

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA



Diseño de un tractor a escala para espacios pequeños en SolidWorks SP5.0

Por:

ORLANDO HERNÁNDEZ LUGO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Saltillo, Coahuila, México.

Febrero de 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

Diseño de un tractor a escala para espacios pequeños en SolidWorks SP5.0

Por:

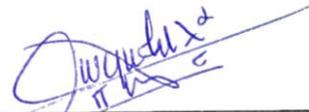
ORLANDO HERNÁNDEZ LUGO

TESIS

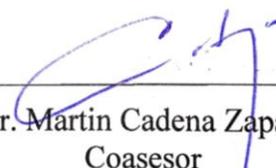
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

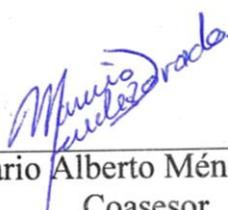
Aprobada por el Jurado Examinador



M.C. Juan Antonio López López
Asesor principal



Dr. Martin Cadena Zapata
Coasesor



Dr. Mario Alberto Méndez Dorado
Coasesor



MC. Sergio Sánchez Martínez

Saltillo, Coahuila, México.

Febrero de 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

Diseño de un tractor a escala para espacios pequeños en SolidWorks SP5.0

Por:

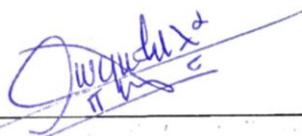
Orlando Hernández Lugo

TESIS

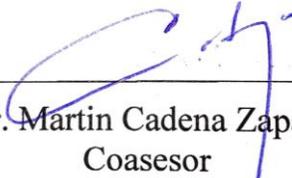
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

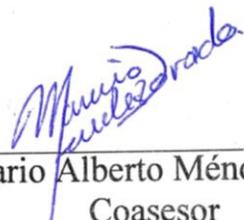
Aprobada por el Comité de Asesoría:



M.C. Juan Antonio López López
Asesor principal



Dr. Martin Cadena Zapata
Coasesor



Dr. Mario Alberto Méndez Dorado
Coasesor

Saltillo, Coahuila, México

Febrero de 2022

DECLARACIÓN PERSONAL DE NO PLAGIO

D. Orlando Hernández Lugo, estudiante del programa docente de Ing. Mecánico Agrícola, con matrícula 41176141, en el departamento de Maquinaria Agrícola en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro como autor de este documento académico titulado:

Diseño de un tractor a escala para espacios pequeños en software CAD

y presentado como trabajo a opción de titulación del grado de ingeniería correspondiente,

DECLARO QUE

es fruto de mi trabajo personal, que no copio, que no utilizo ideas, formulaciones, citas integrales o ilustraciones diversas, extraídas de cualquier obra, artículo, memoria, etc. (en versión impresa o electrónica), sin mencionar de forma clara y estricta su origen, tanto en el cuerpo del texto como la bibliografía.

Así mismo, que soy plenamente consciente de que el hecho de no respetar estos extremos es objeto de sanciones universitarias y/o de otro orden legal.

En Buenavista, Saltillo, Coahuila de Zaragoza a 28 de enero de 2022



Firma del alumno

DEDICATORIA

Al M.C. Juan Antonio López López por la orientación y el apoyo recibidos en el transcurso de la realización del proyecto.

A los profesores del departamento de Maquinaria Agrícola por estar al pendiente de la realización del proyecto.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por brindar la oportunidad de superación personal y profesional a tantas personas sin importar sus condiciones.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la oportunidad de realizar mis proyectos personales, a mis padres Rubén, Carmen y a mi hermana Grecia por darme su apoyo incondicional en mis proyectos acompañado de los mejores consejos y darme el valor para probarme a mí mismo.

A toda mi familia y amigos por darme su apoyo para poder aventurarme a conocer nuevos horizontes.

A todas las personas que se cruzaron en mi camino por la Universidad y me ayudaron de alguna forma ya que todos aportaron un grano de arena para mi formación profesional y mi desarrollo personal.

A mis maestros que me alentaron a mejorar como estudiante y como persona.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN PERSONAL DE NO PLAGIO.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
1. INTRODUCCIÓN	1
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Hipótesis	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Antecedentes	4
2.2. La oferta de tractores en México.....	4
2.3. Situación actual de tractores agrícolas en las unidades de producción en México.....	9
2.4. Diseño de tractores pequeños.....	12
2.5. Uso de software para diseño y simulación de elementos mecánicos	14
3. MATERIALES Y MÉTODOS	17

3.1. Diseño de la estructura del tractor agrícola.....	17
3.2. Acondicionamiento de la transmisión.....	17
3.3. Acondicionamiento de la caja de velocidades	17
3.4. Acondicionamiento de la dirección.....	20
3.5. Propuesta del diseño del tractor.	21
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1. Resultados del diseño de la estructura del tractor agrícola.	22
4.2. Resultados del acondicionamiento de la caja de velocidades	25
4.3. Resultados del acondicionamiento de la dirección.	30
4.4. Resultados de la propuesta de diseño del tractor a escala.....	34
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	38
5.1. Conclusiones	38
5.2. Recomendaciones.....	38
6. LITERATURA CITADA.....	40

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Porcentaje de tractores propios según años de uso.....	10
Cuadro 2. Porcentaje de unidades de producción con uso de tractor según derechos sobre el tractor.	11
Cuadro 3. Relación de velocidades en el rango de 1200 a 3600 RPM.	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tractor de ruedas cubiertas 1900.....	4
Figura 2. Tractor John Deere 5415 modelo 2020.....	5
Figura 3. Tractor John Deere 5615 modelo 2020.....	5
Figura 4. Tractor John Deere 5715 modelo 2020.....	6
Figura 5. Tractor New Holland modelo TS6000 – Tier 2 2020.....	6
Figura 6. Tractor New Holland modelo TT75 – 4WD.....	7
Figura 7. Tractor Massey Ferguson serie Classic.....	7
Figura 8. Tractor Massey Ferguson serie MF 2600.....	8
Figura 9. Tractor McCormick A-Max.....	8
Figura 10. Tractor McCormick S-Max.....	9
Figura 11. Distribución porcentual de la superficie sembrada y producción, según estratos de superficie sembrada de maíz de grano blanco.....	9
Figura 12. Dibujo técnico hecho a mano.....	15
Figura 13. Diseño de biela en software SolidWorks.....	16
Figura 14. Engranajes cónicos del sistema de dirección.....	20
Figura 15. Selección de la estructura del chasis.....	22
Figura 16. Desplazamiento del chasis en el análisis de carga normal.....	23
Figura 17. FDS del chasis en el análisis de carga.....	24
Figura 18. Diagrama de corte del chasis en el análisis de carga.....	24
Figura 19. Diagrama de momentos flectores del chasis en el análisis de cargas.....	25
Figura 20. Primera vista de caja de velocidades.....	26

Figura 21. Vista de las condiciones de los componentes internos y externos de la caja de cambios.	27
Figura 22. Limpieza de las partes internas de la caja de cambios.	28
Figura 23. Elementos limpios y ordenados de la caja de cambios.	28
Figura 24. Caja de velocidades armada y detallada.	29
Figura 25. Sistema de dirección.	30
Figura 26. Engranajes y juego de crucetas del sistema de dirección	31
Figura 27. Análisis de torsión del sistema de dirección. (Desplazamiento)	32
Figura 28. Factor de seguridad (FDS) del análisis de torsión del sistema de dirección.	33
Figura 29. Desplazamiento en el análisis de carga del eje delantero.	33
Figura 30. FDS del eje delantero en el análisis de carga.	34
Figura 31. Vista inferior del dibujo con cotas de longitud y anchura total.	35
Figura 32. Vista lateral del diseño del prototipo.	36
Figura 33. Presentación de diseño de prototipo.	37

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el tractor es la fuente de potencia para los procesos de labranza del suelo en México. Dentro de las unidades de producción, 65.8% cuenta con maquinaria propia y la distribución de los porcentajes de esos tractores, 49.3% corresponde a tractores con potencia entre 70 y 100 hp, 15.8% entre 40 y 70 hp, 3.7% con hasta 40 hp, y el resto es mayor a 100 hp (INEGI, 2019). Con la distribución de terreno para cultivos, muchos productores cuentan con terrenos de 5 hectáreas (ha) y mucho más con menores a 3 ha lo que indica que hay una necesidad de maquinaria ligera de baja potencia, ya que para el uso de esa maquinaria en espacios pequeños resulta complicado por las dimensiones del mismo y los altos costos de producción por el consumo de energía.

