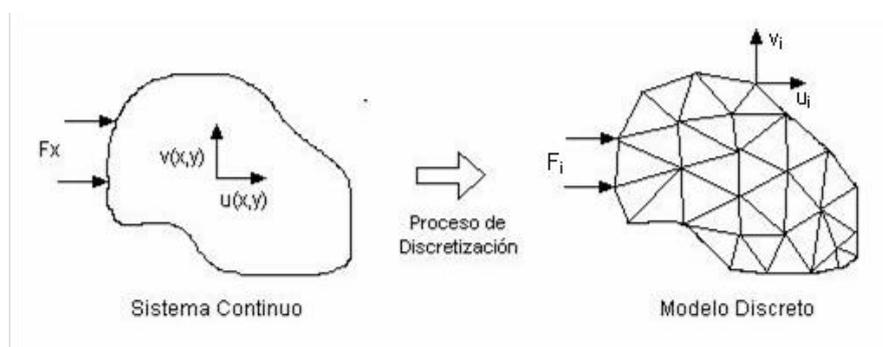


Figura 1.4. (Fuente: citado por [25]).

El proceso de análisis de un problema físico mediante elementos finitos se muestra en la figura 1.4. 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 de los 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.

1.6.1 Software para la obtención del modelo (SolidWorks).

El software de automatización de diseño mecánico SolidWorks es una herramienta de diseño de modelado sólido paramétrica y basada en operaciones que aprovecha la facilidad de aprendizaje de la interfaz gráfica de usuario de Windows™. Puede crear modelos sólidos tridimensionales totalmente asociativos con o sin restricciones mientras utiliza al mismo tiempo las relaciones automáticas o definidas por el usuario para capturar la intención del diseño [19].

Basado en operaciones.

Del mismo modo que un ensamblaje está compuesto por una serie de piezas individuales, un modelo de SolidWorks también está compuesto por elementos individuales. Dichos elementos se denominan operaciones [19].

Cuando usted crea un modelo mediante el software SolidWorks, trabaja con operaciones geométricas inteligentes y fáciles de entender, como salientes, cortes, taladros, nervios, redondeos, chaflanes y ángulos de salida. A medida que se crean estas operaciones, las mismas se aplican directamente a la pieza con la que está trabajando [19].

Según [19], las operaciones se pueden clasificar como croquizadas o aplicadas.

- ✓ **Operaciones croquizadas:** las que se basan en un croquis en 2D. Generalmente, ese croquis se transforma en un sólido mediante extrusión, rotación, barrido o recubrimiento.
- ✓ **Operaciones aplicadas:** las que se crean directamente en el modelo sólido. Los redondeos y los chaflanes son ejemplos de este tipo de operación.

El software de SolidWorks muestra gráficamente la estructura basada en operaciones del modelo en una ventana especial denominada Gestor de diseño del FeatureManager®. El gestor de diseño no sólo muestra la secuencia en la que se han creado las operaciones, sino que también le facilita el acceso a toda la información relacionada subyacente [19].

Paramétrico.

Las cotas y las relaciones utilizadas para crear una operación se capturan y se almacenan en el modelo. Gracias a ello, no sólo es posible la captura de la intención del diseño, sino que también se pueden realizar de manera rápida y sencilla cambios en el modelo [19].

- ✓ **Cotas conductoras:** cotas utilizadas al crear una operación. Incluyen las cotas relacionadas con la geometría de croquis, así como las relacionadas con la operación en sí.
- ✓ **Relaciones:** incluyen información del tipo paralelismo, tangencia y concetricidad. Históricamente, este tipo de información se ha comunicado en los dibujos a través de los símbolos de control de las operaciones. Capturando esto en el croquis, SolidWorks le permite capturar totalmente la intención del diseño directamente en el modelo.

Modelado sólido.

Un modelo sólido es el tipo más completo de modelo geométrico utilizado en los sistemas de CAD. Contiene toda la geometría de superficie y alámbrica necesaria para describir detalladamente las aristas y las caras del modelo. Además de la información geométrica, contiene toda la información

denominada topológica que interrelaciona la geometría. Un ejemplo de información topológica sería qué caras (superficies) se encuentran en qué arista (curva). La inteligencia hace que funciones como el redondeo resulten tan fáciles como seleccionar una arista y especificar un radio [19].

Totalmente asociativo.

Un modelo de SolidWorks es totalmente asociativo a los dibujos y ensamblajes a los que hace referencia. Los cambios efectuados en el modelo se reflejan automáticamente en los dibujos y ensamblajes relacionados. De un modo similar, puede efectuar modificaciones en el contexto del dibujo o del ensamblaje y tener la certeza de que esas modificaciones se reflejarán en el modelo [19].

Restricciones.

Las relaciones geométricas paralelas, perpendiculares, horizontales, verticales, concéntricas y coincidentes son tan sólo algunas de las restricciones que SolidWorks admite. Además, se pueden utilizar ecuaciones para establecer relaciones matemáticas entre los parámetros. Mediante las restricciones y las ecuaciones, puede garantizar que se capturen y se mantengan los conceptos del diseño, como los taladros o los radios iguales [19].

Ensamblaje ascendente.

Los ensambles ascendentes se crean agregando y orientando piezas existentes en un ensamblaje. Las piezas agregadas al ensamblaje aparecen como Piezas de componente. Las piezas de componente se orientan y posicionan en el ensamblaje mediante las Relaciones de posición. Las relaciones de posición relacionan caras y aristas de piezas de componentes con planos y otras caras/aristas [19].

Análisis del ensamble.

Hay diversos tipos de análisis que pueden realizarse en un ensamblaje. Entre ellos se incluyen el cálculo de las propiedades físicas del ensamblaje y la verificación de interferencias [19].

1.6.2 Análisis con el empleo del software SolidWorks/Simulation.

El SolidWorks, es el paquete de modelado geométrico más popular en el diseño mecánico hoy en día, además de ser uno de los más completos aplicado en la rama de la mecánica. Reconocidas firmas en el mundo lo utilizan. De ahí el hecho de ser una potente herramienta para el diseño paramétrico. Se considera que este software junto a los otros es capaz de aumentar el rendimiento del diseño (comparado con el AutoCAD) hasta en un 40% [32]. En encuestas realizadas a más de 21,000 usuarios CAD se puede apreciar la aceptación del software.

Este ha sido un programa que por sus cualidades, comparadas con otros sistemas del mismo rango, se ha diseminado en la mayoría de las industrias y universidades del país con gran aceptación entre los usuarios, de fácil instalación. Se puede trabajar en máquinas de hasta 512 Mb de memoria RAM. En la versión 2014 tiene acoplado un paquete de cálculos por elementos finitos (Simulation), 2014 por lo que no existe la necesidad de emigrar a otro software para analizar los modelos.