Tradicionalmente, la agricultura en pequeña escala se ha identificado con el concepto de campesino, a quien se señala como el productor rural inserto en una cultura tradicional (Macías, 2016).

Un problema a resolver en los sistemas actuales de producción de cultivos es reducir al mínimo el uso de energía, ya que para las labores de establecimiento de cultivos se requiere un gran consumo de energía en forma de combustible, este es un factor que limita el uso de equipos en la mecanización agrícola, pues reduce el costo beneficio del sistema de producción, no obstante, si se implementan cambios tecnológicos apropiados en los sistemas de producción de alimentos, se estima que se puede reducir hasta 50% el uso de energía fósil en los mismos (Pimentel *et al.*, 2008).

Tomando en consideración este punto, es necesario desarrollar tecnología de implementos cada vez más eficientes. Esta propuesta tiene como propósito, el desarrollar un

tractor a escala para las labores y monitoreo del desarrollo de cultivos de espacios pequeños y de bajo costo, para la reducción en el uso de energía.

1.1. Planteamiento del problema

Alrededor del 53% de las unidades de producción en México tienen un uso del tractor en alguna etapa productiva, de las cuales solamente el 27% tienen un tractor propio y alrededor del 65% recurre a la renta del mismo.

El 23.5% de los productores de México utilizan tractores que tienen más de 15 años de uso y la mayoría de los productores que utilizan esta maquinaria son pequeños productores.

Poco más del 56% de los productores mexicanos tienen 10 hectáreas o menos, pero producen solamente poco más del 40% de la producción total nacional de maíz, esto debido a que carecen de la tecnología necesaria para obtener mejores rendimientos.

1.2. Justificación

El 56.2% de los productores de maíz blanco tienen menos de 10 hectáreas, lo cual vuelve poco probable que sean aceptados en créditos para la adquisición de equipo, y el 41.9% de la producción nacional se concentra en el 28% de los productores, reporta la ENA17.

La mayoría de las unidades de producción tienen maquinaria en los rangos de potencia media por lo que, para unidades de producción menores a 5 hectáreas, estos serían poco rentables para el establecimiento de los cultivos, por lo que se requiere desarrollar maquinaria y equipo a escala entre los rangos de 8 a 12 hp como fuentes de potencia para el establecimiento de los cultivos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un tractor a escala en el SolidWorks SP5.0 para el ahorro de energía en labores y monitoreo de desarrollo de cultivos en superficies pequeñas.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar un tractor a escala en SolidWorks.
- Simular esfuerzos en elementos del tractor.
- Acondicionamiento de elementos tractor.

1.4. Hipótesis

A través del software diseño SolidWorks es posible diseñar un tractor a escala aplicado en el monitoreo y realización de labores de los cultivos en superficies pequeñas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

El tamaño de los tractores al inicio de su historia (1880-1910) era prácticamente el de una casa y su masa era de unas 41 toneladas (figura 1), siendo impulsados por máquinas de vapor y motores a gasolina muy rudimentarios y muy poco eficientes teniendo altos precios.

Con el paso del tiempo los tractores han evolucionado y mejorado tecnológicamente, así como reducido en tamaño y precio.

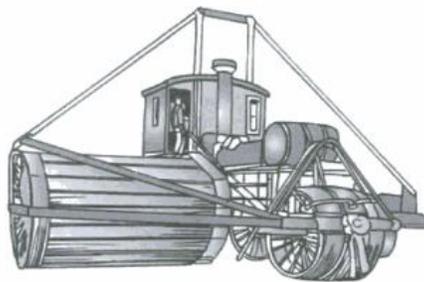


Figura 1. Tractor de ruedas cubiertas 1900.

2.2. La oferta de tractores en México.

La oferta actual de tractores ensamblados en el país es de cuatro empresas así distribuidas (Negrete *et. al.*, 2013).

1.- Industrias John Deere, compuesta de tres plantas, una en Garza García, Nuevo León, México, dedicada a la fabricación de implementos agrícolas entre los que se encuentran los roturadores, arados, rastras, sembradoras, picadoras de forraje, cultivadoras y desmenuzadoras, con la cual se iniciaron operaciones en México en 1995. Otra en Santa Catarina, Nuevo León, México, la cual está enfocada a la fabricación de cucharones y componentes para equipo industrial y la Planta Saltillo, Coahuila, la única dedicada a la fabricación de tractores.

En esta planta se ensamblan los equipos de la serie 5015 que consta de los modelos 5415 (Figura 2), 5615 (Figura 3) y 5715 (Figura 4), que rondan desde los 77 hasta los 89 hp.



Figura 2. Tractor John Deere 5415 modelo 2020



Figura 3. Tractor John Deere 5615 modelo 2020



Figura 4. Tractor John Deere 5715 modelo 2020

2.- CNH de México posee la planta en Querétaro, Qro. Los productos fabricados por la compañía incluyen tractores de tracción sencilla y doble tracción con rangos de potencia de 50 a 120 hp principalmente, equipo forrajero, empacadoras, equipo de arado, segadoras y otros productos de las marcas New Holland y Case IH, la primera llegando en 1964 a México. En esta planta se ensamblan modelos tales como TS6000 – Tier 2 (Figura 5) y la serie TT con el TT75–4WD (Figura 6).



Figura 5. Tractor New Holland modelo TS6000 – Tier 2 2020



Figura 6. Tractor New Holland modelo TT75 – 4WD

3.- AGCO de México, S. de R.L. de C.V. fábrica de tractores bajo la marca Massey Ferguson y Challenger, en una planta de Querétaro, Qro.

En esta planta se ensamblan modelos de las series Classic como el MF 285 (Figura 7), que van de los 35 a los 105 hp, y MF 2600 como el MF 2680E (Figura 8), de los 85 a los 105 hp, de Massey Ferguson.



Figura 7. Tractor Massey Ferguson serie Classic MF 285.



Figura 8. Tractor Massey Ferguson serie MF 2600 modelo MF2680E.

4.- La empresa McCormick Tractores de México, es una empresa de tractores, que comenzó sus actividades el 14 de mayo del 2003, en Silao, Gto. En esta planta se arman los tractores McCormick con 8 diferentes modelos que van desde los 29,83 kW hasta 171,51 kW (40 hasta los 230 hp).

Algunos de los modelos que aquí se ensamblan son los A-Max (Figura 9) y los S-Max (Figura 10) que van de los 50 a los 90 hp.



Figura 9. Tractor McCormick A-Max.



Figura 10. Tractor McCormick S-Max.

2.3. Situación actual de tractores agrícolas en las unidades de producción en México.

Actualmente el 56.2% de los productores de maíz de grano blanco en México, cuentan con una superficie menor a las 10 hectáreas según la Encuesta Nacional Agropecuaria de 2017 (ENA, 2017) (Figura 11). Para este tipo de productores los precios de los tractores siguen siendo muy elevados a pesar de que van a la baja con el paso de los años.

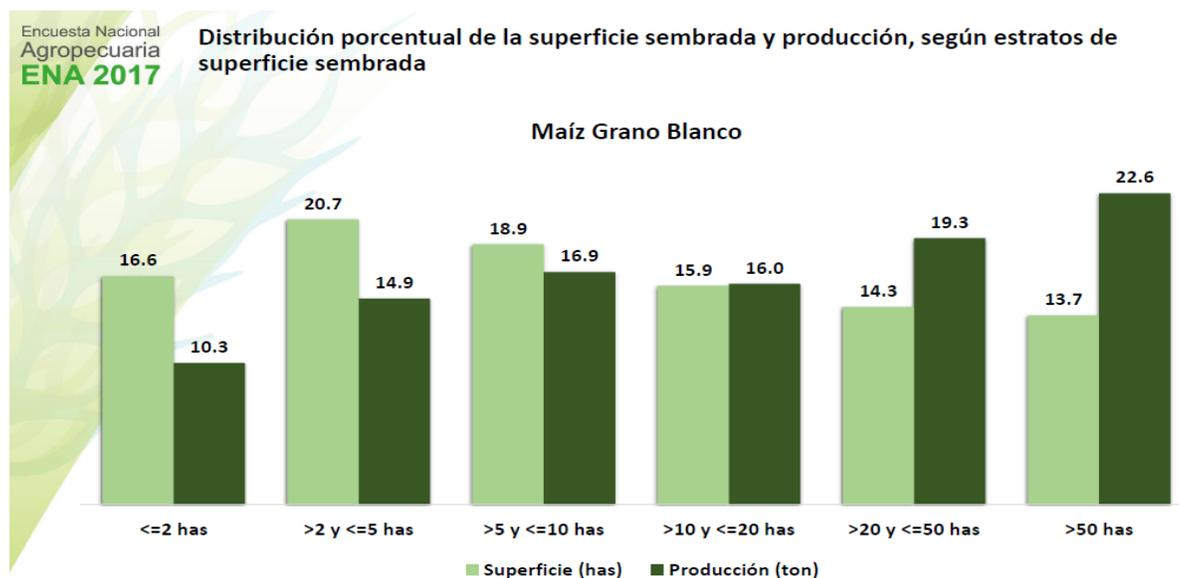


Figura 11. Distribución porcentual de la superficie sembrada y producción, según estratos de superficie sembrada de maíz de grano blanco.

Por el alto precio de la maquinaria en el mercado mexicano es complicado que los pequeños productores, e incluso algunos medianos, adquieran la maquinaria que necesitan según reporta el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) por medio de la ENA17, causando que la mayoría de los productores recurran a la renta de la maquinaria o a la utilización de maquinaria obsoleta y la mayoría de ellos rebasan los 15 años de uso, haciendo poco eficiente y rentable su uso, como se observa en la Tabla 1.

Cuadro 1. Porcentaje de tractores propios según años de uso.

Porcentaje de tractores propios según años de uso	
Datos del 30 de septiembre de 2017	
Años de uso de los tractores propios	Porcentaje
Total de tractores	100.00
Años de uso de los tractores	
Hasta 5 años	16.91
Más de 5 hasta 10 años	19.68
Más de 10 hasta 15 años	12.09
Más de 15 años	44.25
No especificado	7.06

Dadas las condiciones previamente mencionadas se tiene que la mayoría de los productores recurren a la renta de maquinaria por ser la opción más rentable para el establecimiento de los cultivos como se muestra en la Tabla 2, donde se puede apreciar que el

porcentaje de tractores rentados es poco más del doble del porcentaje de tractores propios siendo 65% rentados y 27% propios.

Cuadro 2. Porcentaje de unidades de producción con uso de tractor según derechos sobre el tractor.

Porcentaje de unidades de producción con uso de tractor según derechos sobre el tractor.

Datos del 30 de septiembre de 2017

Derechos sobre el tractor	Porcentaje
Unidades de producción	100.00
Con uso de tractor	53.05
Derechos sobre el tractor	
Tractor propio	27.41
Tractor rentado	65.14
Tractor prestado	8.66

En las zonas de agricultura tradicional de pequeña escala productiva, para cultivos como el maíz, la tracción predominante aun es animal, esto se explica por las condiciones orográficas y socioeconómicas en las que se encuentran las zonas de producción. Sin embargo, existe una gran demanda de tractores entre los productores dedicados a este cultivo y considerando que éstos utilizan tracción mixta, puede decirse que aproximadamente 51% de la superficie de siembra de maíz utiliza tractores en su cultivo (Maser, 1990). Los cuales están en la clasificación de tractores de potencia media.

El uso del tractor agrícola provoca una subutilización de su potencia en la mayoría de los campos del país. Esto sucede ya que éstas tienen una superficie promedio de unidad de producción baja, así se aprecia que 91.1% de los productores de México poseen superficies medias iguales o menores de 7.65 ha, lo cual es una limitante para el desarrollo de la producción agrícola. (Cruz y Martínez, 2001).

Un aspecto que cabe destacar es la intensidad de uso del tractor en relación con la superficie cultivada depende de dos factores básicos. El primero el sistema de agricultura que se utilice mientras más intensivo es el sistema agrícola más intensidad de uso se tendrá del tractor. El otro factor que la mide es la fuerza de trabajo agrícola integrada al proceso de producción que se debe contabilizar en el trabajo que realizará el tractor para que este no sea subutilizado.

2.4. Diseño de tractores pequeños

Algunos desarrollos que se han realizado son Tractor de tres ruedas Tractor proyectado en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de México en 1975. La característica esencial de este tractor en comparación a otros tractores es su precio mucho más bajo comparado con los existentes en el mercado, el número reducido de sus componentes, hacen que los gastos de mantenimiento sean bajos, por ello el tractor se muestra apropiado para ejecutar los trabajos agrícolas básicos en propiedades pequeñas (Díaz, 1976). El tractor se proyectó para usar dos tipos de motores (diésel y gasolina), y en ambos casos la potencia es de 18 hp (Horsepower – caballo de potencia).

El tractor trineumático presenta una configuración de triciclo y quedan eliminados una de las ruedas motrices y el diferencial, en comparación con los tractores comerciales tradicionales. La transmisión opera solo con dos velocidades hacia adelante y una en reversa. La caja de velocidades se distingue por carecer de flechas estriadas y engranes deslizantes sobre su eje de rotación, nuevamente comparados con los usados en cajas convencionales. En su lugar se emplean engranes que se desplazan en su propio plano y enlazan radialmente. La etapa final de la transmisión es una reducción de cadena, que va desde la caja de velocidades hasta la catarina en la rueda trasera. El mecanismo de la dirección usa una reducción de cadena del volante a las ruedas delanteras, también está equipado con un freno de disco que opera sobre la flecha de salida de la caja de velocidades, asimismo está incluido un mecanismo de levante de los implementos con un accionador hidráulico operado manualmente mediante una bomba de pistón. En el chasis cuenta con perfiles comerciales PTR de $4 \times 4 \times 1/4$. La fuerza motriz es de un motor de gasolina de 4 tiempos encendido por cran de 18 hp (13.4 kW) a 3400 rpm (revoluciones por minuto) con el cual se obtienen velocidades de 2.2 y 7.9 km/h respectivamente hacia adelante y 2.2 km/h en reversa, según Gutiérrez (2009).

En la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México, se diseñó este tipo de tractor como tesis del programa docente de Diseñador Industrial, como objetivo inicial del proyecto, fue diseñar un vehículo de trabajo agrícola funcional y de bajo precio, como parte de la infraestructura para la adecuada explotación del campo mexicano. El tractor ofrece como un vehículo automotor que arrastra, empuja y suministra fuerza motriz a todo tipo de herramientas, esto es, utilizando motor, caja de transferencia y chasis del vehículo que más se adecua a las funciones del tractor. (Correa, 2002).

Desarrollado en Davis, California por Lara (1979), como parte de su trabajo de tesis de doctorado, y continuando su desarrollo en la FIME Facultad de Ingeniería de la Universidad de Guanajuato, como parte de la alternativa para proveer de potencia al sector de agricultura en México. En un motocultor o tractor de un eje y dos ruedas, no tiene ruedas delanteras y mecanismo de dirección entonces es menos costoso que un tractor de dos ejes y cuatro ruedas a un mismo nivel de potencia. Sin embargo, debido a la diferencia en la fatiga del operador es más conveniente para operar. Debido a las anteriores razones se eligió el tractor de un eje, que pueda ser convertido en una unidad de 4 ruedas con el montaje de un pequeño asiento, este motocultor presenta la característica única de tener más despeje que los motocultores convencionales comerciales y así para poder ser usado cuando las plantas presentan mayor crecimiento. El motocultor está equipado con un motor de gasolina de 5.8 kW (7.77 hp), a 3600 rpm. Esta potencia es debido a que el diseñador de este motocultor encontró que para el sector de subsistemas la potencia óptima del promedio de tamaño de propiedades (8 ha) es de 5.16 kW (6.91 hp).