El sistema de análisis por elementos finitos Simulation es un sistema de análisis interactivo con interface en línea al Sistema CAD SolidWorks. Permite la importación y exportación de modelos geométricos de otros sistemas CAD, así como la importación y exportación de modelos FEA desde y hacia otros paquetes de análisis por Elementos Finitos. Tiene un generador de malla y un pre y postprocesador de elementos finitos. Forma parte de una familia amplia de paquetes de análisis a partir del paquete matriz de Cosmos M, derivados a partir de la complementación de este con paquetes CAD para aprovechar las ventajas de estos paquetes gráficos en el diseño de elementos y conjuntos mecánicos.

El MEF es una técnica numérica para analizar los diseños en ingeniería, se acepta como el método de análisis estándar debido a su generalidad y conveniencia para la aplicación en la computadora. En el MEF se divide al modelo en muchos pedazos pequeños de formas simples llamados elementos (los así llamados elementos finitos) que reemplazan un problema complejo eficazmente por muchos problemas simples que necesitan ser resueltos simultáneamente. Los elementos se unen a través de puntos llamados nodos. El proceso de dividir el modelo en partes pequeñas se llama mallado. El comportamiento de cada elemento es conocido bajo diferentes condiciones de borde. El Método de los Elementos Finitos usa diferentes tipos de elementos. La respuesta en cualquier punto en un elemento se interpola a partir de la respuesta en los nodos del elemento. Cada nodo se describe totalmente por varios parámetros que dependen del tipo del análisis y el elemento que se usó. Por ejemplo, la temperatura de un nodo describe su respuesta totalmente en el análisis térmico. Para los análisis estructurales, la respuesta de un nodo se describe, en general, por tres traslaciones y tres rotaciones [33].

1.6.3 Análisis de diseño.

Antecedentes.

Durante los inicios de la década de los 90, el proceso de desarrollo de productos empezó a evolucionar de un método de prototipo-prueba a un nuevo paradigma de desarrollo de productos mediante la tecnología del diseño asistido por computadora (CAD). En vez de incurrir en los costos y retrasos relacionados con la construcción y realización de pruebas de prototipos, los ingenieros empezaron a analizar modelos informáticos del diseño en cuestión mediante el método de análisis de elementos finitos (FEA) [20].

El análisis del diseño con FEA es una tecnología de software que los ingenieros utilizan para simular el comportamiento físico de un diseño en condiciones de funcionamiento específicas. En el FEA se divide un sólido en "elementos" geométricos, que se representan matemáticamente en la computadora como una malla en 3D que se superpone sobre el sólido y lo

impregna, para resolver las ecuaciones diferenciales que rigen los fenómenos físicos tal como se aplican a las geometrías simuladas. Con la utilización de FEA, los ingenieros simulan las respuestas de los diseños ante las fuerzas de funcionamiento y utilizan estos resultados para mejorar el rendimiento del diseño, minimizando la necesidad de prototipos físicos [20].

Combinación potente.

El software de análisis de diseño completamente integrado con el software de modelado en 3D, les permite ahora a los ingenieros probar un diseño en la computadora en vez de utilizar iteraciones de prototipo-prueba. Los modelos de CAD se han convertido en prototipos virtuales y el análisis del diseño ha sustituido las pruebas físicas, con lo que se consigue un desarrollo del producto más rápido, menos costoso y más optimizado. Además, el análisis virtual del diseño permite realizar un test más exhaustivo del rendimiento de dicho producto del que sería posible aunque se utilizaran los prototipos más detallados, con lo que se obtienen productos más innovadores, fiables y comercializables [20].

Análisis de diseño.

En términos sencillos, el análisis del diseño es una potente tecnología de software para la simulación del comportamiento físico de un futuro producto en la computadora. ¿Se romperá? ¿Se deformará? ¿Se calentará demasiado? Éstos son los tipos de preguntas a las que el análisis del diseño ofrece respuestas precisas. En vez de construir un prototipo y desarrollar elaborados regímenes de pruebas para analizar el comportamiento físico de un producto, los ingenieros pueden obtener esta información de manera rápida y precisa. Puesto que el análisis del diseño puede minimizar o incluso eliminar la necesidad de crear prototipos físicos y realizar pruebas, esta tecnología se ha estandarizado en el sector de la fabricación durante la última década y se ha convertido en una valiosa herramienta de desarrollo de productos que está presente en casi todos los campos de la ingeniería [20].

El análisis del diseño emplea el método de análisis de elementos finitos (FEA) para simular el comportamiento físico del diseño de un producto. El proceso de análisis de elementos finitos (FEA) consiste en subdividir todos los sistemas en componentes individuales o "elementos" cuyo comportamiento es de fácil comprensión y, a continuación, reconstruir el sistema original a partir de estos componentes. Se trata de una manera natural de realizar análisis en ingeniería e incluso en otros campos analíticos [20].

En el campo de la ingeniería mecánica, el análisis del diseño puede resolver una amplia gama de problemas relativos al desarrollo de productos. Los ingenieros pueden utilizar el análisis del diseño para predecir el comportamiento físico de casi cualquier pieza o ensamble en todas las condiciones de carga: desde una sencilla viga bajo una carga de flexión hasta simulaciones de accidentes de tráfico y el análisis de las vibraciones de un avión. El verdadero poder del análisis del diseño consiste en la capacidad de realizar cualquiera de estos tipos de estudios de manera precisa sin necesidad de construir nada. Todo lo que se necesita es un modelo CAD [20].

La aplicación de análisis del diseño más habitual en el campo de la ingeniería mecánica es el análisis de tensiones. Los ingenieros estudian las tensiones (tanto estructurales como térmicas) de una pieza para determinar si fallará o no y si es necesario realizar modificaciones en el diseño para superar problemas potenciales. El análisis del diseño también se utiliza para determinar el potencial de deformación de las piezas, las frecuencias de resonancia y los modos de vibración de piezas y ensambles, las respuestas dinámicas y sísmicas, las tensiones de contacto y la distribución de la temperatura, para nombrar algunas utilidades; así como también se utiliza para analizar el flujo de los fluidos, tanto si se trata de un gas o un líquido en una tubería, como la mezcla de aire y combustible del colector de admisión de un motor o bien el plástico en estado líquido para rellenar un molde [20].

Un ejemplo sencillo de cómo se puede utilizar el análisis de diseño es a través de la siguiente pieza (soporte). No teniéndola seguridad de que el soporte sea

lo suficientemente fuerte como para aguantar las cargas de servicio sin sufrir deformaciones y tensiones excesivas. Por lo que necesitamos respuestas de manera rápida y económica. El análisis del diseño puede proporcionarnos estas respuestas utilizando simplemente nuestro modelo CAD original y un paquete de análisis [20].

Con un sistema de análisis del diseño integrado, podemos realizar el análisis directamente en nuestro modelo en 3D, sin salir en ningún momento de nuestro paquete CAD. Una vez que tenemos nuestra geometría, podemos configurar el modelo, realizar el análisis y analizar los resultados en un par de pasos [20].

Paso 1.

Primero, define y asigna las propiedades a los materiales del modelo.