2.5. Uso de software para diseño y simulación de elementos mecánicos

En el diseño mecánico se ha tenido una evolución tecnológica importante, anteriormente los cálculos y los modelos eran hechos a mano (figura 12), trayendo como consecuencia que se tomen en cuenta nuevos parámetros o desarrollen más a fondo algunos otros.

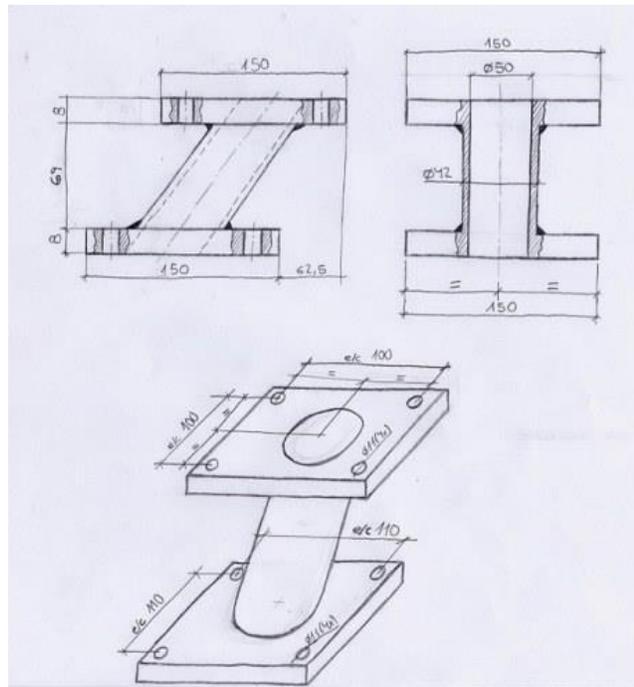


Figura 12. Dibujo técnico hecho a mano

Los materiales que se emplean para la fabricación han cambiado mucho gracias a la entrada de aleaciones al mercado dando como consecuencia las mejoras de las propiedades mecánicas.

Gracias a la computación actual se han desarrollado softwares paramétricos que ayudan a hacer cálculos, simulaciones 3D que nos ayudan a prevenir errores en el diseño y fabricación de los elementos, además de permitir conocer realmente el comportamiento de los elementos (figura 13).

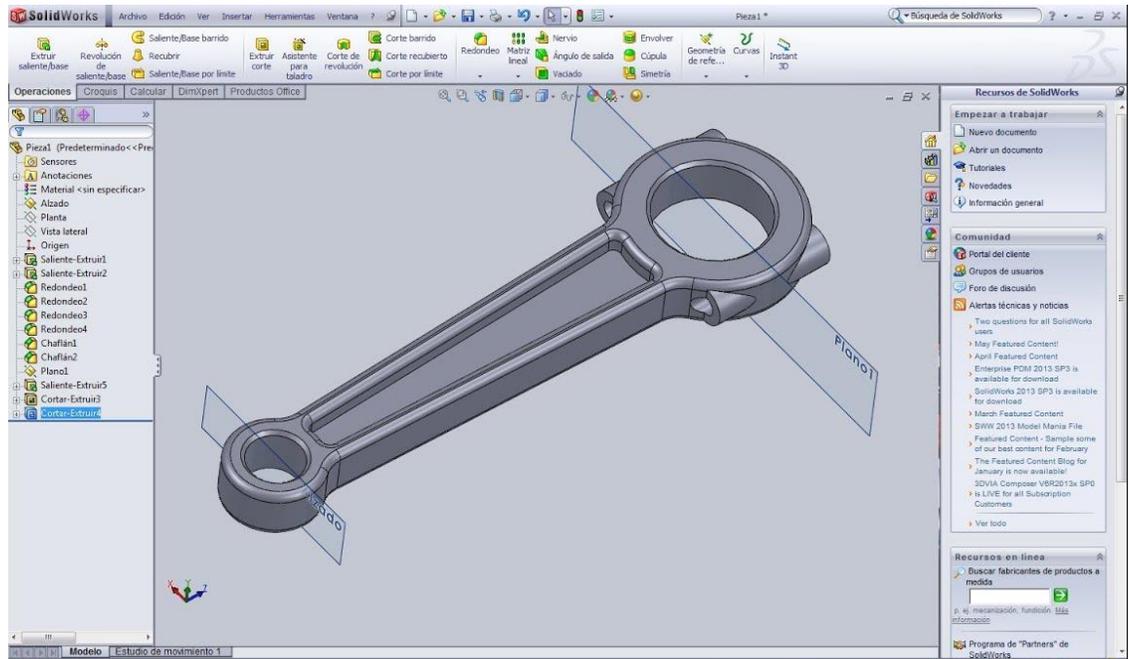


Figura 13. Diseño de biela en software SolidWorks.

Un software paramétrico muy conocido, y el que se va a utilizar en este proyecto es SolidWorks.

SolidWorks es un software de diseño CAD 3D para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software que ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. Sus productos la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el cumplimiento del objetivo de este proyecto se utilizaron estos materiales y métodos que se describen en esta sección.

3.1. Diseño de la estructura del tractor agrícola.

La estructura del tractor se diseñó tomando en cuenta materiales disponibles en el parque de maquinaria. Se buscó la funcionalidad y simplicidad tanto en diseño y fabricación como en operación y mantenimiento. Los materiales también deben ser accesibles por lo que se eligieron los más comunes o comerciales como el acero A36 ya que es denominado estructural y muy utilizado en la industria.

Para determinar los espesores se tomaron en cuenta las cargas más significativas presentes como el peso del operador y del motor habiendo procurado que el Factor de Seguridad (FDS) sea mínimo de dos por seguridad del operador.

3.2. Acondicionamiento de la transmisión.

La transmisión de potencia se adaptó por medio de cadenas con un embrague de resorte sencillo, se eligió este tipo transmisión porque tiene menor pérdida, no presenta patinamiento como en las poleas y bandas y tiene menor peso que en los engranajes.

También la accesibilidad en precios y existencia de las cadenas y su bajo costo de mantenimiento.

3.3. Acondicionamiento de la caja de velocidades

La caja de velocidades se encontraba en malas condiciones por falta de mantenimiento y uso por un periodo de tiempo prolongado, las guías y las láminas de la palanca de cambios se

encontraban con presencia de óxido y una movilidad nula, los engranajes contaban con muchos residuos de aceite que perdió todas sus características físicas.

La junta de la caja de velocidades se encontró fisurada en varios segmentos de su extensión y con un alto grado de deterioro.

Se removió la tornillería de la tapa de la caja de velocidades para poder acceder a las piezas internas para aplicar mantenimiento correctivo.

Se retiró la junta de la tapa y se removió el aceite en su totalidad, para poder realizar limpieza de todos los remanentes del aceite en mal estado con solventes como lo son la gasolina. Se removieron las guías y las láminas de la palanca de cambios para remover el óxido con lija de número 100 y proceder a limpiar residuos con solventes.

Se desarmó el diferencial para determinar el estado de los engranes interno, los empaques y seguros omega.

Se removió la capa de pintura y óxido externa de la tapa de la caja de velocidades con lija de número 80 con la finalidad de preparar su superficie para la aplicación de pintura para su protección.

La junta de la tapa se sustituyó por una nueva que fue fabricada manualmente calcando la figura de la antigua en un folder y recortando los excedentes hasta que se obtuvo la figura deseada.

Se reordenaron los engranajes una vez estuvieron libres de toda suciedad y estuvo revisada su integridad física.

Se hicieron pruebas aplicando movimiento de entrada de manera manual para comprobar que las velocidades entran de manera suave y tienen saltos ni obstrucciones en el movimiento, una vez hechas la pruebas se colocó la junta en su lugar asegurándola con silicón sellador negro para altas temperaturas.

Se vertió aceite para transmisión por el orificio de suministro hasta el nivel óptimo.

Se realizó limpieza de la tapa de la caja de velocidades para poder aplicar dos capas de pintura de color negro anticorrosiva.

Se obtuvo una tabla de relaciones de transmisión para determinar los rangos de velocidades en las que puede operar el tractor en campo. Para esto se utilizaron las ecuaciones siguientes (Mott, 2006):

$$R_T = \frac{S}{E} \quad (1)$$

Siendo R_T la relación de transmisión, S la salida de la caja de velocidades y E el movimiento de entrada que viene del motor.

$$vueltas = R_T * e \quad (2)$$

Siendo *vueltas* el número de vueltas que resultan de la multiplicación de R_T y e , donde e es la entrada de RPM que nos interesa saber su desplazamiento.

$$distancia = vueltas * \emptyset * \pi \quad (3)$$

Siendo *distancia* la distancia que va a desplazar linealmente y \emptyset el diámetro de la rueda en metros multiplicado por π para calcular la circunferencia.

A este punto tenemos la velocidad en metros/minutos y nos interesa más tenerla en km/hr.

$$fc = \left(1 \frac{\text{metro}}{\text{minuto}}\right) \left(\frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ metros}}\right) \left(\frac{60 \text{ minutos}}{1 \text{ hr}}\right) = \frac{60}{1000} = 0.06$$

Se multiplica el fc que es el factor de conversión y la *distancia* para calcular la velocidad lineal en km/hr.

$$v_s = fc * distancia \quad (4)$$

3.4. Acondicionamiento de la dirección

El sistema de dirección se diseñará de manera simple en fabricación, operación y manutención.

Se tomará en cuenta la ergonomía del operador tanto como la fuerza necesaria para hacer girar las ruedas delanteras en operación para evitar fatiga y lesiones, también en función del radio de giro del mismo ya que el desarrollo del tractor es para espacios pequeños.

Se utilizarán tubos huecos de acero AISI 1020 y los espesores se diseñaron con base en la fuerza resultante de reacción a los momentos de torsión por las cargas presentes en el equipo, esto se realizará simulando los elementos de dirección con un análisis estático en el software SolidWorks versión 2020 SP5.0

Para poder dar una inclinación confortable al volante se tiene como propuesta en el diseño el uso de un sistema de dos crucetas para transmitir el movimiento y el par de torsión del volante, los engranes propuestos para la dirección serán dos cónicos con relación de giro de 2:1 para aumento de torque (figura 14).

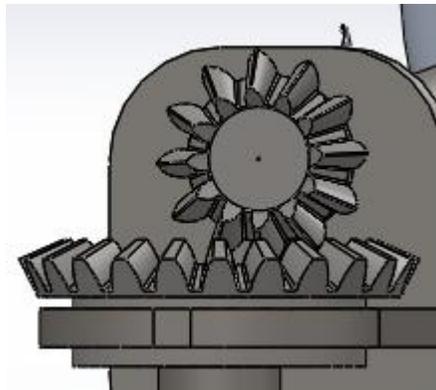


Figura 14. Engranes cónicos del sistema de dirección.

3.5. Propuesta del diseño del tractor.

Se integra todos los componentes analizados y desarrollados para la propuesta del tractor integrando un motor de 10.6 hp, diseñado en el software SolidWorks 2020 SP5.0 para analizar su forma y su construcción.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del diseño de la estructura del tractor agrícola.

Para la selección del chasis se tomaron en cuenta varios aspectos, uno de ellos fue la practicidad de la forma y la simplicidad de la misma, tanto técnicos como económicos. La estructura elegida fue una disponible en el parque de maquinaria, aunque fue necesario hacer adaptaciones, como la base del motor, la extensión para que el eje trasero se eleve un poco, pero la estructura en general es ideal para el proyecto, en la Figura 15 se observa la propuesta de la forma del tractor con estructura tripuntual la cual se adapta de mejor manera para la operación en espacios pequeños debido al radio de gira de la llanta frontal.



Figura 15. Selección de la estructura del chasis.

En la Figura 16 se muestra los resultados de la simulación de cargas normales en el chasis, tomando en cuenta las cargas de la fuente de potencia y del operador, y condiciones de diseño como son la gravedad y un factor de seguridad de 2.

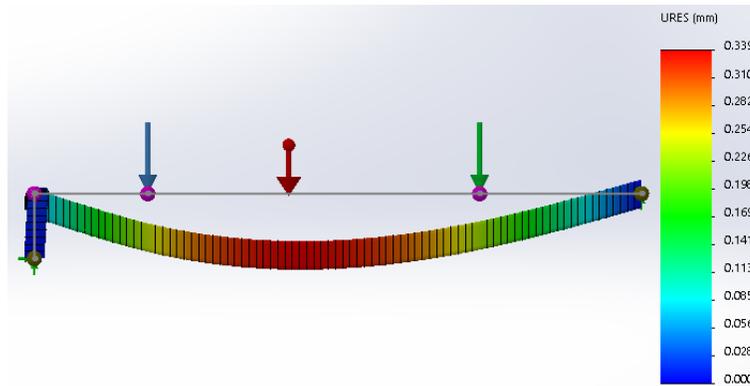


Figura 16. Desplazamiento del chasis en el análisis de carga normal.

En la Figura 16 se puede observar la carga que simula el peso del operador representada con la flecha azul y un valor de 790 newtons (N) (80 kg), la carga de la fuente de potencia está representada con la flecha verde y 80 N. En los resultados de simulación tenemos que la mayor deformación se encuentra en la parte central de la barra principal del chasis contando con una flexión de 0.339 mm que prácticamente es imperceptible, por lo que el acero A36 con el perfil seleccionado soporta las condiciones de peso para su operación.

En la Figura 17 se presenta el factor de seguridad del chasis en el análisis de carga donde se muestra que gran parte de su extensión está en tonos rojos claros equivalentes a mayores o iguales a 2, por lo que se utilizará un material PTR 4 × 2 pulgadas comercial.

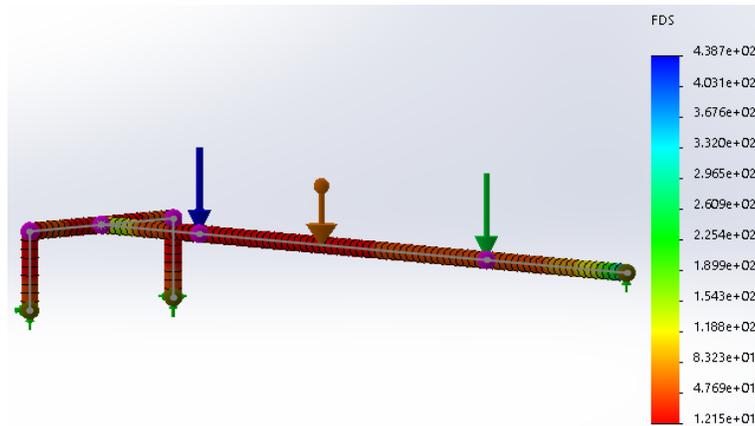


Figura 17. FDS del chasis en el análisis de carga.

La Figura 18 representa el gráfico del diagrama de corte del chasis donde se aprecia que el mayor esfuerzo se concentra entre la primera carga (izquierda a derecha) y la base de apoyo siendo este negativo, por lo que no se tendrá dentro del diseño de la estructura algún fallo por corte.