Paso 2.

A continuación, se aplican las cargas y las restricciones que representan las condiciones de carga de la vida real.

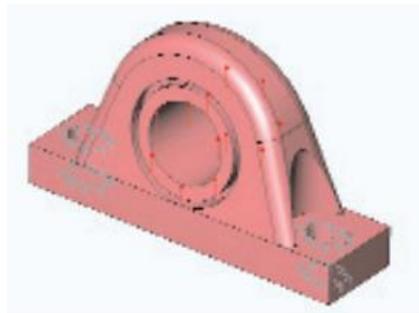


Figura 1.5. Aplicación de cargas a la pieza (Fuente: citado por [20]).

Paso 3.

Ahora, se genera el mallado de la geometría. El análisis del diseño utiliza los elementos finitos para calcular la respuesta del modelo a las condiciones de cargas iniciales. El mallado se realiza automáticamente con poca, si es que se necesita, intervención del usuario.

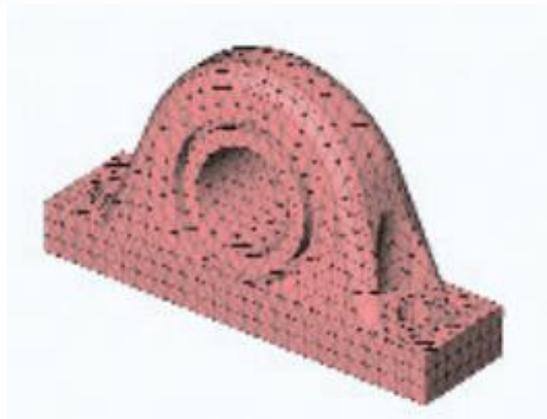


Figura 1.6. Mallado de la pieza (Fuente: citado por [20]).

Paso 4.

Después de generar la malla del modelo, se lleva a cabo la solución del análisis. Este paso está completamente automatizado y no es necesaria la intervención del usuario.

Paso 5.

Una vez que la solución está completa, podemos analizar los resultados. Por supuesto, éstos dependen del tipo de análisis realizado. Se puede estudiar las desviaciones y tensiones. También es posible utilizar el análisis del diseño para evaluar las frecuencias de resonancia, la distribución de la temperatura o la respuesta estructural a las cargas dinámicas.

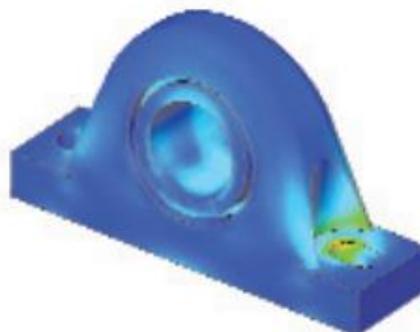


Figura 1.7. Resultados del análisis (Fuente: citado por [20]).

Los resultados del análisis verificarán la función del nuestro diseño o bien mostrarán dónde existen problemas que requieran modificaciones para conseguir la calidad, el nivel de tensión y la frecuencia natural necesarias, etc. Con los paquetes de análisis integrados, se pueden realizar fácilmente modificaciones en el diseño en el mismo modelo de CAD que se utilizó para el análisis inicial [20].

CAPÍTULO II. MODELACIÓN Y ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA PORTANTE DE LA SEMBRADORA DE GRANOS.

2.1 Introducción al capítulo.

En el presente capítulo se modelará el prototipo en 3D de la estructura portante de la sembradora, para someterla a un estudio estático, con el objetivo de la evaluación del estado tensional-deformacional de la misma. Para esto se tuvieron en cuenta varios aspectos: como la caracterización de los materiales, la determinación de las fuerzas actuantes en la estructura, las restricciones del modelo y la generación correcta del mallado.

2.2 Definición del modelo geométrico.

Para determinar la definición del modelo geométrico, se realizó una visita en el lugar donde se encuentra la sembradora, con el objetivo de desarmar todos los componentes de dicha máquina, y elaborar los croquis de cada pieza y obtener todas las dimensiones necesarias. Esta información se usó después para modelar el prototipo con la ayuda del software SolidWorks 2014 (ver figura 2.1).

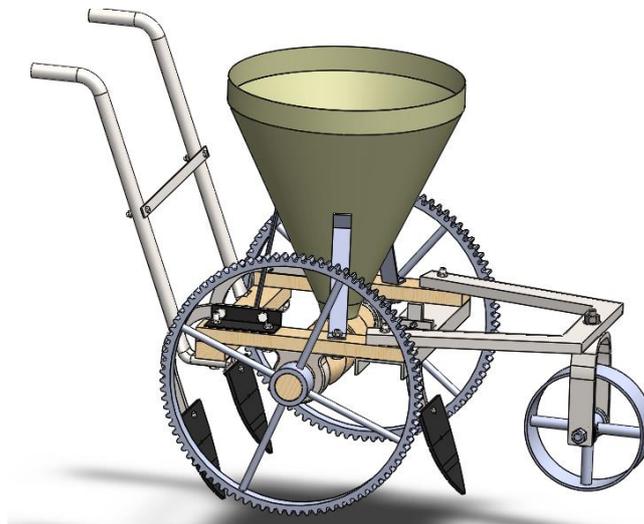


Figura 2.1. Prototipo de la sembradora de granos.

Para el estudio de la estructura de esta sembradora fue necesario la simplificación del modelo, descartando los componentes que no influyen en este análisis (ver figura 2.2).

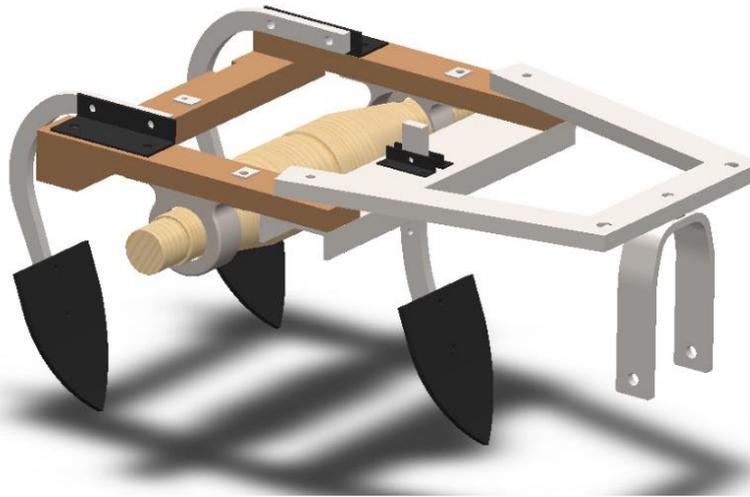


Figura 2.2. Modelo simplificado de la estructura.

2.3 Características de los materiales.

Para poder determinar los materiales presentes en dicha sembradora nos basamos en los conocimientos adquiridos en la asignatura de Ciencia de los Materiales y las consultas realizadas con especialistas del tema, con el objetivo de conocer las propiedades mecánicas de cada uno. Para esto se hizo un análisis de cada componente de la máquina que influyen para el estudio, llegando a la conclusión que se utilizaron diferentes tipos de materiales, donde se encuentran entre ellos, la madera (Pino), aceros para estructuras, y aceros de construcción (acero de medio contenido de carbono o termomejorables). Una vez deducidos estos materiales, se reflejan en las siguientes tablas las propiedades mecánicas de cada uno de estos materiales para la construcción del modelo.

Tabla I. Propiedades mecánicas de la madera pino (Fuente: citado por [34]).

Material Pino		
Módulo elástico	10003	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0,49	N/D
Límite de tracción	91,29	N/mm ²
Límite de compresión	41,87	N/mm ²
Límite elástico	59,82	N/mm ²
Densidad de masa	520	kg/m ³

Nota: Para el estudio en el software del modelo se tuvo que editar este material ya que en la biblioteca de dicho programa no aparecen las propiedades mecánicas.

Tabla II. Propiedades mecánicas del acero de construcción para estructuras (Fuente: citado por [35]).

Material CT-3		
Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	210000	N/mm ²
Coeficiente de Poisson	0,28	N/D
Módulo cortante	79000	N/mm ²
Límite de tracción	550	N/mm ²
Límite elástico	275	N/mm ²
Coeficiente de expansión térmica	1,1e-005	/K
Conductividad térmica	14	W/(m·K)
Calor específico	440	J/(kg·K)

Tabla III. Propiedades mecánicas del acero de construcción de medio contenido de carbono termomejorables (Fuente: citado por [35]).

Material AISI 1040		
Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	205000	N/mm ²
Coeficiente de Poisson	0,29	N/D
Módulo cortante	80000	N/mm ²
Límite de tracción	625	N/mm ²
Límite elástico	530	N/mm ²
Coeficiente de expansión térmica	1,15e-005	/K
Conductividad térmica	49,8	W/(m·K)
Calor específico	486	J/(kg·K)

2.4 Cálculo de las cargas que actúan en la estructura.

Uno de los factores más importante en el presente estudio son las cargas a la que es sometida la estructura del prototipo. Para la determinación de estas fuerzas se tuvieron en cuenta varios aspectos fundamentales descritos a continuación:

1. Fuerza de la tracción animal con la que es tirada la máquina.
2. Fuerzas que ejercen el surcador y los tapadores sobre el suelo.

3. Peso de las tolvas, tanto la de granos como la de fertilizante.
4. Peso de la capacidad de granos y fertilizantes a cargaren las tolvas.

Para el primer aspecto se exponen en la tabla IV algunos valores de estudios realizados en años anteriores a diferentes animales de trabajos mecanizados, teniendo como objetivo determinar las características de tracción animal para cada uno de ellos.

Tabla IV. Manejo de la tracción animal en los trabajos mecanizados (Fuente: citado por [36]).

Animal	Peso (kg)	Tiro (kg)	Velocidad media (m/s)	Potencia (kgf.m/s)
Caballo ligero	400-500	60-80	1,00	75,00
Bueyes	500-900	60-80	0,6-0,85	56,00
Búfalos	400-900	50-80	0,8-0,9	55,00
Vacas	400-600	50-60	0,7	35,00
Mulos	350-500	50-60	0,9-1,00	52,00
Asnos	200-300	30-40	0,7	25,00

En nuestro caso como la sembradora es tirada por bueyes y teniendo en cuenta la Tabla IV, se decidió que la fuerza de tracción animal para nuestro modelo es de 80 kg, ya que el modelo fue estudiado para las máximas cargas. Para introducir este valor en el software es necesario convertir el valor dado en kg a la unidad de medida del Sistema Internacional de Medidas, o sea Newton (N), se obtuvo que:

Valor de la tracción animal **784,8 N ≈ 785 N**.

Para determinar el segundo aspecto, que es la carga que incide en la parte superior de la estructura, fue necesario conocer el peso de las tolvas, tanto la de granos como la de fertilizante. Para esto se desmontaron las dos tolvas de la estructura y se pesaron. Seguido a esto se determinó la capacidad de carga de granos y fertilizante. Este dato se obtiene del operario, que manifestó que son de 20 libras de granos y 20 de fertilizante. Para introducir estos datos en el software fue necesario otra vez realizar la conversión explicada antes. Los resultados están en la tabla V.

Tabla V. Datos del peso de las tolvas, los granos y el fertilizante.

Componentes	Peso(kg)	Fuerza (N)
Tolva de granos	6,31	61,90
Tolva de fertilizante	5,010	49,15
Capacidad de granos	9,071	88,98
Capacidad de fertilizante	9,071	88,98

Sumando todas las fuerzas actuantes en la parte superior de la estructura, podemos decir que la fuerza total que actúa en la parte superior de la estructura portante del modelo es de **289,01 N ≈ 290 N**

La última fuerza existente en el modelo es la que el surcador y los tapadores ejercen en el suelo. Para el cálculo de esta se aplicó la siguiente variante, ya que por su complicación, es fuente de otro tema de investigación, que permita determinarla mediante cálculos analíticos. En este caso se tomó la misma fuerza de tiro de la tracción animal, sumando a esta, el uno por ciento de la misma, es decir que la fuerza del surcador y los tapador un poco mayor que la de tracción animal, para llegar a esta variante se basó en que la fuerza de tracción animal tiene que ser mayor que la fuerza de los surcadores para poder mover la sembradora, pero como se está analizando para su máxima carga de trabajo, en determinado momento por obstáculos existentes en el terreno como piedras, etc. los surcadores se pueden trabar. En ese momento esa fuerza es mayor que la que iba ejerciendo el animal, por lo que se llega a la decisión tomada.

Cálculo del uno por ciento de la fuerza de tracción animal.

Total del por ciento (100%).

Parte del por ciento que se quiere buscar (1%).

Fuerza de tracción animal 785N.

$$\frac{1\%}{100\%} = \frac{x}{785 N} \quad (1)$$

Despejado el valor buscado de la ecuación (1) se obtiene que el 1% de la tracción animal es de **7,85 N**.

Sumando las dos fuerzas, se vio como resultado que la fuerza que ejerce el surcador y los tapadores en el suelo es de **792,85 N \approx 793 N**.

En el modelo esta fuerza se dividió entre tres y el valor obtenido se aplicó a cada surcador, ya que este es el número de estos elementos presente en la estructura.

Después de determinadas todas las cargas a al que está sometida la estructura portante de la máquina, se muestra en la siguiente figura 2.3 en que sectores se aplicaron.