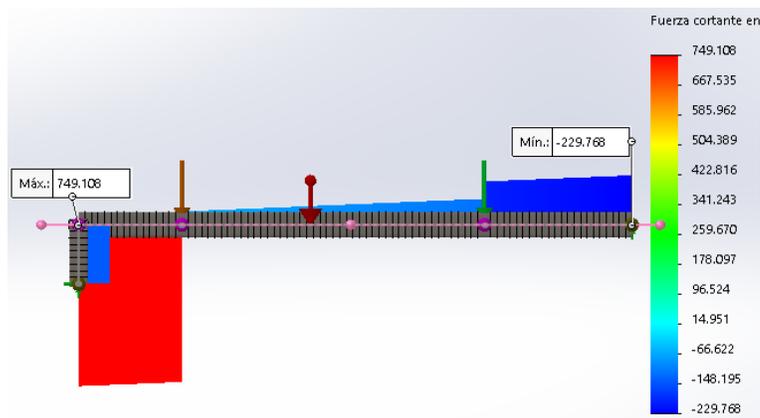


Figura 18. Diagrama de corte del chasis en el análisis de carga.

En la Figura 19 se representa el diagrama de momentos flectores donde se muestra los mayores esfuerzos en la parte del segundo cuarto (izquierda a derecha), con un máximo de 161.1 N·m y un mínimo de 45.83 N·m en sentido contrario.

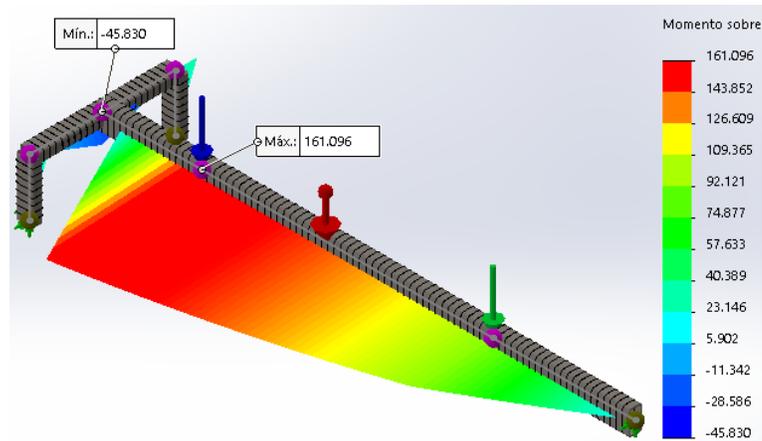


Figura 19. Diagrama de momentos flectores del chasis en el análisis de cargas.

4.2. Resultados del acondicionamiento de la caja de velocidades

Uno de los primeros pasos fue hacer el reconocimiento de los elementos que se tenían disponibles para hacer el prototipo, se decidió utilizar la caja de cambios y el rodamiento de una maquina en desuso, una zanjadora agrícola, que estaba en el parque de maquinaria agrícola, como se muestra en la Figura 20. Los componentes estaban en mal estado y se les realizó limpieza cero.



Figura 20. Primera vista de caja de velocidades.

En la Figura 21 se observan las condiciones del aceite hidráulico que la caja de velocidades tenía en su interior, eran muy malas, tenía rebabas de material por su uso con este aceite y mucha suciedad acumulada. La parte exterior no estaba en mejores condiciones pues tenía una cantidad considerable de óxido en toda la superficie y rastros de aceite que manchaban partes de la misma.



Figura 21. Vista de las condiciones de los componentes internos y externos de la caja de cambios.

Una vez que se hubo desalojado el aceite en malas condiciones del interior y habiendo retirado la tapa, como se muestra en la Figura 22, se procedió a realizar limpieza a los miembros con combustibles como diésel y gasolina en repetidas ocasiones para poder asegurar que quedaron libres de suciedad y de rebabas.



Figura 22. Limpieza de las partes internas de la caja de cambios.

Una vez que todos los elementos quedaron limpios y en condiciones favorables se procedió a rearmar los trenes de engranajes que se puede observar en la Figura 23, se revisó que no tuviese ninguna obstrucción de movimiento y que las piezas embonaran correctamente.



Figura 23. Elementos limpios y ordenados de la caja de cambios.

Al comprobar que no había obstrucciones de movimiento se hizo una nueva junta a mano para sellar las dos tapas junto con silicón acrílico.

Se lijaron las tapas para remover las últimas manchas de óxido, con lijas de medida 150 y 100, y aplicar dos capas de pintura en base aceite de rápido secado en spray, en la Figura 24, se observa el estado final de la caja de cambios con todos sus elementos ordenados y trabajados para mejorar sus condiciones físicas.



Figura 24. Caja de velocidades armada y detallada.

Con la caja de velocidades acondicionada para el trabajo se pudo hacer la medición de sus relaciones de transmisión, pudiendo calcular las velocidades de monitoreo y trabajo, también utilizando el diámetro de la rueda y las revoluciones por minuto (RPM) del motor, que son la entrada de la caja de velocidades, dando como resultado la Tabla 3 en donde se muestran las relaciones entre la marcha de la caja y las RPM de entrada.

Se tomó en cuenta un rango de RPM para poder ver la variación de velocidad y así poder elegir correctamente la velocidad de trabajo.

Cuadro 3. Relación de velocidades en el rango de 1200 a 3600 RPM.

Tabla de velocidades (km/h)							
Vel.\RPM	1200 RPM	1400 RPM	1600 RPM	1800 RPM	2000 RPM	2200 RPM	3600 RPM
1	0.54	0.63	0.72	0.81	0.90	0.99	1.62
2	2.07	2.42	2.76	3.11	3.46	3.80	6.22
3	3.89	4.54	5.18	5.83	6.48	7.13	11.66
4	5.18	6.05	6.91	7.78	8.64	9.50	15.55
R	2.76	3.23	3.69	4.15	4.61	5.07	8.29

4.3. Resultados del acondicionamiento de la dirección.

El sistema de dirección es uno de los principales productos de este trabajo por lo cual se destinó más tiempo en su desarrollo.

En la Figura 25 se observa el diseño de la propuesta del sistema de dirección en su totalidad.

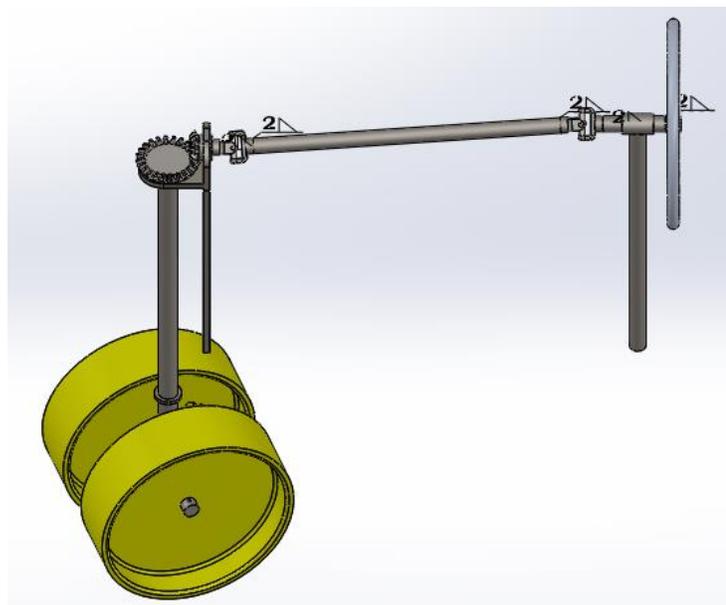


Figura 25. Sistema de dirección.

Se optó por utilizar un sistema simple de dos engranes cónicos con relación de giro de 2 a 1, 12 y 24 dientes como se muestra en la Figura 26, así obtenemos un incremento de par de torsión lo que nos ayuda a prevenir lesiones del operador por ser una dirección mecánica, y dos crucetas para acoplar el volante en una posición cómoda.