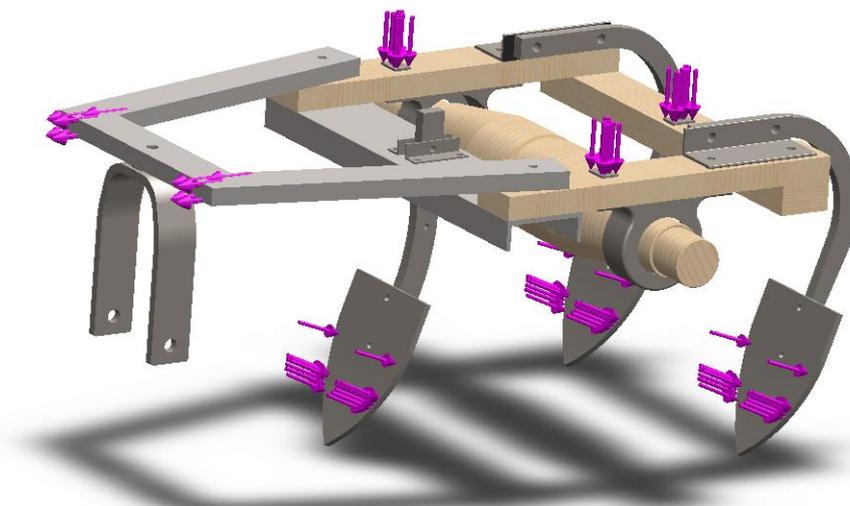


Figura 2.3. Fuerzas actuantes en la estructura portante del modelo simplificado.

2.5 Restricciones del modelo.

Para este modelo se ha considerado aplicar restricciones fijas en las ruedas. Como el modelo se simplificó lo más posible, se aplicaron esas restricciones en el eje trasero, donde se ubican las ruedas y en el tenedor donde va el pasador de la rueda delantera (figura 2.4).

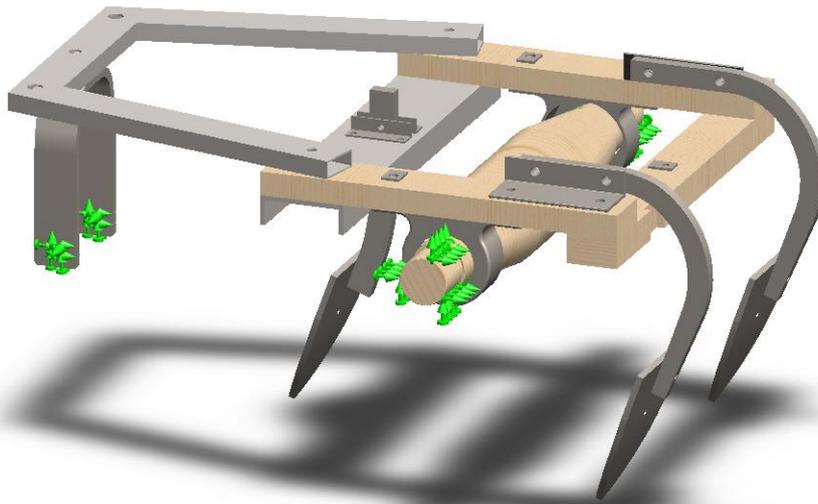


Figura 2.4. Modelo simplificado de la estructura portante con las restricciones del modelo.

2.6 Mallado del modelo (convergencia del modelo).

Para hallar una adecuada convergencia de las tensiones que se producen en el modelo, es necesario establecer un control de mallado para determinar una malla específica que se encuentre dentro del margen de error menor del cinco por ciento. Esto se basa en realizar varios estudios con las cargas y restricciones del modelo solicitado, con la diferencia de que para cada estudio se va disminuyendo la malla para obtener diferentes resultados en las tensiones, para luego utilizar ese resultado en el cálculo del error, empleando la siguiente ecuación.

$$Error (\%) = \frac{\sigma_{mayor} - \sigma_{menor}}{\sigma_{mayor}} * 100 \quad (2)$$

Este control se puede realizar para el modelo completo en general o independiente para cada componente, según sea la dificultad de su geometría. En nuestro caso se realizó un mallado a dos elementos en específico, que son la base de los soportes de los surcadores, las chumaceras donde van montados los rodamientos y en general para todo el resto del modelo, cuyos resultados se recogen en la tabla V.

Tabla V. Control de mallado en varios estudios.

Estudio No.	Elemento	Tamaño de elemento (mm)	Tensión máxima (Mpa)	Error (%)
1	1	15,63217954	467,996	-
	2	15,63217954	467,996	-
	3	31,26435859	467,996	-
2	1	13,8952707	487,258	3,95314187
	2	13,8952707	487,258	3,95314187
	3	28,13792273	487,258	3,95314187
3	1	13,8452707	496,1	1,78230196
	2	13,8452707	496,1	1,78230196
	3	28,10792273	496,1	1,78230196

Leyenda de la columna del elemento.

- 1 → Soporte de los brazos de los tapadores (ver figura 2.5).
- 2 → Chumacera de los rodamientos (ver figura 2.6).
- 3 → General para todo el modelo (ver figura 2.7).

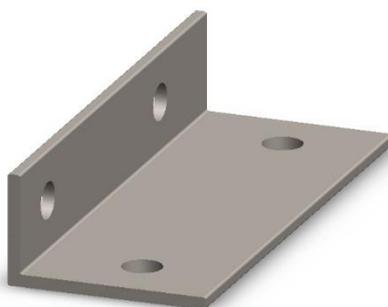


Figura 2.5. Soporte de los brazos de los tapadores.



Figura 2.6. Chumacera de los rodamientos.



Figura 2.7. Modelo en general.

Una vez realizado los diferentes estudios, con los diferentes tamaños de malla para los dos elementos y en general para el modelo se pudo determinar el mallado correcto en la tabla VI con un margen de error de **1,78 %**.

Tabla VI. Control de mallado seleccionado.

Elemento	Tamaño de elemento (mm)	Tensión máxima (MPa)	Error (%)
1	13,8452707	496,1	1,78230196
2	13,8452707	496,1	1,78230196
3	28,10792273	496,1	1,78230196

El mallado determinado tiene como características un total de 78648 nodos y un número total de elementos de 42796. La figura 2.8 muestra el mallado escogido.

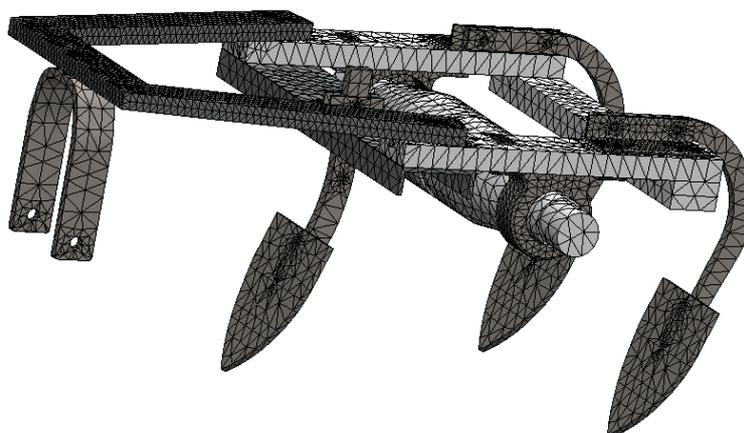


Figura 2.8. Mallado del modelo (Fuente: SolidWorks, 2014).

2.7 Resultados

A continuación se representan en figuras los resultados obtenidos del estudio.

Nombre de modelo: Ensamblaje de estudio
 Nombre de estudio: Análisis estático real del modelo (Predeterminado)
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1

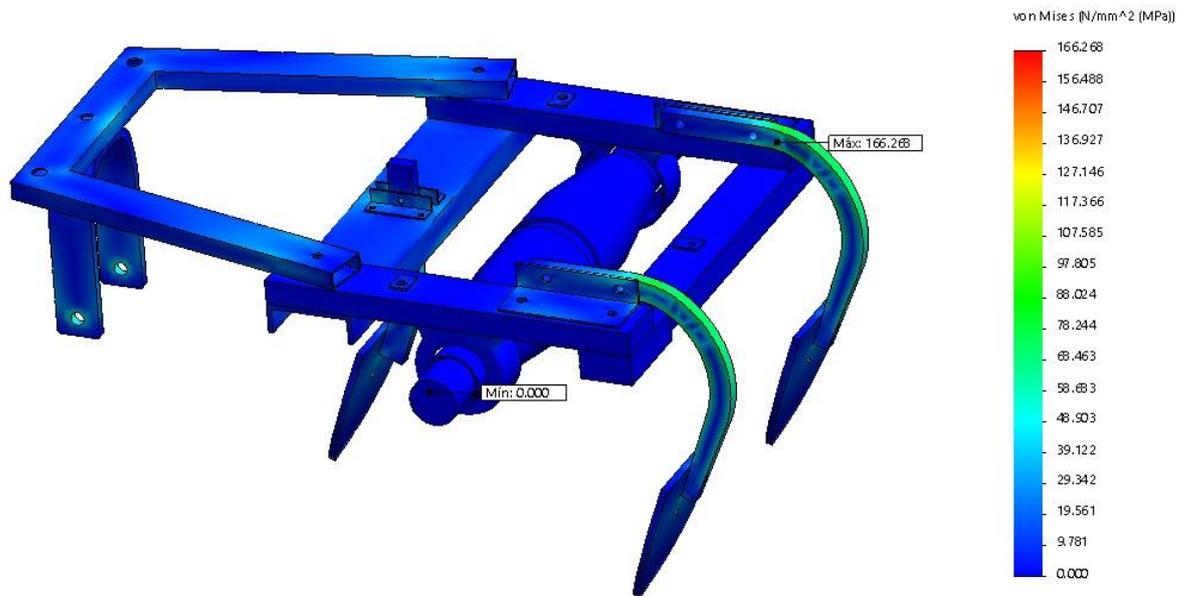


Figura 2.9. Tensiones de von Mises del modelo.

Nombre de modelo: Ensamblaje de estudio
 Nombre de estudio: Análisis estático real del modelo (Predeterminado)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1

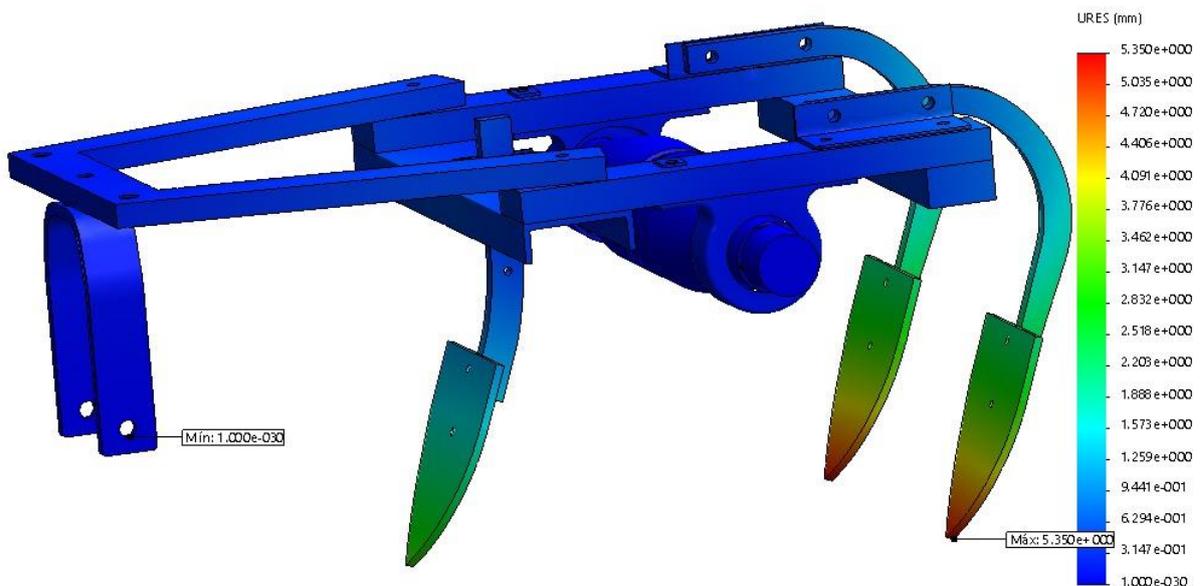


Figura 2.10. Desplazamiento estático del modelo.

Nombre de modelo: Ensamblaje de estudio
 Nombre de estudio: Análisis estático real del modelo (Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria e estática Deformaciones unitarias1

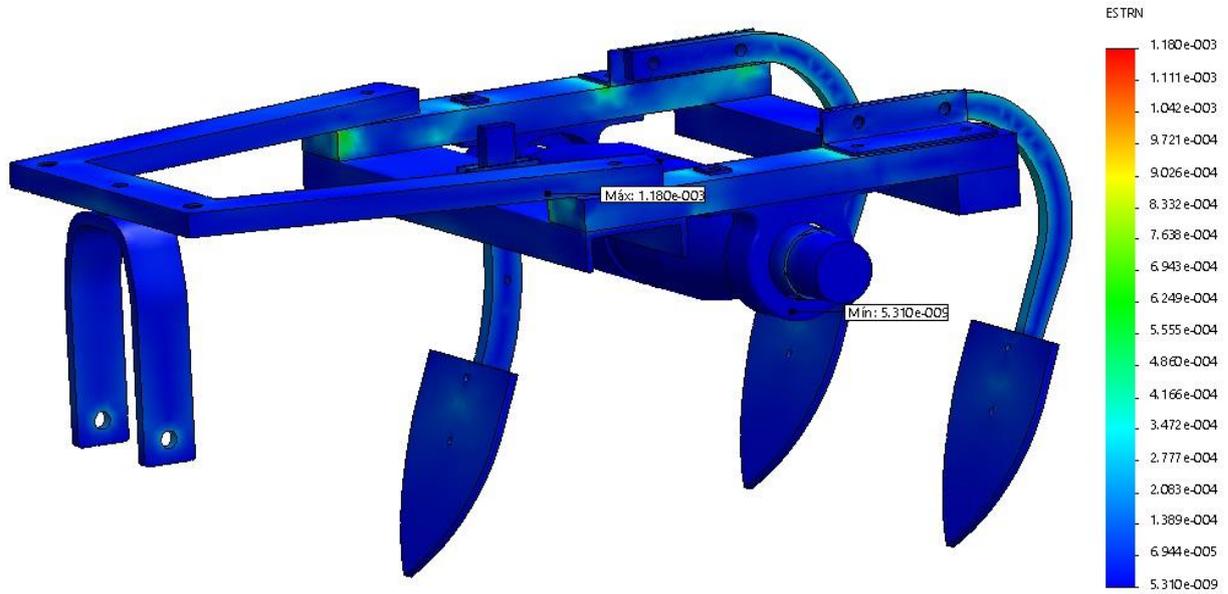


Figura 2.11. Deformaciones unitarias del modelo.