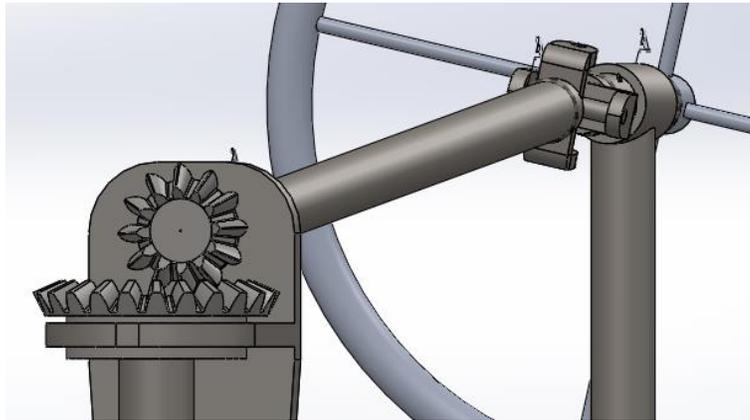


Figura 26. Engranes y juego de crucetas del sistema de dirección

Se realizó la aplicación de un par de torsión simulando los esfuerzos a los que estará sujeta la barra circular. Se muestra, en la Figura 27, una deformación con desplazamiento mínimo, mostrando las mayores cifras en centésimas de milímetro.

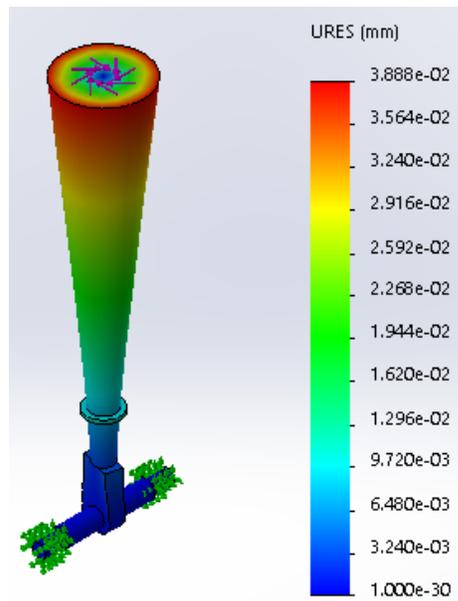


Figura 27. Análisis de torsión del sistema de dirección. (Desplazamiento)

En la Figura 28 se presenta el factor de seguridad del eje delantero en el análisis de torsión donde se muestra que gran parte de su extensión está en tonos rojos equivalentes a un valor mayor a 2.2, por lo que se utilizará una flecha de 1 ¼ de pulgadas de espesor de acero AISI 1020 comercial.

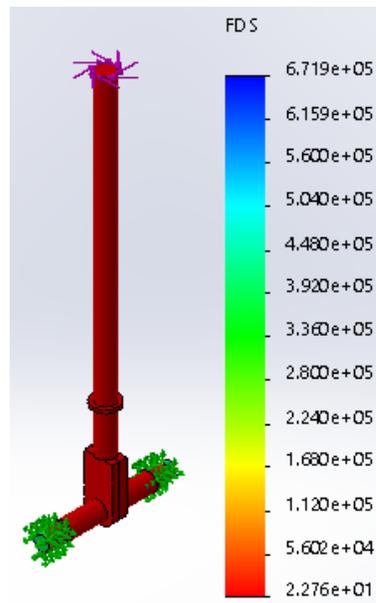


Figura 28. Factor de seguridad (FDS) del análisis de torsión del sistema de dirección.

Se aplicó una carga de 490.5 N sobre la barra del eje delantero, que es resultado de los momentos que generan las cargas distribuidas sobre el chasis. Se muestra en la Figura 29 el desplazamiento que se tiene, los mayores desplazamientos se muestran en color rojo y son de 0.001603 mm lo cual es imperceptible.

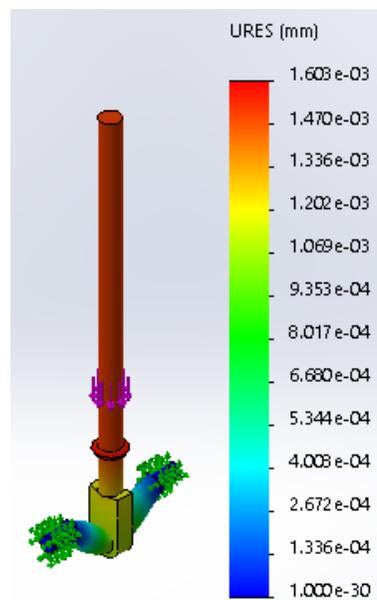


Figura 29. Desplazamiento en el análisis de carga del eje delantero.

En la Figura 30 se presenta el factor de seguridad del eje delantero en el análisis de torsión donde se muestra que gran parte de su extensión está en tonos rojos equivalentes a un valor mayor a 5, lo cual nos dice que tiene un amplio margen de seguridad y puede soportar cargas imprevistas, por lo que se utilizará una flecha de 1 ¼ de pulgadas de espesor de acero AISI 1020 comercial.

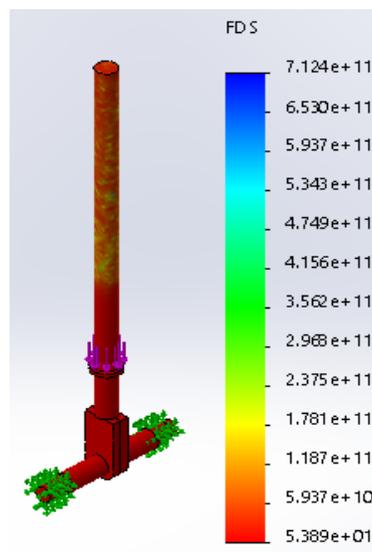


Figura 30. FDS del eje delantero en el análisis de carga.

4.4. Resultados de la propuesta de diseño del tractor a escala.

En la Figura 31 se aprecia una vista inferior del dibujo con las cotas de longitud total que es de 1500 mm, a los centros de los ejes, y de la anchura total que es de 800 mm, al centro de los neumáticos. Dentro de las condicionantes del ancho de trabajo es para trabajar entre los surcos de los cultivos.

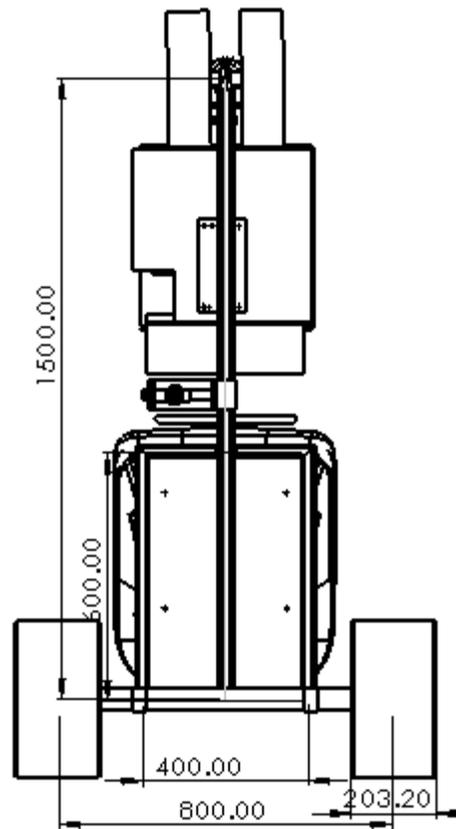


Figura 31. Vista inferior del dibujo con cotas de longitud y anchura total.

En la vista lateral del prototipo, Figura 32, se puede apreciar la posición del operador con respecto a la dirección y que el neumático delantero tiene libertad de movimiento para poder hacer más estrecho el radio de giro.

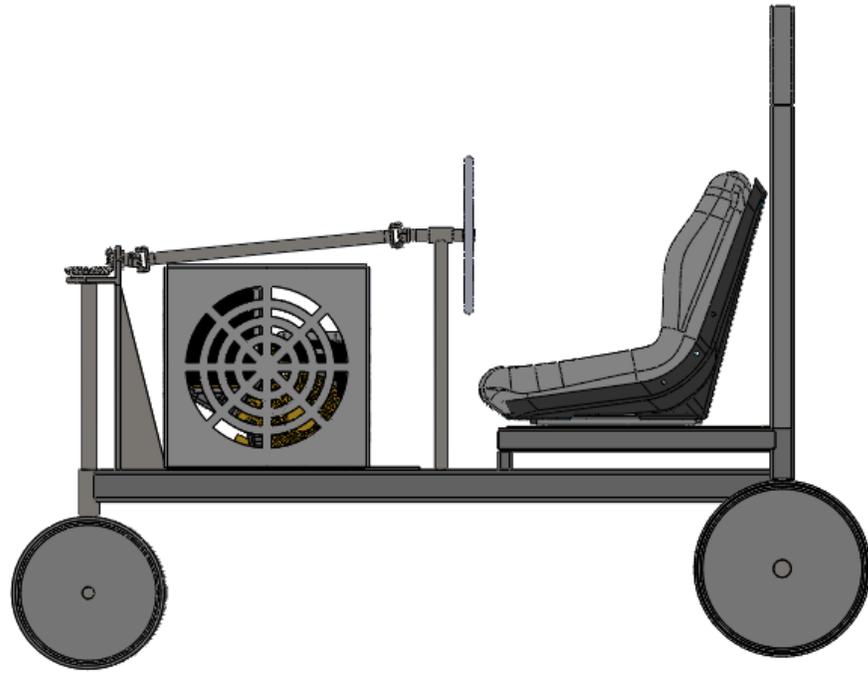


Figura 32. Vista lateral del diseño del prototipo.

En la Figura 33 se puede apreciar una vista del prototipo en su totalidad.

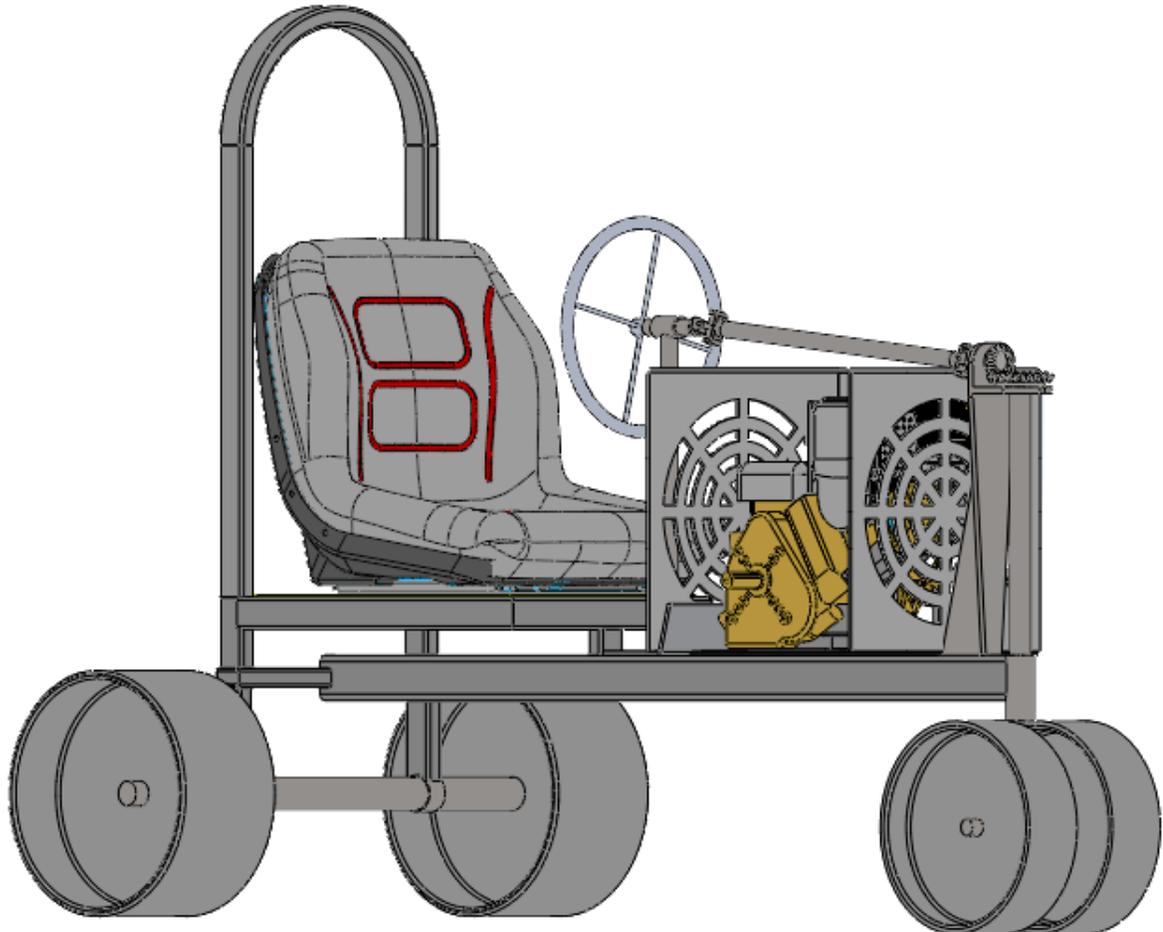


Figura 33. Presentación de diseño de prototipo.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El motivo principal para realizar este proyecto es el impulsar el desarrollo del campo mexicano, al tecnificar los procesos de producción aumentamos los rendimientos y reducimos los tiempos de producción lo cual nos da espacio para poder producir más veces durante una temporada.

Se diseñó la propuesta de un tractor a escala en el software SolidWorks versión Service Pack 5.0 2019 tomando en consideración los anchos de los surcos para su espaciado y largo del tractor.

En los análisis de simulación estructural estático tenemos que las deformaciones son de un máximo de 0.339 milímetros, en el caso del chasis, y de 0.001603 milímetros, en el caso de la dirección, lo cual es poco significativo, lo que indica que los materiales de los PTR acero estructural A36 son los indicados para el diseño del mismo lo cual se confirma con los factores de seguridad.

Con la producción de un tractor pequeño, al proporcionar una opción accesible en precio y costos de mantenimiento al campo mexicano se puede tener un avance en la tecnificación de las unidades de producción, lo cual repercute en el incremento de rendimiento y en el ahorro de recursos como el tiempo.

5.2. Recomendaciones

Para el seguimiento del desarrollo de este tractor se recomienda hacer algunos ajustes de ubicación de elementos una vez colocado el motor de 8 Hp, esto debido a la consideración su tamaño real.

Revisar el mecanismo de acoplamiento del sistema de transmisión del motor al diferencial para evitar pérdidas por patinaje.

6. LITERATURA CITADA

- Arnal, P., & Laguna, A. (2005). *Tractores y motores agrícolas*. Madrid: Mundi -Prensa.
- Audelo, M., Jimenez, R., Ayala, A., Cervantes, R., & Vargas, J. (2013). *Cabinas y marcos de seguridad de tractores agrícolas*. Texcoco: IMAGE DIGITAL.
- Case IH Agriculture . (2017). *Manual de servicio* . U.S.A.: CNH Industrial America LLC.
- Chaves, A. A. (2004). *Maquinaria y mecanización agrícola*. San Jose, Costa Rica: EUNED.
- CNH America LLC. (2013). *Manual del operador*. Racine: U.S.A.
- Garcia, N. M. (1987). *Tractores y maquinaria agrícola* . San Jose : EUED.
- Gilardi, J. (1985). *Motores de combustion interna* . San José: IICA.
- Moya, A., & Barreiro, P. (2011). Recortar emisiones en vehículos agrícolas-Introducción del Tier 4: camino hacia las cero emisiones en vehículos todoterreno. *Dossier*, 88-94.
- Ortiz-Cañaveta, J. (2012). *Tractores-Técnica y seguridad* . Madrid: Mundi-Prensa.
- Parera, A. M. (1996). *INYECCION ELECTRONICA EN MOTORES DIESEL*. Barcelona : Marcombo.
- Prinzio, A. D., Magdalena, C., & Behmer, S. (2010). *El tractor agrícola - Funcionamiento y mantenimiento* . Argentina : INTA.
- Robert L. Mott. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Naucalpan de Juárez, Estado de México: PEARSON EDUCACIÓN.