Nombre de modelo: Ensamblaje de estudio
 Nombre de estudio: Análisis estático real del modelo (Predeterminado)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
 Criterio: Automático
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 2,9

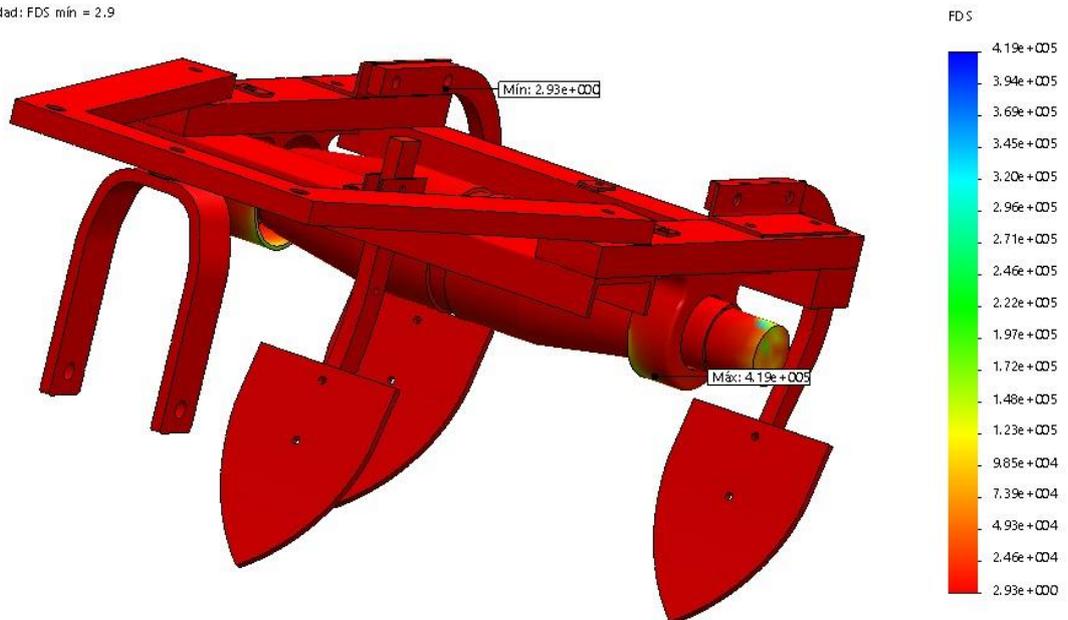


Figura 2.12. Factor de seguridad del modelo.

Como resultados tenemos que las tensiones de von Mises en la figura 2.9 tienen un valor máximo de 166,208 Mpa, existente en la parte superior de los brazos de los tapadores. Los desplazamientos estáticos en la figura 2.10 se generan en la punta de los tapadores con un valor máximo de 5.35 mm, donde es el componente que más tiende a desplazarse por su característica de trabajo. La figura 2.12 nos visualiza el factor de seguridad de modelo teniendo un valor mínimo de 2,9 y un valor máximo de 4,19e+005, lo que demuestra que el modelo está sobredimensionado, ya que este valor tiene que estar dentro del rango de 1,5 aproximadamente para que sea un buen modelo, tanto en su configuración geométrica, como en su dimensionamiento; porque este factor de seguridad dice que cuando es menor que uno el modelo falla, cuando es igual a uno sirve pero en determinado momento falla y cuando es mayor que uno el modelo no falla.

2.8 Valoración económica.

La agricultura es una de las labores más esenciales en nuestro país, ya que es una de las ramas fundamentales para el sustento de la economía. Esta sembradora aunque un poco rustica en su construcción, ha sido de gran ayuda en la productividad agrícola del sector campesino. Estas palabras se pueden comprobar en la CCS “José Martí” del municipio Calixto García en Holguín ya que ha sido beneficiada con esta máquina. Para esto, en el año 2013 antes de la existencia de la sembradora, la CCS produjo ese año en general una cantidad de 575 quintales de granos, y en específico por tipos de granos ver tabla VII, ingresando un valor de 192059 C.U.P.

Tabla VIII. Productividad del año 2013 de la CCS “José Martí”.

Tipos de granos	Producción (quintales)	Ingresos (C.U.P)
Maíz	503	127259
Frijol	72	64800

En el año 2014, con la implementación de la sembradora la productividad ascendió a 1695 quintales, y en específico ver tabla IX, ingresando 505828 C.U.P.

Tabla IX. Productividad del año 2014 de la CCS “José Martí”.

Tipos de granos	Producción (quintales)	Ingresos (C.U.P)
Maíz	1576	398728
Frijol	119	107100

Analizando estos datos, se puede decir que la implementación de la sembradora aumento la producción a 1073 quintales al año, ingresando un importe de 271469 C.U.P.

2.9 Valoración ambiental.

En la actualidad un factor clave en el diseño y construcción de maquinarias a gran escala es la repercusión ambiental, debido al estado actual del medio ambiente. Esta sembradora tapadora-fertilizadora es una gran contribuyente a la protección del mismo, debido a que es una máquina casera de tracción animal que tiene como ventaja que no emite ningún tipo de sustancia al medio ambiente o al terreno debido a su funcionamiento, y elimina también cualquier tipo de ruido en el proceso. Otro beneficio es la no compactación del suelo debido a su bajo peso de fabricación que es de 53.7 kg.

CONCLUSIONES

Con este trabajo de Diploma se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. Se determinó el modelo geométrico de la estructura portante de la sembradora de granos.
2. Se definieron y caracterizaron todos los materiales utilizados en la estructura.
3. Se realizó un estudio de convergencia de malla para determinar el tamaño de la malla a aplicar en el modelo.
4. En base a los resultados obtenidos en el estudio, se determinó que existe un sobredimensionamiento en las dimensiones de los componentes de la estructura.

RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios para rediseñar la estructura respecto a su forma geométrica, las dimensiones de sus componentes y hacer cambios en los materiales inadecuados.
2. Una vez rediseñada la estructura con los materiales y dimensiones, realizar otros estudios para aumentar la capacidad de carga de granos y fertilizante, con el objetivo de cambiar la tracción animal por tracción mecanizada.

BIBLIOGRAFÍA

1. [http://es.wikipedia.org/wiki/Historia de la Agricultura](http://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_la_Agricultura) [Consulta el 28 octubre del 2014].
2. [http://www.profesorenlinea.cl/universalhistoria/Historia de la agricultura.htm](http://www.profesorenlinea.cl/universalhistoria/Historia_de_la_agricultura.htm) [Consulta el 3 de noviembre del 2014].
3. <http://www.ehowenespanol.com/mecanizacion-agricultura-lista.htm>[Consulta el 5 de noviembre del 2014].
4. Martín Arias, P.: “El proceso de mecanización en la actividad agrícola”, ETSI Agrónomos, No. 187, Universidad Politécnica de Madrid, España, 2000, pp. 13-20.
5. Cortés, E: “Análisis de operaciones agrícolas mecanizadas”, Universidad Nacional, Colombia, Facultad de ciencias Agropecuarias, 1994, 115 pp.
6. Reseña del Instituto de Investigaciones de Mecanización: “Revista ciencias técnicas agropecuarias, ISSN (versión impresa): 1010-2760, Vol. 16, No. 001, Universidad agraria de La Habana, Cuba, 2007.
7. <http://www.redalyc.uaemex.mx> [Consulta el 6 de noviembre del 2014].
8. http://www.ecured.cu/index.php/Mecanización_Agrícola [Consulta el 3 de diciembre del 2014].
9. Sims, B. G.: “Mecanización para el pequeño agricultor”, Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, México, 1987, 284pp.
10. Suárez, J.; Ríos, A. y Campos, R.: “Política de mecanización agrícola en Cuba”, Instituto de Investigaciones de Mecanización Agropecuaria, La Habana, Cuba.
11. MINAG: “Estrategia del desarrollo de la mecanización”, IIMA, La Habana, 2002, 50 pp.
12. <http://www.mecymaq.criba.edu.ar/attachments/article/31/MAQUINAS%20ODE%20SIEMBRA.pdf> [Consulta el 5 de diciembre del 2014].
13. <http://www.abcpedia.com/construccion/maquinaria/sembradoras.htm> [Consulta el 5 de diciembre del 2014].

14. <http://www.cooperativasdegalicias.com/includes/descarga.php?file=/imagen/descargas/200406171150500.Sembradoras.pdf> [Consulta el 5 de diciembre del 2014].
15. <http://www.ecured.cu/index.php/Sembradora> [Consulta el 5 de diciembre del 2014].
16. Ríos, A.: “Máquinas agrícolas, tracción animal e implementos manuales”, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, La Habana, 2011.
17. <http://www.ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15013056/28084-3831.pdf> [Consulta el 10 de diciembre del 2014].
18. Otero Pereiro, L.: “Aprendiendo sobre el Método de los Elementos Finitos”, Facultad de Ingeniería Mecánica, CUJAE, La Habana, Cuba, 2006.
19. SolidWorks Office Premium, “Conceptos básicos de SolidWorks: Piezas y ensamblajes”, SolidWorks Corporation 300 Baker Avenue Concord, Massachusetts 01742 EE.UU, 2006.
20. [http://10.26.4.3/docencia/facing/pregrado/ingmecanica/docencia/elementosfinitos/Ejemplos de análisis/ Análisis en Ingeniería.pdf](http://10.26.4.3/docencia/facing/pregrado/ingmecanica/docencia/elementosfinitos/Ejemplos%20de%20análisis/Análisis%20en%20Ingeniería.pdf) [Consulta 6 de enero del 2015].
21. Estrada, R.: “Diseño Asistido por Computación (CAD) SolidWorks 2006”, Curso: Herramientas Informáticas aplicadas al Diseño Mecánico Avanzado, CE CAD/CAM, Universidad de Holguín, Cuba, 198 pp.
22. Calzadilla Dubras, H. y Rodríguez Peña, F.: “Diseño asistido por computadora (CAD) para técnicos y alumnos de las especialidades de diseño mecánico y tecnológico”, Curso básico de SolidWorks, ASIMEC, Asociación de Ingenieros Mecánicos, Holguín, Cuba, 2005, 105 pp.
23. Zienkiewicz, O. C. y Taylor, R. L.: “El Método de los Elementos Finitos”, 4^{ta} Edición, Vol. 1: Formulación básica y problemas lineales, CIMNE, Barcelona, España, 1994, 650 pp.
24. Zienkiewicz, O. C. y Taylor, R. L.: “El Método de los Elementos Finitos”, 4^{ta} Edición, Vol. 2: Mecánica de Sólidos y Fluidos, CIMNE, Barcelona, España, 1995, 865 pp.

25. [http://10.26.4.3/docencia/facing/pregrado/ingmecanica/docencia/elementosfinitos/Libros/El_MEF/ El método de los elementos finitos.htm](http://10.26.4.3/docencia/facing/pregrado/ingmecanica/docencia/elementosfinitos/Libros/El_MEF/El_método_de_los_elementos_finitos.htm) [Consulta 7 de enero del 2015].
26. Estrada, R. y E. González Utria: “Fundamentos de la Medición de Tensiones y Deformaciones”, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Holguín, Cuba, 2001, 77 pp.
27. Spyraokos C. C.: “Finite Element Modelig in Engineering Practice”, West Virginia University, Morgantown, W. V., 1994.
28. Silovsky, K. y Oliva, J.: “Resistencia de Materiales”, Editorial Científico Técnica, 1995, 761 pp.
29. Crisfiel, M. A.: “Finite Element Analysis of Solids and Structures”, Vol. 1, Chichester, UK, 1991.
30. Cook, R. D.: “Finite Element Modelig for Stress Analysis”, University of Wisconsin – Madison, 1995.
31. Singiresu S, Rao: “The Finite Element Method in Engineering”, 4^{ta} Edition, 2004, 658 pp.
32. Calzadilla Dubras, H.: “Optimización del bastidor principal de un alisador agrícola para el cultivo de arroz”, Tesis para optar por el título de master en CAD-CAM, Universidad de Holguín, CE: CAD/CAM, 2005.
33. Estrada, R.: “Herramientas informáticas aplicadas al diseño mecánico avanzado”, Curso, Universidad de Holguín, 2006.
34. Pisarenko, G. S.; Yákovlev, A. P. y Matvéev, V. V.: “Manual de resistencia de materiales”, Editorial Mir Moscú, 1979, 698 pp.
35. Software SolidWorks, Dassault Systemes, Biblioteca de materiales, versión 2014.
36. Conferencia # 9: “Equipos de tracción animal”, Maestría Máquinas Agrícolas, Dr. C. Sánchez, J. R., Universidad de Holguín Oscar Lucero Moya, Cuba [Consulta 20 de marzo del 2015].